

Pembuatan Wadah Saus dari Material PLA dan Pati Kulit Singkong dengan Proses *Injection Molding*

Tsabitah Nurma Salsabila

Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: tsabitanurma.21028@mhs.unesa.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan inovasi kemasan ramah lingkungan berupa wadah saus *biodegradable* menggunakan campuran *Polylactic Acid* (PLA) dan pati kulit singkong dengan metode *injection molding*. Latar belakang penelitian ini adalah tingginya tumpukan sampah plastik sekali pakai di Indonesia dan perlunya pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan alternatif bioplastik. Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif dengan variasi suhu pemrosesan 150°C, 160°C, dan 170°C pada rasio material tetap 70% PLA dan 30% pati kulit singkong. Pengujian dilakukan dalam dua tahap: menggunakan sistem *injection molding* manual dan sistem yang dioptimasi dengan tekanan pneumatik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mekanisme penekanan dan stabilitas suhu sangat memengaruhi kualitas geometri serta visual produk. Pada pengujian manual, suhu 170°C memberikan hasil geometri terbaik meskipun masih tidak stabil, sementara suhu rendah mengalami kegagalan pengisian rongga (*underfill*). Sebaliknya, pada sistem pneumatik, suhu 150°C menjadi titik optimal yang menghasilkan wadah saus transparan dengan dimensi paling presisi dan cacat minimal. Peningkatan suhu ke 160°C dan 170°C pada sistem pneumatik justru memicu penurunan viskositas ekstrem yang menyebabkan cacat luberan (*flash*) dan degradasi termal yang ditandai dengan perubahan warna produk menjadi cokelat pekat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi tekanan pneumatik dan suhu 150°C efektif untuk memproduksi wadah saus biokomposit berkualitas optimal.

Kata kunci: *Injection Molding*, Kemasan Ramah Lingkungan, Material Bioplastik, Pati Kulit Singkong, *Polylactic Acid* (PLA).

Abstract: This study aims to develop an innovative eco-friendly packaging solution in the form of biodegradable sauce containers made from a composite of Polylactic Acid (PLA) and cassava peel starch using the injection molding process. The research is driven by the high volume of single-use plastic waste in Indonesia and the need to utilize agricultural waste as an alternative bioplastic material. The methodology employed is a quantitative experiment with processing temperature variations of 150°C, 160°C, and 170°C, while maintaining a fixed material ratio of 70% PLA and 30% cassava peel starch. The testing was conducted in two phases: using a manual injection molding system and an optimized system with pneumatic pressure. The results indicate that the pressing mechanism and temperature stability significantly influence the geometric and visual quality of the product. In the manual testing phase, 170°C provided the best geometry, although it remained unstable, while lower temperatures resulted in incomplete cavity filling (*underfill*) due to high viscosity. Conversely, in the pneumatic system, 150°C was found to be the optimal point, producing transparent sauce containers with the most precise dimensions and minimal defects. Increasing the temperature to 160°C and 170°C in the pneumatic system triggered an extreme drop in viscosity, leading to flash defects and thermal degradation, characterized by the products turning a dark brown color. This study concludes that the combination of pneumatic pressure and a temperature of 150°C is effective for producing biocomposite sauce containers of optimal quality.

Keywords: Bioplastic Materials, Cassava Peel Starch, Eco-friendly Packaging, Injection Molding, Polylactic Acid (PLA).

© 2026, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Isu lingkungan global dan krisis sampah plastik saat ini menjadi perhatian utama di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2021, Indonesia menghasilkan sekitar 6,8 juta ton sampah plastik per tahun, di mana 3,2 juta

ton di antaranya tidak terkelola dengan baik dan berakhir mencemari ekosistem sungai serta laut. Sebagian besar produk plastik sekali pakai yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti wadah makanan dan botol minuman, terbuat dari polimer konvensional jenis *Polypropylene* (PP). Meskipun memiliki keunggulan ekonomi dan fungsional, plastik berbasis minyak bumi ini memerlukan waktu hingga

100 tahun untuk terdegradasi secara alami, sehingga menimbulkan dampak ekologis jangka panjang yang signifikan.

Salah satu kontributor utama tumpukan sampah plastik berasal dari industri makanan cepat saji, khususnya pada penggunaan kemasan sekali pakai. Meskipun perhatian terhadap penggunaan piring kertas atau sedotan ramah lingkungan mulai meningkat, barang-barang kecil seperti wadah saus plastik sering kali luput dari perhatian. Jika dikalikan dengan volume konsumsi harian secara nasional, limbah dari wadah saus ini memberikan kontribusi yang masif terhadap pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi material alternatif yang bersifat berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada plastik konvensional.

