CHARACTERISTICS OF BIOCOMPOSITE FOAM TRAYS BASED ON TAPIOCA AND GLUCOMANNAN UNDER DIFFERENT MOLDING TEMPERATURES AND TIMES

KARAKTERISTIK NAMPAN BIOKOMPOSIT FOAM BERBASIS TAPIOKA DAN GLUKOMANAN PADA VARIASI SUHU DAN WAKTU PENCETAKAN

I Gede Rio Wiranata[1], Bambang Admadi Harsujuwono[1*], Amna Hartiati[1], Sri Suhartini[2]
[1]Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Indonesia
[2] Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Agroindustri dan Biosistem, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Diterima 6 April 2026 / Disetujui 19 Oktober 2026

ABSTRACT

Biocomposite foam has emerged as an environmentally friendly packaging alternative with the potential to replace conventional styrofoam. This research investigated how variations in molding temperature and processing time influence the properties of biocomposite foam trays formulated from tapioca and glucomannan. The study also sought to identify the processing conditions that yielded the most desirable product characteristics. A factorial Randomized Block Design (RBD) was employed, involving two experimental factors. The first factor was molding temperature, set at 120°C, 150°C, and 180°C, while the second factor was molding duration, consisting of 30, 60, and 90 seconds. These factors generated nine treatment combinations, each conducted in two blocks. The parameters evaluated included tensile strength, tear resistance, elongation at break, permanent set, density, thickness swelling, thickness, biodegradation, and leakage. The experimental data were evaluated using analysis of variance (ANOVA), followed by the Honestly Significant Difference (HSD) test when significant differences were observed. The findings indicated that molding temperature, processing time, and their interaction significantly influenced tensile strength, tear resistance, elongation at break, permanent set, density, swelling, and biodegradation. In contrast, thickness was not significantly affected by the treatments, and no leakage was detected in any of the samples. The optimum treatment was achieved using a molding temperature of 120°C for 90 seconds. Under these conditions, the biocomposite foam exhibited a tensile strength of 7.939 N/cm², tear resistance of 5.671 N/cm², elongation at break of 3.973%, permanent set of 8.740%, density of 0.268 g/cm³, swelling of 0.539%, thickness of 0.315 cm, and biodegradation of 77.6% after 20 days. The leakage test also indicated no leakage.
Keywords : *Biocomposite foam, glucomannan, molding temperature, molding time, tapioca.*

ABSTRAK

Biokomposit foam merupakan alternatif bahan kemasan yang lebih ramah lingkungan dan berpotensi menggantikan penggunaan styrofoam. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kondisi pencetakan terhadap karakteristik nampan biocomposite foam yang dibuat menggunakan tapioka dan glukomanan. Selain itu, penelitian bertujuan memperoleh kombinasi suhu dan durasi pencetakan yang mampu menghasilkan karakteristik produk terbaik. Percobaan disusun menggunakan Rancangan Acak

[1]Korespondensi Penulis :
Email: bambang.admadi@unud.ac.id

Kelompok (RAK) faktorial yang terdiri atas dua faktor. Faktor pertama berupa suhu pencetakan, yaitu 120°C, 150°C, dan 180°C, sedangkan faktor kedua adalah lama pencetakan selama 30, 60, dan 90 detik. Kombinasi kedua faktor tersebut menghasilkan sembilan perlakuan yang diuji dalam dua kelompok. Karakteristik produk yang diamati meliputi kuat tarik, ketahanan sobek, perpanjangan saat putus, pampat tetap, densitas, pengembangan tebal (swelling), ketebalan, biodegradasi, serta kemampuan menahan kebocoran. Data hasil pengujian dianalisis melalui sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu dan lama pencetakan, termasuk interaksi keduanya, memberikan pengaruh nyata terhadap kuat tarik, ketahanan sobek, perpanjangan saat putus, pampat tetap, densitas, swelling, dan biodegradasi. Sementara itu, perubahan perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap ketebalan. Pengujian juga menunjukkan bahwa tidak terdapat kebocoran pada seluruh perlakuan. Kombinasi perlakuan yang menghasilkan karakteristik terbaik adalah pencetakan pada suhu 120°C selama 90 detik (S1W3). Perlakuan tersebut menghasilkan kuat tarik sebesar 7,939 N/cm², ketahanan sobek 5,671 N/cm², perpanjangan saat putus 3,973%, pampat tetap 8,740%, densitas 0,268 g/cm³, swelling 0,539%, ketebalan 0,315 cm, dan tingkat biodegradasi sebesar 77,6% pada hari ke-20. Berdasarkan uji kebocoran, produk yang dihasilkan pada perlakuan tersebut tidak mengalami kebocoran.

Kata kunci : Biokomposit foam, glukomanan, suhu pencetakan, tapioka, waktu pencetakan.

PENDAHULUAN

Polistirena *foam*, yang lebih umum dikenal masyarakat sebagai *styrofoam*, merupakan material plastik pengemas makanan yang sangat populer (Rahmadhani *et al*., 2015). Penggunaan material ini sangat meluas di berbagai sektor industri berkat bobotnya yang ringan, kepraktisannya, serta daya tahannya terhadap fluktuasi suhu panas maupun dingin (Capricho *et al*., 2022). Namun, di balik keunggulannya, penggunaan *styrofoam* memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan. *Styrofoam* terbuat dari polistirena yang sulit terurai di alam dan dapat bertahan selama ratusan tahun, sehingga berkontribusi besar terhadap pencemaran lingkungan (Febriansya *et al*., 2024; Yanto *et al*., 2019). Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2022) bahwa Indonesia sebagai salah satu penyumbang limbah styrofoam terbesar di tingkat global, dengan volume buangan melebihi 3 juta ton per tahun.

