JURNAL ILMIAH INOVASI

Vol. 25, No. 3, Des 2025
E-ISSN : 2527-6220 | P-ISSN : 1411-5549
DOI : 10.25047/jii.v25i3.6445

Optimalisasi Karakteristik Biodegradable Foam Menggunakan Selulosa Daun Kelapa Sebagai Penguat dan Variasi Jenis Pati Sebagai Pengikat

Optimizing the Characteristics of Biodegradable Foam Using Coconut Leaf Cellulose as Reinforcement and Various Starch Types as Binders

Andi Marlisa Bossa Samang [1*], Nurul Fathanah [2]

[1,2] Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Sulawesi Barat
* andimarlisa.bossasamang@unsulbar.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan kemasan *styrofoam* konvensional menimbulkan permasalahan lingkungan karena sifatnya yang sulit terurai secara alami. Selain itu, polistirena sebagai bahan utama *styrofoam* berpotensi melepaskan senyawa berbahaya, seperti *styrene*, yang dapat bermigrasi ke dalam pangan dan bersifat toksik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alternatif kemasan ramah lingkungan berupa *biodegradable foam* (*biofoam*) berbahan dasar alami dengan penambahan selulosa daun kelapa (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%) dan jenis pati (pati sagu dan kentang). Karakteristik *biofoam* diuji melalui daya serap air, kuat tarik, kuat tekan, densitas, biodegradasi, dan morfologi menggunakan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan optimal diperoleh pada kombinasi konsentrasi selulosa 20% dengan pati kentang (A5B2). *Biofoam* A5B2 memiliki daya serap air rendah (4%) dan densitas terendah (0,666 g/cm^3), serta menunjukkan peningkatan seifat mekanis dengan kuat tarik sebesar 0,417 N/mm^2 dan kuat tekan 0,032 N/mm^2. Selain itu, laju biodegradasi *biofoam* A5B2 tertinggi yaitu 18,446%. Hasil uji SEM memperlihatkan bahwa biofoam tanpa selulosa (A1B1 dan A1B2) memiliki rongga besar dengan distribusi pori tidak merata, sedangkan biofoam pada perlakuan optimal (A5B1 dan A5B2) menunjukkan struktur yang lebih rapat dan padat, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan sifat fisik dan mekanis.

Kata kunci — *biofoam*, pati kentang, pati sagu, selulosa daun kelapa

ABSTRACT

The use of conventional styrofoam packaging poses environmental problems due to its non-biodegradable nature. Additionally, polystyrene, the primary component of styrofoam, has the potential to release hazardous compounds, such as styrene, which may migrate into food and exhibit toxic effects. Therefore, the aim of this research is to develop an eco-friendly alternative packaging in the form of biodegradable foam (biofoam) made from natural materials, reinforced with coconut leaf cellulose (0%, 5%, 10%, 15%, and 20%) and different starch types (sago and potato starch). The biofoam characteristics were evaluated through water absorption, tensile strength, compressive strength, density, biodegradability, and morphology analysis using SEM. The results showed that the optimal treatment was achieved with 20% cellulose concentration combined with potato starch (A5B2). The A5B2 biofoam exhibited the lowest water absorption (4%) and density (0.666 g/cm³), while demonstrating improved mechanical properties with a tensile strength of 0.417 N/mm² and a compressive strength of 0.032 N/mm². Furthermore, the biodegradation rate of A5B2 was the highest, reaching 18.446%. SEM analysis revealed that biofoam without cellulose (A1B1 and A1B2) contained large voids with uneven pore distribution, whereas the optimal treatment (A5B1 and A5B2) displayed a denser and more compact structure, contributing to the enhancement of both physical and mechanical properties.

Keywords — *biofoam, potato starch, sago starch, coconut leaf cellulose*

OPEN ACCESS
© 2023. Andi Marlisa Bossa Samang, Nurul Fathanah
Creative Commons
Attribution 4.0 International License

1. Pendahuluan

Kemasan berbasis plastik styrofoam konvensional masih mendominasi penggunaannya di industri pangan karena sifatnya yang ringan, kaku, mudah dibentuk, tahan terhadap benturan, serta memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan rendah [1], [2]. Namun, akumulasi limbah styrofoam menimbulkan masalah serius terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai secara hayati serta sulit dalam proses pembuangan dan penanganan [1], [3]. Selain itu, perpindahan monomer seperti styrene dan benzene ke dalam makanan yang dikemas dapat meningkatkan risiko kanker apabila dikonsumsi [3], [4]. Menurut *World Waste Management*, Indonesia menempati peringkat kedua di asia sebagai negara yang paling terdampak secara lingkungan akibat limbah styrofoam, dengan jumlah mencapai 3,2 juta metrik ton [5]. Oleh karena itu, pengembangan kemasan alternatif yang bersifat ramah lingkungan dan memiliki kemampuan terurai secara alami menjadi suatu kebutuhan yang mendesak. Salah satu inovasi yang potensial adalah pengembangan *biodegradable foam* atau *biofoam* yang menggunakan selulosa dari daun kelapa sebagai penguat dan berbagai jenis pati sebagai agen pengikat atau perekat.