Bioplastik muncul sebagai solusi unggulan karena sifatnya yang dapat terurai secara hayati (*biodegradable*) dan berasal dari sumber daya alam terbarukan. Salah satu jenis bioplastik yang paling menjanjikan adalah *Polylactic Acid* (PLA), yang dihasilkan dari fermentasi pati tanaman dan telah disetujui oleh FDA untuk kontak langsung dengan makanan. Namun, penggunaan PLA murni menghadapi kendala pada sifat mekanik yang rapuh serta biaya produksi yang relatif tinggi. Untuk meningkatkan performa sekaligus menekan biaya, pengembangan komposit PLA dengan pengisi material lokal yang melimpah dan murah menjadi sangat relevan.

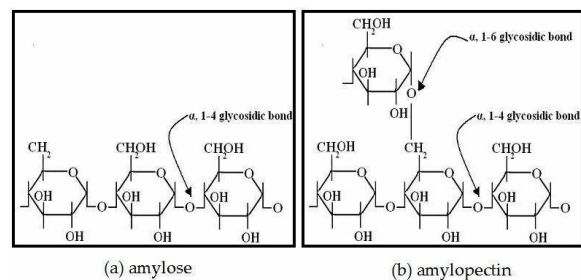
Kulit singkong merupakan limbah pertanian yang sangat potensial untuk dimanfaatkan karena memiliki kandungan pati yang cukup tinggi, berkisar antara 44% hingga 59%. Pati ini dapat berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam pembuatan bioplastik guna meningkatkan laju biodegradabilitas serta memperbaiki struktur fisik material. Mengingat kulit singkong mencakup sekitar 20% dari total berat umbi, pemanfaatannya tidak hanya mendukung aspek keberlanjutan lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi dalam konsep ekonomi sirkular bagi sektor pertanian.

Dalam proses manufaktur, metode *injection molding* dipilih karena efektivitasnya dalam menghasilkan produk dengan geometri yang presisi, efisien, dan cocok untuk produksi massal. Namun, kualitas produk akhir biokomposit PLA dan pati kulit singkong sangat bergantung pada parameter pemrosesan, terutama suhu injeksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan wadah saus *biodegradable* dengan menganalisis pengaruh variasi suhu pemrosesan yaitu 150°C, 160°C, dan 170°C terhadap stabilitas dimensi dan kualitas fisik produk. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi akademik baru bagi pengembangan teknologi kemasan ramah lingkungan yang aplikatif di industri makanan.

DASAR TEORI

Bioplastik dan Bioplastik dari Pati

Bioplastik merupakan material alternatif pengganti plastik konvensional yang dirancang untuk terurai secara hayati tanpa meninggalkan residu berbahaya bagi lingkungan. Bahan baku pembuatan bioplastik dapat bersumber dari tanaman seperti pati dan selulosa, maupun dari senyawa hewan seperti kitin dan kasein. Secara fungsional, bioplastik mampu terdegradasi secara alami baik melalui proses aerob maupun anaerob dengan bantuan mikroorganisme. Salah satu jenis yang paling umum dikembangkan adalah bioplastik berbasis pati, karena ketersediaannya yang melimpah pada bagian tanaman seperti umbi-umbian, biji-bijian, dan batang. Pati terdiri dari dua polimer utama, yaitu amilosa dan amilopektin, yang rasio kandungannya sangat memengaruhi karakteristik termoplastik serta kemampuan biodegradasi material tersebut. Dalam aplikasinya, pati alami sering kali dimodifikasi secara fisik maupun kimia untuk meningkatkan stabilitas termal dan viskositasnya agar sesuai dengan standar kemasan industri.



Gambar 1. Struktur Kimia Amilosa dan Amilopektin

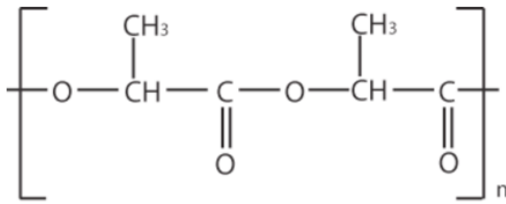
Kulit Singkong

Meskipun sering dianggap sebagai limbah pertanian, kulit singkong (*Manihot esculenta*) memiliki potensi ekonomi yang tinggi karena kandungan patinya mencapai 44% hingga 59%. Sebagai produk sampingan, kulit singkong mencakup sekitar 20% dari total bobot umbinya, yang berarti setiap satu kilogram singkong dapat menghasilkan sekitar 0,2 kg kulit. Pemanfaatan pati kulit singkong sebagai bahan baku bioplastik tidak hanya menekan pencemaran lingkungan, tetapi juga mendukung konsep ekonomi sirkular melalui penggunaan sumber daya terbarukan lokal. Penelitian menunjukkan bahwa modifikasi kimia, seperti asetilasi, mampu meningkatkan sifat fungsional pati kulit singkong, termasuk kapasitas pembengkakan (*swelling power*) yang penting dalam pembentukan struktur film bioplastik.