Salah satu pengganti *styrofoam* yang ramah lingkungan seperti kemasan biokomposit (*biofoam)* (Tapia-Blácido *et al*., 2022). Pembentukan kemasan komposit *biofoam* sangat dipengaruhi banyak faktor diantaranya suhu dan waktu pencetakan. Beberapa penelitian sebelumnya, Putra *et al*., 2023, menyatakan bahwa pencetakan terbaik dengan suhu 180°C dengan penambahan konsentrasi PVA 15%. Semakin tinggi suhu pencetakan, semakin rendah kemampuan *biofoam* dalam menyerap air (Putra *et al.,* 2023). Sementara itu, menurut Paramita dan Budiyati, 2019, suhu dan waktu pencetakan 175°C selama 60 menit menghasilkan biokomposit *foam* dengan tekstur keras dan berwarna putih kecoklatan. Suhu dan waktu pencetakan memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik fisik biokomposit, termasuk kekuatan tarik, elastisitas, pengembangan tebal, dan biodegradasi. Penelitian oleh Aimar *et al*., 2025, menunjukkan bahwa kombinasi paling optimal ditemukan pada suhu 160 °C dan waktu 45 detik, yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi 42,2 Mega Pascal, struktur padat, tidak bocor, serta waktu biodegradasi selama 24 hari. Berdasarkan penelitian Singh *et al*., 2024, suhu cetak 170°C menghasilkan nampan biokomposit yang berbentuk baik dan tidak gosong, sedangkan pada suhu di atas 190°C mulai terjadi degradasi termal yang ditandai dengan permukaan yang lebih gelap dan penurunan kekuatan mekanik. Pengembangan biokomposit *foam* sebagai pengganti *styrofoam* masih menghadapi berbagai tantangan. Beberapa studi menyatakan bahwa suhu dan waktu pencetakan sangat berpengaruh terhadap karakteristik akhir material biokomposit, termasuk densitas, kekuatan tekan, dan kemampuan menyerap air (Arnata *et al*., 2025). Penelitian sebelumnya

menunjukkan bahwa suhu yang tidak tepat atau waktu pencetakan yang terlalu singkat dapat menghambat proses pembentukan struktur pori yang optimal pada biokomposit *foam*, sehingga mengurangi kinerja kemasan.

Uraian di atas menunjukkan bahwa penelitian tentang pengaruh suhu dan waktu pencetakan dalam pembuatan nampan dari komposit *biofoam* berbahan campuran tapioka, glukomanan, dan PVA, belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, perlu diteliti suhu dan waktu pencetakan yang menghasilkan nampan dari komposit *biofoam* berbahan campuran tapioka, glukomanan, dan PVA.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tapioka, glukomanan, *polivynil alcohol* (PVA) cair, sorbitol, toluene diisosianat (TDI-80), asam stearat, asam asetat 1%, dan aquadest (CV. Brathacem), serta mikrokristalin selulosa. Peralatan yang digunakan yaitu, 3 unit *beaker glass* 1000 mL, 2 unit *beaker glass* 250 mL, 2 unit *gelas ukur* plastik 10 mL, 1 unit *gelas ukur* 50 mL, batang pengaduk, sendok besi, kompor listrik, *hot plate*, *stirrer*, *thermometer*, *stopwatch*, 9 unit nampan ukuran 12 × 12 × 2 cm, *aluminium foil*, kertas kue, gunting, cutter, timbangan analitik, oven, *mikrometer skrup digital*, alat kempa, *hotpress molding* (tekanan 4,9 MPa), alat uji mekanik standar *ASTM D695-90,* dan pot tanaman.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode rancangan percobaan yaitu Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor, yaitu suhu (120, 150, dan 180^{o}C) dan waktu pencetakan (30, 60, dan 90 detik), sehingga terdapat 9 perlakuan kombinasi. Interaksi dari kedua kombinasi perlakuan dikelompokan menjadi 2 kelompok, sehingga diperoleh total 18 unit percobaan.

Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan Biokomposit Foam

Penelitian merupakan modifikasi dari (Arnata *et al*., 2025; Ferdiansyah *et al*., 2022; Sarito *et al*., 2021) meliputi proses pembuatan biokomposit foam dimulai dengan penimbangan bahan utama, yaitu tapioka 4,5 g, glukomanan 1,5 g, *polivynil alcohol* (PVA) 5 g, mikrokristalin selulosa 5,5 gram dan asam stearat 4 gram. Penakaran sorbitol dan TDI-80 dengan konsentrasi 17,5 % dengan perbandingan 1:1 maka masing-masing 8,75 mL. Selanjutnya tahap pelarutan dilakukan dengan mencampurkan tapioka dan glukomanan ke dalam 45 mL asam asetat 1% selama 1 menit. Ketiga bahan (tapioka, glukomanan dan PVA) dicampurkan menjadi satu kemudian ditambahkan asam stearat 4 gram dan mikrokristalin selulosa 5,5 g sebagai filler dan agen hidrofob. Kemudian dipanaskan pada suhu 75 ± 1 °C selama 3 menit dan terbentuk gel biokomposit. Setelah terbentuknya gel, ditambahkan sorbitol dan TDI-80 dengan konsentrasi total 17,5% dan perbandingan 1:1. Campuran ini kembali diaduk menggunakan *stirrer* selama 1 menit hingga homogen dengan kecepatan 120 rpm. Kemudian gel dituangkan di cetakan nampan dengan ukuran 12x12x3 cm, dibiarkan mengembang selama 1 jam, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 3 jam, didinginkan pada suhu kamar selama 1 jam, dan dilepaskan dari cetakan sehingga diperoleh biokomposit foam. Tahap berikutnya adalah pencetakan nampan biokomposit menggunakan hotpress molding berdiameter 12 cm dengan tekanan 4,9 MPa. Proses pencetakan dilakukan dengan variasi suhu 120, 150, dan 180 °C serta variasi waktu 30, 60, dan 90 detik. Setelah pencetakan biofoam lanjut dikeringkan di oven pada suhu 80 °C selama 2 jam. Kemudian dikeluarkan dari oven, biofoam didinginkan pada suhu kamar selama 1 jam