Polylactic Acid (PLA)

Polylactic Acid (PLA) merupakan poliester *biodegradable* yang diproduksi melalui polimerisasi asam laktat hasil fermentasi glukosa dari tanaman seperti jagung, tebu, atau bit. PLA telah disetujui oleh FDA sebagai material yang aman untuk kontak langsung dengan produk pangan, menjadikannya

pilihan utama dalam industri kemasan sekali pakai. Meskipun memiliki kekuatan tarik yang tinggi hingga 54 MPa, material ini memiliki kelemahan pada sifatnya yang rapuh dan ketahanan panas yang rendah. Karakteristik fisiknya mencakup densitas sebesar 1,25 g/cm³ dengan rentang titik leleh antara 120°C hingga 170°C. Untuk meningkatkan fleksibilitas dan performanya, PLA sering kali dikombinasikan dengan bahan tambahan seperti gliserol sebagai *plasticizer* atau dicampur dengan pati alami untuk membentuk material komposit yang lebih stabil.



Gambar 2. Struktur Kimia Polylactic Acid

Injection Molding

Injection molding adalah teknik manufaktur yang digunakan untuk mencetak produk plastik dengan bentuk dan dimensi yang spesifik melalui injeksi material cair ke dalam cetakan tertutup. Konstruksi utamanya terdiri dari tiga bagian penting, yaitu unit injeksi (*injection unit*), unit penjepit (*clamping unit*), dan unit cetakan (*molding unit*). Proses ini melibatkan empat tahapan siklus utama: penutupan cetakan (*clamping*), penyuntikan material panas (*injection*), pendinginan material hingga memadat (*cooling*), serta pengeluaran produk akhir (*ejection*). Keberhasilan pembentukan produk dalam metode ini sangat bergantung pada kontrol parameter yang presisi, meliputi suhu pemrosesan, tekanan injeksi, serta waktu pendinginan agar produk tidak mengalami penyusutan berlebih atau cacat fisik.

Penelitian Terdahulu

Sejumlah studi telah mengeksplorasi pengaruh parameter suhu terhadap kualitas bioplastik. Suhu cetakan secara langsung memengaruhi sifat mekanik dan akurasi dimensi pada bioplastik berbasis bekatul padi yang diproses dengan *injection molding* [1]. Penggunaan PLA murni dengan suhu cetakan yang lebih tinggi (100°C) dan waktu pendinginan yang lebih lama terbukti dapat meningkatkan kristalinitas material [2]. Dalam hal pemanfaatan pati, suhu pemanasan yang optimal antara 63°C hingga 70°C sangat krusial dalam menentukan struktur akhir produk dari tapioka [3]. Selain itu, rentang suhu 150°C hingga 170°C merupakan titik aman untuk memproses campuran PLA dan pati kulit singkong tanpa menyebabkan degradasi termal yang merusak integritas matriks polimernya [4].

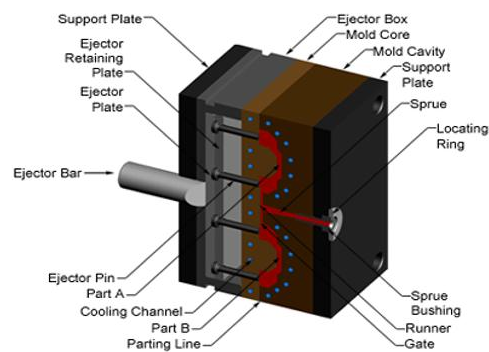
Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir dalam penelitian ini berpusat pada ketergantungan kualitas produk *injection*

molding terhadap parameter suhu cetak. Penggunaan material komposit antara PLA dan pati kulit singkong memerlukan suhu yang tepat agar viskositas lelehan memungkinkan pengisian rongga cetakan tipis (0,5 mm) secara sempurna tanpa menyebabkan degradasi warna atau bentuk. Dengan mengacu pada studi sebelumnya, variasi suhu 150°C, 160°C, dan 170°C dipilih untuk menguji kestabilan dimensi produk. Berdasarkan teori tersebut, hipotesis penelitian ini menyatakan bahwa variasi suhu cetak berpengaruh secara signifikan terhadap dimensi dan bentuk akhir wadah saus. Peneliti menduga terdapat titik suhu optimum dalam rentang tersebut yang mampu meminimalkan penyusutan (*shrinkage*) dan menghasilkan kualitas cetakan yang paling presisi.

Cetakan Injection Molding

Cetakan (*mold*) merupakan media pembentuk utama dalam proses *injection molding* yang dirancang sesuai dimensi produk akhir untuk menampung material termoplastik cair hingga memadat. Komponen penyusunnya meliputi *cavity* yang membentuk sisi luar, *core* untuk sisi dalam, serta sistem saluran (*sprue*, *runner*, dan *gate*) yang berfungsi mendistribusikan lelehan material ke seluruh rongga cetakan secara presisi. Setelah fase injeksi selesai, produk akan mengalami penyusutan (*shrinkage*) selama tahap pendinginan akibat perubahan fase material dari cair ke padat, di mana besarnya deviasi dimensi tersebut sangat dipengaruhi oleh karakteristik termal dan mekanik dari bahan yang digunakan.



Gambar 3. Komponen pada desain *molding*

Hipotesa

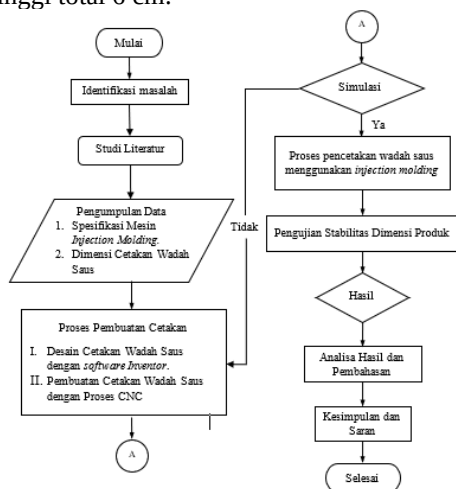
Kerangka berpikir dalam penelitian ini berpusat pada ketergantungan kualitas produk *injection molding* terhadap parameter suhu cetak. Penggunaan material komposit antara PLA dan pati kulit singkong memerlukan suhu yang tepat agar viskositas lelehan memungkinkan pengisian rongga cetakan tipis (0,5 mm) secara sempurna tanpa menyebabkan degradasi warna atau bentuk. Dengan mengacu pada studi sebelumnya, variasi suhu 150°C, 160°C, dan 170°C dipilih untuk menguji kestabilan dimensi produk. Berdasarkan teori tersebut, hipotesis penelitian ini menyatakan bahwa variasi suhu cetak berpengaruh secara signifikan terhadap dimensi dan bentuk akhir wadah saus. Peneliti menduga terdapat titik suhu

optimum dalam rentang tersebut yang mampu meminimalkan penyusutan (*shrinkage*) dan menghasilkan kualitas cetakan yang paling presisi.

METODE

Metode penelitian yang diterapkan adalah eksperimen kuantitatif yang berfokus pada analisis pengaruh variasi suhu pemrosesan terhadap dimensi dan stabilitas bentuk produk wadah saus. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya antara bulan Januari hingga Oktober 2025. Objek penelitian utama adalah biokomposit yang terdiri dari campuran *Polylactic Acid* (PLA) dan pati kulit singkong dengan rasio kontrol tetap sebesar 70:30. Variabel independen yang diuji meliputi tiga variasi suhu *injection*, yaitu 150°C, 160°C, dan 170°C. Sementara itu, variabel dependen yang diamati mencakup presisi dimensi produk (diameter atas, diameter bawah, tinggi, dan ketebalan dinding) serta identifikasi cacat fisik seperti penyusutan (*shrinkage*), deformasi, *flash*, dan *warpage*.