sehingga diperoleh nampan biokomposit foam.

Variabel yang Diamati

Terdapat 9 variabel yang diamati yaitu ketahanan sobek, perpanjangan saat putus, kuat tarik, pampat tetap, densitas, swelling, ketebalan, biodegradasi dan uji kebocoran. Penentuan perlakuan terbaik didasarkan pada variabel mutu yang paling banyak memenuhi SNI 06-1004-1989, Standar Internasional (EN 317) dan Standar Internasional (ASTM 5336).

Analisis data menggunakan analisis keragaman (ANOVA), apabila berpengaruh sangat nyata, selanjutnya akan dilanjutkan dengan uji beda nyata jujur (BNJ) atau sering disebut uji Tukey. Proses analisis data menggunakan *software Microsoft Excel* 2021 dan Minitab 17.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketahanan Sobek (*Tear Strength*)

Hasil analisis keragaman (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa faktor suhu dan waktu pencetakan beserta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p \leq 0,01$) terhadap nilai kuat tarik nampan biokomposit foam berbasis tapioka dan glukomanan. Nilai rata-rata ketahanan sobek dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rata-rata ketahanan sobek (N/cm2) terhadap nampan biokomposit foam berbasis tapioka dan glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan

Perlakuan	Waktu (detik)		
Suhu (°C)	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	4,576 ± 0,022 ^{bc}	4,860 ± 0,018 ^{b}	5,671 ± 0,131 ^{a}
S2 (150 °C)	2,205 ± 0,029 ^{c}	2,111 ± 0,048 ^{cd}	1,973 ± 0,063 ^{cd}
S3 (180 °C)	1,589 ± 0,053 ^{d}	1,653 ± 0,159 ^{d}	1,584 ± 0,032 ^{d}

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Hasil pengamatan menunjukkan nilai ketahanan sobek tertinggi diperoleh pada suhu 120°C dan waktu pencetakan 90 detik sebesar 5,671 ± 0,131 N/cm². Nilai ketahanan sobek terendah diperoleh pada suhu 180°C dan waktu pencetakan 90 detik sebesar 1,584 ± 0,032 N/cm. Kenaikan suhu pencetakan dari 120°C ke 180°C cenderung menurunkan ketahanan sobek. Pada suhu 120°C, peningkatan waktu pencetakan dari 30 menjadi 90 detik justru meningkatkan ketahanan sobek secara signifikan. Hal ini terjadi karena pada suhu relatif rendah dan waktu pencetakan yang lebih lama memungkinkan terjadinya pembentukan ikatan antar matriks biofoam secara lebih optimal tanpa menyebabkan degradasi termal. Hasil ini sejalan dengan Imaduddin *et al*., 2022, yang menyatakan bahwa peningkatan waktu pencetakan pada proses hot pressing memungkinkan matrik mengisi rongga secara lebih merata sehingga memperkuat ikatan antar komponen dan meningkatkan sifat mekanik material. Pada suhu 150°C dan 180°C mengalami penurunan ketahanan sobek, disebabkan karena kombinasi panas tinggi dengan tekanan cenderung mempercepat kerusakan termal komponen pati serta melemahkan integritas dinding sel, sehingga material lebih rapuh dan ketahanan sobek turun. Temuan ini sejalan dengan Surendren *et al*., 2022, menyatakan bahwa suhu pencetakan yang terlalu tinggi dapat membuat terjadinya degradasi struktur penurunan ikatan matriks dan pati pada biokomposit foam.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-1004-1989, nilai ketahanan adalah minimal

0,50 N/cm². Pada penelitian ini, seluruh perlakuan suhu dan waktu pencetakan terhadap biokomposit foam berbasis tapioka dan glukomanan telah memenuhi persyaratan.

Perpanjangan Saat Putus (*Elongation at Break*)

Hasil analisis keragaman (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa faktor suhu dan waktu pencetakan serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p \leq 0,01$) terhadap nilai perpanjangan saat putus nampan biokomposit foam tapioka dan glukomanan. Nilai rata-rata perpanjangan saat putus dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai rata-rata perpanjangan saat putus (%) terhadap nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan.