Prosedur penelitian dilakukan melalui dua tahap pengujian utama, yaitu menggunakan sistem mesin *injection molding* manual dan optimasi menggunakan sistem pneumatik dengan tekanan hingga 8 bar. Proses dimulai dengan penghalusan biji PLA menjadi serbuk untuk memudahkan pencampuran homogen dengan pati kulit singkong yang telah diekstraksi. Sebelum dilakukan pencetakan fisik, dilakukan simulasi *flow mold* menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor untuk memprediksi pola aliran lelehan dan potensi cacat pada rongga cetakan setebal 0,5 mm. Cetakan (*mold*) yang digunakan berbahan besi baja hasil proses CNC dengan dimensi diameter luar 8 cm dan tinggi total 6 cm.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Pada tahap operasional, material biokomposit dipanaskan di dalam *barrel* hingga mencapai suhu target sebelum diinjeksikan ke dalam cetakan yang telah dipanaskan terlebih dahulu (*pre-heating*) menggunakan *torch*. Setelah proses injeksi selesai, produk melewati tahap pendinginan (*cooling*) selama

± 2 menit di dalam cetakan sebelum dilepaskan secara manual. Data hasil pengukuran fisik yang diperoleh menggunakan jangka sorong kemudian dianalisis dengan menghitung selisih dan persentase deviasi terhadap dimensi desain asli cetakan. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi stabilitas termal material dan menentukan titik suhu optimal yang menghasilkan kualitas fisik terbaik dengan cacat minimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Wadah Saus (Pengujian Pertama)

Pengujian tahap pertama dilakukan dengan menggunakan mesin *injection molding* berskala laboratorium yang dioperasikan secara manual. Fokus utama pada tahap ini adalah mengamati sejauh mana tenaga manusia mampu mendorong material biokomposit untuk mengisi rongga cetakan dengan geometri dinding yang sangat tipis, yakni 0,5 mm. Secara umum, hasil pengujian pertama menunjukkan keterbatasan signifikan dalam hal kontrol tekanan dan stabilitas suhu leleh.

Hasil Pengujian dengan Variasi Suhu 150°C

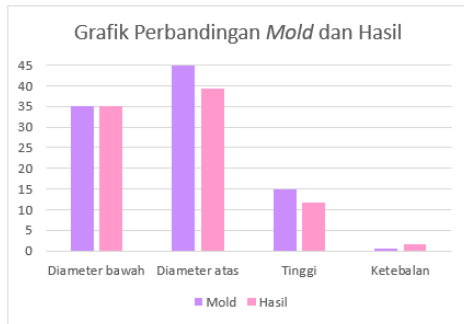
Pada suhu ini, material menunjukkan kegagalan pembentukan geometri (*total molding failure*) yang sangat nyata, di mana campuran PLA dan pati gagal mengalir ke bagian atas cetakan. Fenomena ini disebabkan oleh viskositas material yang masih sangat tinggi, sehingga gaya tekan manual tidak memadai untuk mengatasi hambatan aliran. Akibatnya, terjadi penumpukan material di bagian alas yang membuatnya menjadi sangat tebal, sementara bagian dinding tidak terbentuk sama sekali. Secara visual, sampel tampak kuning kecokelatan yang mengindikasikan degradasi termal dini akibat durasi pemanasan yang terlalu lama di dalam *barrel*.



Gambar 5. Hasil sampel suhu 150°C

Tabel 1. Hasil pengukuran wadah saus

Variasi Suhu (°C)	Pengujian	Parameter	Dimensi Mold (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Selisih (mm)	Persentase (%)
150	Sampel 1	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	39,2	-5,8	-12,89%
		Tinggi	15	11,6	-3,4	-22,67%
		Ketebalan dinding	0,5	1,7	+1,2	+240%



Gambar 6. Grafik Perbandingan Dimensi *Mold* dan Dimensi Produk Hasil Suhu 150°C

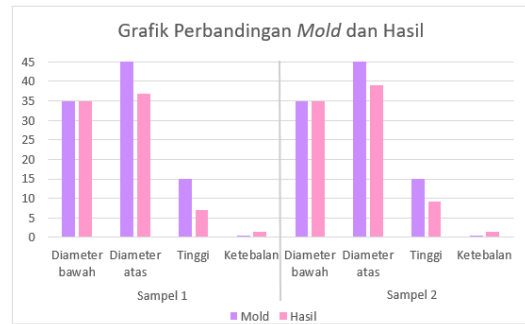
Hasil Pengujian dengan Variasi Suhu 160°C

Kenaikan suhu ke 160°C mulai memberikan sedikit peningkatan pada aspek *flowability* material, tetapi belum cukup untuk menghasilkan produk yang sempurna. Meskipun struktur dinding mulai terlihat, ketebalannya masih belum seragam dan cenderung mengalami ketidakterisian sempurna (*incomplete fill*). Secara visual, produk memiliki tampilan yang lebih cerah dibandingkan suhu sebelumnya, tetapi masih ditemukan bercak karamelisasi dan permukaan yang tidak rata akibat pendinginan prematur di dalam cetakan.



Gambar 7. Hasil sampel suhu 160°C. Kiri ke kanan (sampel 1 dan sampel 2)

Variasi Suhu (°C)	Pengujian	Parameter	Dimensi <i>Mold</i> (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Selisih (mm)	Persentase (%)
160	Sampel 1	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	36,9	-8,1	-18%
		Tinggi	15	7,1	-7,9	-52,67%
		Ketebalan dinding	0,5	1,4	+0,9	+180%
	Sampel 2	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	38,9	-6,1	-13,56%
		Tinggi	15	9,2	-5,8	-38,67%
		Ketebalan dinding	0,5	1,4	+0,9	+180%



Gambar 8. Grafik Perbandingan Dimensi *Mold* dan Dimensi Produk Hasil Suhu 160°C

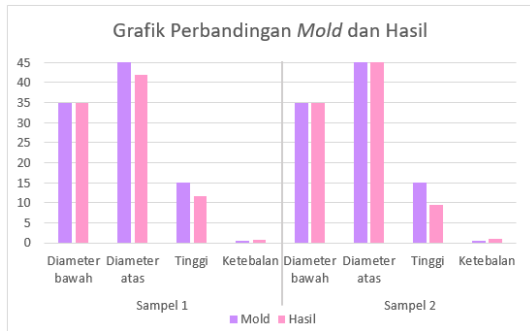
Hasil Pengujian dengan Variasi Suhu 170°C

Pengujian pada suhu 170°C menggunakan mesin manual menghasilkan geometri yang paling mendekati target desain awal. Fluiditas material yang meningkat drastis memungkinkan campuran PLA dan pati mengisi rongga dinding secara lebih menyeluruh. Meskipun demikian, stabilitas aliran belum sepenuhnya konsisten, sehingga ketebalan dinding masih bervariasi antara sampel satu dengan lainnya. Warna coklat gelap yang dihasilkan menunjukkan bahwa suhu ini merupakan titik batas toleransi termal material sebelum mengalami degradasi parah.



Gambar 9. Hasil sampel suhu 170°C. Kiri ke kanan (sampel 1 dan sampel 2)

Variasi Suhu (°C)	Pengujian	Parameter	Dimensi <i>Mold</i> (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Selisih (mm)	Persentase (%)
170	Sampel 1	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	42	-3,0	-6,67%
		Tinggi	15	11,6	-3,4	-22,67%
		Ketebalan dinding	0,5	0,8	+0,3	+60%
	Sampel 2	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	46,1	+1,1	-2,44%
		Tinggi	15	9,5	-5,4	-36,33%
		Ketebalan dinding	0,5	1	+0,5	+100%



Gambar 10. Grafik Perbandingan Dimensi *Mold* dan Dimensi Produk Hasil Suhu 170°C

2. Hasil Pengujian Wadah Saus (Pengujian Kedua)

Pengujian kedua dilakukan setelah tahap optimasi mesin, di mana sistem penekanan diubah dari manual menjadi sistem pneumatik dengan tekanan hingga 8 bar. Selain itu, unit *barrel* dimodifikasi untuk memastikan distribusi panas yang lebih merata, sehingga mempercepat durasi pelelehan dari 30 menit menjadi hanya 20 menit.

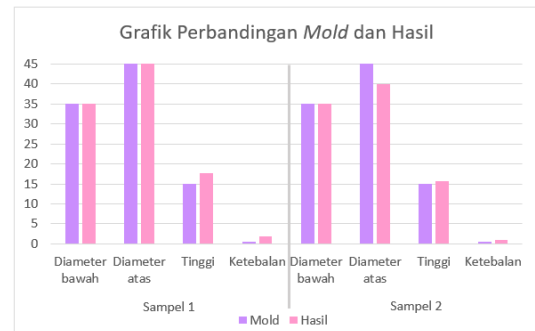
Hasil Pengujian dengan Variasi Suhu 150°C

Optimasi sistem pneumatik menunjukkan hasil yang sangat kontras dan positif pada suhu 150°C. Produk yang dihasilkan tampil transparan dan bening, jauh lebih estetik dibandingkan hasil pengujian manual. Tekanan pneumatik yang stabil memungkinkan material mengisi seluruh profil desain secara maksimal hingga membentuk profil dinding yang presisi. Meskipun merupakan titik optimal, masih ditemukan sedikit luapan material (*flash*) dan penumpukan tipis di bagian alas akibat viskositas yang sangat rendah dari durasi pemanasan.