Perlakuan	Waktu (detik)		
Suhu (°C)	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	1,993 ± 0,011 ^{bc}	2,197 ± 0,260 ^{ab}	3,973 ± 0,127 ^{a}
S2 (150 °C)	1,887 ± 0,025 ^{bcd}	1,805 ± 0,221 ^{bcd}	0,966 ± 0,020 ^{e}
S3 (180 °C)	1,246 ± 0,348 ^{de}	1,457 ± 0,019 ^{cde}	1,564 ± 0,048 ^{bcde}

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Berdasarkan Tabel 2, nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan suhu 120°C dan waktu pencetakan 90 detik yaitu sebesar 3,973 ± 0,127. Nilai terendah diperoleh pada perlakuan suhu 180°C dan waktu pencetakan 90 detik yaitu 0,966 ± 0,020 %. Peningkatan waktu pencetakan dari 30 menjadi 90 detik justru meningkatkan nilai perpanjangan saat putus secara signifikan pada suhu 120°C. Pada suhu moderat dan waktu pencetakan yang lebih lama memungkinkan terbentuknya struktur komposit yang lebih homogen sehingga distribusi tegangan menjadi lebih merata dan material mampu mengalami deformasi lebih besar sebelum putus. Menurut Tan *et al*., 2021, struktur komposit yang lebih homogen dan memiliki interaksi antarmolekul yang baik mampu meningkatkan fleksibilitas serta kemampuan regang sebelum terjadinya kegagalan material. Pada suhu 150°C dan 180°C terjadi penurunan nilai perpanjangan saat putus, kombinasi suhu tinggi dan waktu pencetakan yang lebih lama dapat meningkatkan kekakuan struktur serta menurunkan mobilitas rantai polimer. Kondisi tersebut menyebabkan material menjadi lebih rapuh dan mudah putus ketika diberikan gaya tarik. Amaraweera *et al*., 2022 menyatakan bahwa peningkatan suhu pada biofoam berbasis pati dapat menurunkan elastisitas akibat perubahan struktur mikro dan berkurangnya fleksibilitas jaringan polimer. Hal serupa dilaporkan oleh Singh *et al*., 2024 bahwa suhu molding yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan elongasi karena meningkatnya kekakuan dan berkurangnya kemampuan deformasi plastis material komposit.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-1004-1989, nilai perpanjangan saat putus untuk plastik foam adalah minimal 160%. Pada penelitian ini suhu dan waktu pencetakan terhadap biokomposit foam berbasis tapioka dan glukomanan belum memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-1004-1989.

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Hasil analisis keragaman (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa faktor suhu dan waktu pencetakan serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p \leq 0,01$)

terhadap nilai kuat tarik nampan biokomposit *foam* tapioka dan glukomanan. Nilai rata-rata kuat tarik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada perlakuan suhu 120°C dan waktu pencetakan 90 detik yaitu sebesar 7,939 ± 0,184 N/cm². Nilai kuat tarik terendah diperoleh pada perlakuan suhu 180°C dan waktu pencetakan 90 detik yaitu 2,218 ± 0,045 N/cm². Semakin tinggi suhu maka cenderung menurunkan kuat tarik. Suhu yang terlalu tinggi mempercepat terjadinya degradasi termal sehingga struktur menjadi lebih rapuh dan kemampuan menahan gaya tarik menurun. Temuan ini sejalan dengan Rahmadani *et al*., 2025 yang melaporkan bahwa peningkatan suhu thermopressing hingga 180-200°C menurunkan kuat tarik *biofoam*, karena suhu terlalu tinggi dapat merusak struktur pati sehingga sifat mekanik melemah. Peningkatan waktu pencetakan pada suhu tinggi tidak memberikan peningkatan nilai kuat tarik yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa efek degradasi lebih dominan dibandingkan efek pemadatan struktur. Suhu tinggi dalam proses termal dapat meningkatkan kekakuan dan menyebabkan berkurangnya kemampuan material dalam menahan tegangan tarik akibat perubahan struktur jaringan polimer (Costa and Simões, 2022; Tapia-Blácido *et al*., 2022).

Tabel 3. Nilai rata-rata kuat tarik (N/cm^2) terhadap nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan.

Perlakuan	Waktu (detik)		
Suhu (°C)	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	6,407 ± 0,031 ^{bc}	6,805 ± 0,025 ^{b}	7,939 ± 0,184 ^{a}
S2 (150 °C)	3,087 ± 0,041 ^{c}	2,956 ± 0,068 ^{c}	2,762 ± 0,088 ^{cd}
S3 (180 °C)	2,225 ± 0,074 ^{d}	2,314 ± 0,223 ^{d}	2,218 ± 0,045 ^{d}

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-1004-1989, nilai kuat tarik untuk plastik *foam* adalah minimal 0,70 N/cm². Pada penelitian ini, seluruh perlakuan suhu dan waktu pencetakan terhadap biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan telah memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-1004-1989

Pampat Tetap (*Compression Set*)

Hasil analisis keragaman (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa faktor suhu dan waktu pencetakan serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p \leq 0,01$) terhadap nilai pampat tetap nampan biokomposit foam tapioka dan glukomanan. Nilai rata−rata pampat tetap dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai rata-rata pampat tetap (%) terhadap nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan.

Perlakuan	Waktu (detik)		
Suhu (°C)	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	9,805 ± 0,120 ^{a}	9,530 ± 0,057 ^{abc}	8,740 ± 0,042 ^{c}
S2 (150 °C)	9,225 ± 0,092 ^{bc}	8,755 ± 0,021 ^{c}	9,750 ± 0,127 ^{ab}
S3 (180 °C)	9,785 ± 0,106 ^{ab}	9,595 ± 0,120 ^{abc}	9,020 ± 0,055 ^{c}

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Hasil pengamatan nilai pampat tetap tertinggi diperoleh pada suhu 120°C dan waktu pencetakan 30 detik sebesar 9,805 ± 0,120%. Nilai pampat tetap terendah diperoleh pada suhu 120°C dan waktu pencetakan 90 detik sebesar 8,740 ± 0,042%. Semakin tinggi waktu pencetakan pada suhu 120°C

cenderung menurunkan nilai pampat tetap. Semakin tinggi suhu maka material akan menjadi keras dan kaku sehingga dapat menurunkan elastisitas material, hal ini terjadi pada penambahan suhu 150°C dan 180°C terbukti menurunkan nilai pampat tetap di beberapa kombinasi waktu tertentu. Scarfato *et al*., 2017 menyatakan bahwa peningkatan suhu pemrosesan pada foam dapat meningkatkan kekakuan struktur dan menyebabkan penurunan kemampuan recovery setelah kompresi.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-1004-1989, nilai pampat tetap untuk plastik foam adalah maksimal 10%. Pada penelitian ini, seluruh perlakuan suhu dan waktu pencetakan terhadap biokomposit foam berbasis tapioka dan glukomanan telah memenuhi persyaratan SNI.

Kerapatan Massa (*Density*)

Hasil analisis keragaman (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa faktor bahwa perlakuan suhu dan waktu pencetakan berpengaruh sangat nyata ($p \leq 0,01$), interaksi antar perlakuan suhu dan waktu berpengaruh nyata ($p \leq 0,05$) terhadap nampan biokomposit *foam*. Nilai rata-rata densitas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai rata-rata densitas (gram/cm^3) terhadap nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan.

Perlakuan	Waktu (detik)		
Suhu (°C)	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	0,249 ± 0,007 ^{d}	0,252 ± 0,014 ^{cd}	0,268 ± 0,011 ^{cd}
S2 (150 °C)	0,298 ± 0,007 ^{bc}	0,258 ± 0,007 ^{cd}	0,323 ± 0,004 ^{ab}
S3 (180 °C)	0,302 ± 0,005 ^{ab}	0,291 ± 0,011 ^{bc}	0,340 ± 0,012 ^{a}

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Tabel 5, menunjukkan nilai densitas tertinggi diperoleh pada suhu 180°C dan waktu pencetakan 90 detik sebesar 0,340 ± 0,012 g/cm³. Nilai densitas terendah diperoleh pada suhu 120°C dan waktu pencetakan 30 detik sebesar 0,249 ± 0,007 g/cm³. Waktu pencetakan yang lebih lama menyebabkan struktur *biofoam* menjadi lebih padat akibat berkurangnya volume pori dan meningkatnya pemadatan selama proses *hot pressing*. Semakin tinggi suhu maka nilai densitas semakin meningkat. Suhu yang lebih tinggi menyebabkan penyusutan ukuran pori dan pemadatan dinding sel, sehingga struktur *foam* menjadi lebih kompak dan densitas meningkat. Temuan ini sejalan dengan Aimar *et al*., 2025, yang melaporkan bahwa semakin tinggi suhu pencetakan, jumlah pori semakin berkurang sehingga struktur material menjadi lebih rapat sehingga massa material akan bertambah.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-1004-1989, nilai densitas untuk plastik *foam* adalah 0,012-0,015 g/cm^3. Pada penelitian ini suhu dan waktu pencetakan terhadap biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan belum memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-1004-1989.

Pengembangan Tebal (*Swelling*)

Hasil analisis keragaman (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa faktor suhu dan waktu pencetakan berpengaruh sangat nyata ($p \leq 0,01$), interaksi antar perlakuan suhu dan waktu berpengaruh nyata ($p \leq 0,05$) terhadap pengembangan tebal (*swelling*) nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan. Nilai rata-rata *swelling* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai rata-rata densitas (%) terhadap nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan

glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan.

Perlakuan	Waktu (detik)		
Suhu (°C)	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	0,775 ± 0,016 [a]	0,666 ± 0,003 [abc]	0,539 ± 0,025 [c]
S2 (150 °C)	0,718 ± 0,024 [a]	0,762 ± 0,081 [a]	0,691 ± 0,049 [ab]
S3 (180 °C)	0,643 ± 0,014 [abc]	0,566 ± 0,019 [bc]	0,569 ± 0,060 [bc]

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Nilai *swelling* tertinggi diperoleh pada suhu 120°C dan waktu pencetakan 30 detik sebesar 0,775 ± 0,016%. Nilai *swelling* terendah diperoleh pada suhu 120°C dan waktu pencetakan 90 detik, yaitu 0,539 ± 0,025%. Semakin lama waktu pencetakan, struktur biokomposit *foam* menjadi lebih padat sehingga kemampuan material menyerap air menjadi lebih rendah. Menurut Valyova and Koynov, 2020 menyatakan bahwa waktu tekan yang lebih singkat menyebabkan material belum terkompaksi dan belum beradhesi secara optimal. Singh *et al*., 2024 juga menyatakan bahwa peningkatan suhu dan durasi proses pencetakan dapat menyebabkan struktur komposit menjadi lebih padat sehingga kemampuan material menyerap air berkurang.

Berdasarkan Standar Internasional EN 317, nilai pengembangan tebal (*swelling*) yang diperbolehkan untuk material berbasis komposit adalah maksimal 1,44%. Pada penelitian ini, nilai *swelling* biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan berada pada kisaran 0,539-0,775%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh perlakuan suhu dan waktu pencetakan telah memenuhi persyaratan Standar Internasional EN 317.