Gambar 11. Hasil sampel suhu 150°C. Kiri ke kanan (sampel 1 dan sampel 2)

Variasi Suhu (°C)	Pengujian	Parameter	Dimensi <i>Mold</i> (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Selisih (mm)	Persentase (%)
150	Sampel 1	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	49,4	+4,4	+9,78%
		Tinggi	15	17,6	+2,6	+17,3%
		Ketebalan dinding	0,5	1,8	+1,3	+260%
	Sampel 2	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	40	-5	-11,11%
		Tinggi	15	15,7	+0,7	+4,67%
		Ketebalan dinding	0,5	0,9	+0,4	+80%



Gambar 12. Grafik Perbandingan Dimensi *Mold* dan Dimensi Produk Hasil Suhu 150°C

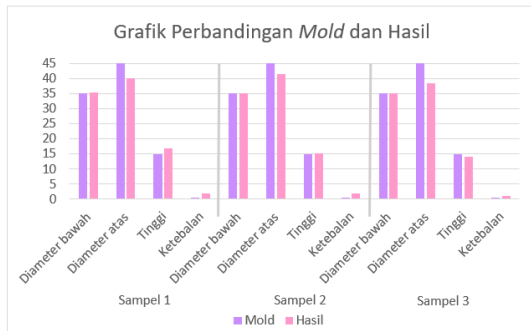
Hasil Pengujian dengan Variasi Suhu 160°C

Pada pengujian kedua suhu 160°C, produk menunjukkan warna yang lebih gelap karena suhu mulai mendekati titik karamelisasi pati kulit singkong. Hasil observasi menunjukkan adanya penumpukan material yang sangat masif di bagian dasar wadah dibandingkan suhu lainnya. Walaupun dinding wadah terbentuk di seluruh keliling cetakan, ketebalan yang dihasilkan cenderung berlebih dan kurang seragam, disertai dengan munculnya cacat *warpage* pada bibir wadah.



Gambar 13. Hasil sampel suhu 160°C. Kiri ke kanan (sampel 1, sampel 2, dan sampel 3)

Variasi Suhu (°C)	Pengujian	Parameter	Dimensi <i>Mold</i> (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Selisih (mm)	Persentase (%)
160	Sampel 1	Diameter bawah	35	35,3	+0,3	+0,857%
		Diameter atas	45	39,9	-5,1	-11,33%
		Tinggi	15	16,85	+1,85	+12,33%
		Ketebalan dinding	0,5	1,8	+1,3	+260%
	Sampel 2	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	41,3	-3,7	-8,22%
		Tinggi	15	15,2	+0,2	+1,33%
		Ketebalan dinding	0,5	1,9	+1,4	+280%
160	Sampel 3	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	38,5	-6,5	-14,44%
		Tinggi	15	14,05	-0,95	-6,33%
		Ketebalan dinding	0,5	1,15	+0,65	+130%



Gambar 14. Grafik Perbandingan Dimensi *Mold* dan Dimensi Produk Hasil Suhu 160°C

Hasil Pengujian dengan Variasi Suhu 170°C

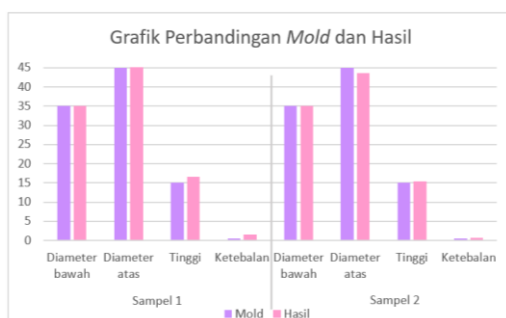
Pengujian ini menghasilkan produk dengan fluiditas tertinggi, yang memungkinkan terbentuknya dinding wadah paling tipis di antara semua variasi pengujian. Namun, efisiensi pembentukan dinding ini dibarengi dengan risiko degradasi termal yang paling ekstrem, ditandai dengan warna cokelat tua yang sangat pekat. Selain itu, ditemukan cacat *flash* yang signifikan di mana material merembes keluar melalui celah *mold* karena kondisi lelehan yang terlalu cair.