Ketebalan

Hasil analisis keragaman (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa faktor suhu dan waktu pencetakan serta interaksinya tidak berpengaruh nyata ($p \geq 0,05$) terhadap nilai ketebalan nampan biokomposit *foam* tapioka dan glukomanan. Nilai rata-rata ketebalan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai rata-rata ketebalan (%) terhadap nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan.

Perlakuan	Waktu (detik)		
Suhu (°C)	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	0,564 ± 0,028 [a]	0,426 ± 0,037 [a]	0,315 ± 0,028 [a]
S2 (150 °C)	0,520 ± 0,011 [a]	0,457 ± 0,066 [a]	0,511 ± 0,078 [a]
S3 (180 °C)	0,432 ± 0,116 [a]	0,470 ± 0,096 [a]	0,514 ± 0,023 [a]

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Tabel 7. menunjukkan bahwa perubahan suhu dan waktu pencetakan belum mampu memberikan pengaruh yang nyata terhadap ketebalan biokomposit *foam*. Hal ini disebabkan karena seluruh perlakuan menggunakan cetakan yang sama. Penggunaan cetakan yang seragam tersebut memungkinkan setiap sampel memiliki batasan ukuran yang sama selama proses pencetakan, sehingga ketebalan yang dihasilkan cenderung seragam. Kondisi ini menyebabkan variasi perlakuan yang diberikan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter ketebalan. Hal ini sejalan dengan temuan Glenn *et al*., 2024 yang menyatakan bahwa *biofoam* yang diproduksi menggunakan metode *compression molding* memiliki ketebalan yang konsisten. Temuan tersebut menunjukkan bahwa proses pencetakan mampu menghasilkan *foam* dengan dimensi yang relatif seragam.

Biodegradasi

Hasil analisis keragaman (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa faktor kelompok, suhu dan waktu pencetakan serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p \leq 0,01$) terhadap nilai biodegradasi nampan biokomposit *foam* tapioka dan glukomanan. Nilai rata-rata biodegradasi pada hari ke-20 dapat dilihat pada Tabel 8.

Hasil pengamatan nilai biodegradasi pada hari ke-20 menunjukkan nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan suhu 120°C dan waktu pencetakan 90 detik yaitu sebesar 77,6 ± 0,008 %. Nilai biodegradasi terendah diperoleh pada suhu 180°C dan waktu pencetakan 90 detik sebesar 65,6 ± 0,016%. Pada perlakuan suhu 120°C, peningkatan waktu pencetakan dari 30 detik menjadi 90 detik menunjukkan peningkatan nilai biodegradasi dari 66,2% menjadi 77,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan suhu dan waktu pencetakan mampu memengaruhi tingkat kehilangan massa biokomposit *foam* selama penguburan di tanah. Menurut Rodrigues *et al*., 2020, biodegradasi berbasis pati sangat dipengaruhi oleh struktur material yang terbentuk selama proses pencetakan, karena struktur tersebut menentukan kemudahan penetrasi air dan aktivitas mikroorganisme tanah. Peningkatan suhu dan waktu pencetakan dapat menghasilkan struktur yang lebih terbuka sehingga mempercepat proses biodegradasi. Menurut Namphonsane *et al*., 2023, *foam* biodegradable yang diproduksi menggunakan metode *compression molding* dapat mengalami perubahan struktur sel akibat kondisi proses termal, yang selanjutnya memengaruhi tingkat biodegradasi material selama penguburan di tanah.

Tabel 8. Nilai rata-rata biodegradasi (%) terhadap nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan

Perlakuan	Waktu (detik)		
Suhu (°C)	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	66,2 ± 0,013 ^{c}	65,6 ± 0,031 ^{c}	77,6 ± 0,008 ^{a}
S2 (150 °C)	75,6 ± 0,009 ^{abc}	75,0 ± 0,006 ^{abc}	76,9 ± 0,008 ^{ab}
S3 (180 °C)	76,9 ± 0,003 ^{abc}	71,3 ± 0,013 ^{bc}	65,6 ± 0,016 ^{c}

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5%

Berdasarkan Standar Internasional ASTM D5988, nilai biodegradasi yang diperbolehkan untuk material berbasis komposit adalah maksimal 60 hari. Pada penelitian ini, nilai biodegradasi biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan pada hari ke-20 berkisar 65,6 % hingga 77,6 %. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh perlakuan suhu dan waktu pencetakan telah memenuhi persyaratan Standar Internasional ASTM D5988.

Uji Kebocoran

Uji kebocoran dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya kebocoran pada sampel, yang ditandai dengan rembesan air pada permukaan atau kebocoran pada seluruh bagian sampel. Hasil uji kebocoran menunjukkan bahwa seluruh perlakuan suhu dan waktu pencetakan tidak mengalami kebocoran, dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil uji kebocoran terhadap nampan biokomposit *foam* berbasis tapioka dan glukomanan dalam variasi suhu dan waktu pencetakan.

Perlakuan Suhu (°C)	Waktu (detik)		
	30 (W1)	60 (W2)	90 (W3)
S1 (120 °C)	Tidak bocor	Tidak bocor	Tidak bocor

S2 (150 °C)	Tidak bocor	Tidak bocor	Tidak bocor
S3 (180 °C)	Tidak bocor	Tidak bocor	Tidak bocor

Tabel 9. menunjukkan bahwa seluruh perlakuan tidak mengalami kebocoran setelah kemasan diisi dengan air dan didiamkan selama 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa variasi suhu dan waktu pencetakan belum menimbulkan perbedaan terhadap kemampuan nampan dalam menahan air. Suhu dan waktu pencetakan yang digunakan telah mampu membentuk struktur nampan yang cukup rapat sehingga air tidak mudah merembes ke permukaan. Menurut Aimar *et al*., 2025, suhu dan waktu pencetakan berperan dalam membentuk struktur yang lebih kompak melalui pengaturan pori dan pemadatan selama proses pencetakan. Sejalan dengan penemuan, Arnata *et al*., 2025, menyatakan bahwa proses pencetakan pada *biofoam* berpengaruh terhadap pembentukan struktur kompak yang berhubungan dengan ketahanan produk terhadap penetrasi cairan.

Perlakuan Terbaik

Perlakuan terbaik pada penelitian ini adalah perlakuan suhu 120°C dan waktu pencetakan 90 detik yang menghasilkan karakteristik biokomposit *foam* terbaik dengan kuat tarik 7,939 N/cm², nilai ketahanan sobek 5,671 N/cm², pampat tetap 8,740% yang sudah memenuhi SNI 06-1004-1989 serta pengembangan tebal (*swelling*) 0,539% yang sudah memenuhi Standar Internasional (EN 317), biodegradasi 77,6% pada hari ke-20 yang sudah memenuhi Standar Internasional (ASTM D5988).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa faktor suhu, waktu pencetakan, serta interaksi keduanya memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap ketahanan sobek, perpanjangan saat putus, kuat tarik, pampat tetap, densitas, pengembangan tebal (swelling), dan tingkat biodegradasi nampan biokomposit foam, meskipun tidak memberikan pengaruh yang nyata pada ketebalannya. Selain itu, pada uji kebocoran, seluruh perlakuan terbukti tidak mengalami kebocoran. Secara spesifik, penggunaan suhu yang semakin rendah dengan waktu pencetakan yang lebih lama mampu memperbaiki karakteristik nampan dengan cara meningkatkan nilai kuat tarik, ketahanan sobek, perpanjangan saat putus, dan biodegradasi, sekaligus menurunkan nilai densitas dan tingkat pengembangan tebalnya. Adapun perlakuan terbaik dalam penelitian ini dicapai pada suhu 120°C dengan waktu pencetakan 90 detik, yang menghasilkan produk tanpa indikasi kebocoran dengan spesifikasi nilai ketahanan sobek sebesar 5,671 N/cm², perpanjangan saat putus 3,973%, kuat tarik 7,939 N/cm², pampat tetap 8,740%, densitas 0,268 g/cm³, ketebalan 0,315 cm, pengembangan tebal 0,539%, serta tingkat biodegradasi mencapai 77,6% pada hari ke-20.

Saran

Hasil dari penelitian ini disarankan perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan mengeksplorasi variasi suhu yang lebih rendah (<120°C) dengan waktu pencetakan yang lebih lama (>90 detik). Sehingga akan diperoleh suhu dan waktu pencetakan yang paling optimal dalam pembentukan nampan biokomposit foam berbasis tapioka dan glukomanan.

DAFTAR PUSTAKA

Aimar, I. M., Harsujuwono, B. A., Antara, N. S., Hartiati, A., dan Suhartini, S. 2025. Karakteristik kemasan nampan berbasis pati termoplastis, glukomanan termoplastis dan poliasam laktat dalam

variasi suhu dan waktu pencetakan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, *13*(2). http://dx.doi.org/10.24843/JRMA.2025.v13.i02.p03

Amaraweera, S. M., Gunathilake, C., Gunawardene, O. H. P., Dassanayake, R. S., Fernando, N. M. L., Wanninayaka, D. B., Rajapaksha, S. M., Manamperi, A., Manchanda, A., Fernando, C. A. N., Kulatunga, A. K., and Manipura, A. 2022. Preparation and characterization of dual-modified cassava starch-based biodegradable *foam*s for sustainable packaging applications. *ACS Omega*, *7*(23), 19579–19590. Https://Doi.Org/10.1021/Acsomega.2c01292

Arnata, I. W., Fiano, E. D. K., dan Triani, I. G. A. L. 2025. Karakteristik komposit biofoam pati-glukomanan pada variasi formulasi perbandingan foaming agent natrium bikarbonat dengan asam sitrat. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, *19*(1), 178–193. Https://Doi.Org/10.21107/Agrointek.V19i1.25350

Capricho, J. C., Prasad, K., Hameed, N., Nikzad, M., and Salim, N. 2022. Upcycling polystyrene. *Polymers*, *14*(22). Https://Doi.Org/10.3390/Polym14225010

Costa, V. L. D., and Simões, R. M. S. 2022. Hydrophobicity improvement of cellulose nanofibrils films by stearic acid and modified precipitated calcium carbonate coating. *Journal Of Materials Science*, *57*(24), 11443–11459. Https://Doi.Org/10.1007/S10853-022-07249-X

Febriansya, A., Iskandar, A., Amalia, D., Indah, R. N., and Widyaningsih, Y. 2024. Environmental implications of styrofoam waste and its utilization as lightweight fill material for embankment construction. *E3S Web Of Conferences*, *479*. Https://Doi.Org/10.1051/E3sconf/202447907036

Glenn, G. M., Tonoli, G. H. D., Silva, L. E., Klamczynski, A. P., Wood, D., Chiou, B. Sen, Lee, C., Hart-Cooper, W., Mccaffrey, Z., and Orts, W. 2024. Effect of starch and paperboard reinforcing structures on insulative fiber foam composites. *Polymers*, *16*(7). Https://Doi.Org/10.3390/Polym16070911