Gambar 15. Hasil sampel suhu 170°C. Kiri ke kanan (sampel 1 dan sampel 2)

Tabel 6. Hasil pengukuran wadah saus

Variasi Suhu (°C)	Pengujian	Parameter	Dimensi <i>Mold</i> (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Selisih (mm)	Persentase (%)
170	Sampel 1	Diameter bawah	35	35,1	0	0%
		Diameter atas	45	49,6	+4,6	+10,22%
		Tinggi	15	16,6	+1,6	+10,67%
		Ketebalan dinding	0,5	1,5	+1	+200%
	Sampel 2	Diameter bawah	35	35	0	0%
		Diameter atas	45	43,6	-1,4	-3,11%
		Tinggi	15	15,35	+0,35	+2,33%
		Ketebalan dinding	0,5	0,7	+0,2	+40%



Gambar 16. Grafik Perbandingan Dimensi *Mold* dan Dimensi Produk Hasil Suhu 170°C

3. Hasil Pengujian Wadah Saus

Berdasarkan data eksperimen, terdapat korelasi kuat antara stabilitas tekanan injeksi, durasi pemanasan, dan suhu pemrosesan terhadap kualitas akhir produk biokomposit. Sistem manual terbukti tidak efektif untuk mencetak geometri tipis karena keterbatasan tekanan yang menyebabkan fenomena *short shot* atau pengisian tidak sempurna. Penggunaan sistem pneumatik pada pengujian kedua secara signifikan meningkatkan kualitas visual (transparansi) dan presisi dimensi karena percepatan waktu tinggal material di dalam *barrel*.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pembuatan wadah saus dari campuran PLA dan pati kulit singkong menggunakan metode *injection molding* dengan variasi suhu 150°C, 160°C, dan 170°C, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Proses pembuatan wadah saus menggunakan metode *injection molding* sangat dipengaruhi oleh mekanisme penekanan dan durasi pemanasan material. Pada pengujian pertama (manual) memiliki keterbatasan dalam menjaga kestabilan tekanan dan suhu leleh dengan durasi pelelehan ± 30 menit, sehingga berdampak pada hasil produk yang tidak konsisten. Setelah dilakukan optimasi menjadi sistem pneumatik, durasi pelelehan berhasil dipersingkat menjadi ± 20 menit dan tekanan injeksi menjadi lebih stabil, sehingga mampu mengisi rongga cetakan setebal 0,5 mm dengan lebih merata dan presisi.
- Variasi suhu proses berpengaruh signifikan terhadap stabilitas dimensi, keberhasilan pembentukan produk, dan kualitas fisik produk.
 - Suhu 150°C:** Pada pengujian manual, suhu ini menghasilkan gagal bentuk (*total molding failure*) dengan material hanya mengisi dasar *mold* sehingga alas terlalu tebal akibat viskositas tinggi dan pendinginan *premature* sehingga produk hasil tidak menyerupai wadah saus. Namun, pada sistem pneumatik, suhu ini merupakan titik optimal yang menghasilkan produk bening/transparan dengan dimensi paling mendekati desain.
 - Suhu 160°C:** Pada kedua pengujian, suhu ini menunjukkan penumpukan material di bagian alas, tetapi di pengujian kedua penumpukannya yang paling masif dibandingkan suhu lainnya. Meskipun dinding mulai terbentuk, warna produk mulai menggelap (cokelat pekat) akibat karamelisasi pati, dan pada sistem pneumatik memicu cacat luberan (*flash*) serta ketebalan dinding yang berlebih.
 - Suhu 170°C:** Menghasilkan tingkat fluiditas maksimal dengan dinding wadah paling tipis, tetapi memiliki risiko degradasi termal tertinggi yang ditandai dengan warna produk paling gelap di antara semua sampel serta

adanya cacat luberan material (*flash*) yang signifikan. Secara teknis, cacat fisik seperti ketebalan alas berlebih, *flash*, dan *warp* disebabkan oleh ketidakseimbangan viskositas lelehan dan distribusi panas pada cetakan. Penelitian ini membuktikan bahwa campuran PLA (70%) dan pati kulit singkong (30%) berpotensi besar sebagai bahan dasar wadah makanan ramah lingkungan pengganti plastik konvensional, dengan catatan suhu pemrosesan dijaga pada titik optimal dan sistem injeksi yang tepat.

REFERENSI

- [1] Alonso-González, M., Felix, M., Guerrero, A., & Romero, A. (2021). Effects of mould temperature on rice bran-based bioplastics obtained by injection moulding. *Polymers*, 13 (3), 1–12. <https://doi.org/10.3390/polym13030398>.
- [2] Meinig, L., Boldt, R., Spoerer, Y., & Kuehnert, I. (2023). *Correlation between Processing Parameters , Morphology , and Specimens at Different Length Scales*.
- [3] Peel, C., Fibers, S., & Waskita, A. N. (2026). Analisis Variasi Suhu Terhadap Kekuatan Tarik Bio Filament Berbahan PLA dan Serat Pati Kulit Singkong. 4 (1), 291–299.
- [4] Rahma, P. (2019). Effect of Temperature and Time for Bioplastic From Tapioca Starch Department of Chemical Engineering.