Imaduddin, F., Sastra, P., Raharjo, W. W., Wullandari, P., and Ridwan, R. 2022. Effect of holding time and temperature of hot pressing on tensile strength of biodegradable plastic made of carrageenan. *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, *21*(2), 75. Https://Doi.Org/10.20961/Mekanika.V21i2.64292

Losio, S., Cifarelli, A., Vignali, A., Tomaselli, S., and Bertini, F. 2023. Flexible polyurethane foams from bio-based polyols: prepolymer synthesis and characterization. *Polymers*, *15*(22). Https://Doi.Org/10.3390/Polym15224423

Namphonsane, A., Amornsakchai, T., Chia, C. H., Goh, K. L., Thanawan, S., Wongsagonsup, R., and Smith, S. M. 2023. Development of biodegradable rigid foams from pineapple field waste. *Polymers*, *15*(13). Https://Doi.Org/10.3390/Polym15132895

Paramita, M. P., dan Budiyati, E. 2019. Pengaruh variasi waktu dan suhu proses thermopressing pada pengembangan biodegradable foam berbasis tapioka dan α-selulosa kulit singkong. *Materials Science, Environmental Science*. Https://Api.Semanticscholar.Org/Corpusid:155629128

Putra, A. C., Arifin, V. B. P., Astuti, D. H., dan Sani. 2023. Pembuatan biodegradable foam dari selulosa jerami dan tepung singkong dengan proses thermopressing. *Jurnal UPN*. Http://Snsb.Upnjatim.Ac.Id/

Rahmadani, F., Syauqiah, I., and Nugroho, A. 2025. Improving mechanical properties of biofoam using oil palm fiber as filler at various temperatures and processing times. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, *14*(1), 130–136. Https://Doi.Org/10.23960/Jtep-L.V14i1.130-136

Rahmadhani, P., Ardiani, F., dan Sudaryati, E. 2015. Gambaran pengetahuan dan sikap dengan posisi tawar konsumen tentang penggunaan kemasan styrofoam sebagai wadah makanan di amaliun foodcourt tahun 2015. *Jurnal FKM USU*.

Rodrigues, N. H. P., De Souza, J. T., Rodrigues, R. L., Canteri, M. H. G., Tramontin, S. M. K., and De Francisco, A. C. 2020. Starch-based foam packaging developed from a by-product of potato industrialization (solanum tuberosum l.). *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(7). Https://Doi.Org/10.3390/App10072235

Sarito, I. K., Harsojuwono, B. A., dan Suwariani, N. P. 2021. Karakteristik biokomposit foam maizena dan glukomanan pada perlakuan konsentrasi campuran sorbitol dan tdi-80. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(4), 526–537. http://dx.doi.org/10.24843/JRMA.2021.v09.i04.p09

Scarfato, P., Maio, L. Di, and Incarnato, L. 2017. Structure and physical-mechanical properties related to comfort of flexible polyurethane foams for mattress and effects of artificial weathering. *Composites Part*, *109*, 45–52. Https://Doi.Org/10.1016/J.Compositesb.2016.10.041

Singh, J. I. P., Sharma, V., Singh, S., Dhawan, V., Belaadi, A., Kumar, R., Sharma, S., Kumar, A., Awwad, F. A., Khan, M. I., and Ismail, E. A. A. 2024. Impact of molding temperature, fiber loading and chemical modifications on the physicomechanical, and microstructural morphology properties of woven kenaf fiber/pla composites for non-structural applications. *Journal Of Natural Fibers*, *21*(1), 2326586. Https://Doi.Org/10.1080/15440478.2024.2326586

Surendren, A., Mohanty, A. K., Liu, Q., and Misra, M. 2022. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives. In *Green Chemistry* (Vol. 19, Number 11). Royal Society Of Chemistry. Https://Doi.Org/10.1039/D2gc02169b

Tan, R., Li, F., Zhang, Y., Yuan, Z., Feng, X., Zhang, W., Liang, T., Cao, J., De Hoop, C. F., Peng, X., and Huang, X. 2021. High-performance biocomposite polyvinyl alcohol (pva) films modified with cellulose nanocrystals (cncs), tannic acid (ta), and chitosan (cs) for food packaging. *Journal Of Nanomaterials*, *2021*, 9. Https://Doi.Org/10.1155/2021/4821717

Tapia-Blácido, D. R., Aguilar, G. J., De Andrade, M. T., Rodrigues-Júnior, M. F., and Guareschi-Martins, F. C. 2022. Trends and challenges of starch-based foams for use as food packaging and food container. *Trends In Food Science and Technology*, *119*, 257–271. Https://Doi.Org/Https://Doi.Org/10.1016/J.Tifs.2021.12.005

Valyova, M., and Koynov, D. 2020. Influence of pressing time on physical and mechanical properties of particleboards made from scots pine (pinus sylvestris l.). *European Mechanical Science*, *4*(2), 78–81. Https://Doi.Org/10.26701/Ems.532796

Yanto, D. H. Y., Krishanti, N. P. R. A., Ardiati, F. C., Anita, S. H., Nugraha, I. K., Sari, F. P., Laksana, R. P. B., Sapardi, S., and Watanabe, T. 2019. Biodegradation of styrofoam waste by ligninolytic fungi and bacteria. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, *308*(1). Https://Doi.Org/10.1088/1755-1315/308/1/012001