Daun kelapa merupakan salah satu bagian tanaman yang tersedia dalam jumlah melimpah, terbarukan, mudah terurai secara alami dan ramah lingkungan [6]. Kandungan utama daun kelapa adalah selulosa, yaitu polimer alami yang bersifat biokompatibel dan dapat diperbarui, sehingga berpotensi menjadi alternatif pengganti polimer sintetik [7], [8]. Kadar selulosa pada daun kelapa utuh sebesar 56,71% (b/b), sehingga memiliki kemampuan sebagai penguat (*filler*) pada pembuatan *biofoam* yang memberikan kekuatan mekanis dan kestabilan bentuk yang baik [9]. Penelitian sebelumnya oleh [10] mengenai pemanfaatan selulosa daun kelapa dalam pembuatan *bio-board* telah menunjukkan peningkatan pada kekuatan tarik dan fleksibilitas. Namun demikian, penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan selulosa daun kelapa sebagai penguat pada *biofoam* masih sangat terbatas. Padahal, selulosa daun kelapa yang melimpah menjadikannya bahan baku potensial dalam pengembangan *biofoam.* Karakteristik *biofoam* menggunakan selulosa daun kelapa selanjutnya dapat dioptimalkan melalui penggunaan berbagai jenis pati sebagai pengikat (*binder*).

Pati merupakan polisakarida alami yang banyak ditemukan pada umbi-umbian, biji-bijian, atau bagian tanaman yang dapat menggantikan 70% polistiren pada pembuatan *biofoam* sebagai bahan pengikat atau perekat [11], [12], [13]. Pati sagu memiliki kandungan amilopektin berkisar antara 69 sampai 76% [13], sehingga memiliki daya serap air yang lebih rendah dibandingkan pati singkong dan pati jagung [2], [14]. Penggunaan pati sagu sebagai pengikat pada penelitian sebelumnya oleh [13], [14], [15] menunjukkan peningkatan sifat mekanis (daya serap air, kekuatan tarik, dan biodegradabilitas) pada komposit *biofoam*. Selain pati sagu, jenis pati yang dapat digunakan pada *biofoam* adalah pati kentang. Pati kentang memiliki kandungan amilopektin yang tinggi yaitu 75% serta granula berukuran lebih besar, yang memungkinkan distribusi dan interaksi antarpartikel lebih homogen, sehingga meningkatkan kekuatan tarik [16], [17]. Penelitian sebelumnya oleh [17], [18] menunjukkan penambahan pati kentang mampu memperbaiki karakteristik mekanis meliputi kekuatan tarik dan elongasi, serta fisik yang meliputi ketebalan dan kepadatan pada kemasan. Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan pati sagu dan pati kentang sebagai bahan pengikat pada *biofoam* karena amilopektinnya yang tinggi sehingga mendukung pembentukan matriks polimer. Namun, kajian yang secara khusus membandingkan efektivitas kedua jenis pati tersebut untuk memperkuat *biofoam* dengan penambahan selulosa daun kelapa belum ada. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengoptimalkan karakteristik *biofoam* melalui pemanfaatan selulosa daun kelapa dengan jenis pati, yaitu pati sagu dan kentang, sebagai pengikat.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat *biofoam* menggunakan selulosa daun kelapa sebagai penguat dan berbagai jenis pati (sagu dan kentang) sebagai pengikat. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan *biodegradable foam* dengan sifat fisik dan mekanis yang optimal.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah selulosa daun kelapa, pati sagu, pati kentang, magnesium stearat, PVA (polivinil alkohol), aquades, NaOH, larutan hipoklorit. Peralatan yang digunakan antara lain neraca analitik, desikator, oven, cawan petri, *magnetic stirrer*, gelas ukur, erlenmeyer, *grinder*, *mixer*, ayakan 100 mesh, spatula, termometer, pH meter, *water bath*, *thickness gauge*, *texture analyzer* Brookfield CT3/TA dengan probe TA-18, *Universal Testing Machine* (UTM), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri atas empat tahapan meliputi persiapan pati, persiapan selulosa daun kelapa, pembuatan *biofoam*, dan pengujian karakteristik *biofoam*.

a. Persiapan Pati

Pati dikeringkan pada suhu 80°C selama 24 jam di dalam oven untuk menghilangkan kandungan air di dalam pati, kemudian dimasukkan di dalam desikator [19].

b. Persiapan Selulosa Daun Kelapa

Proses pengolahan selulosa daun kelapa pada penelitian ini mengacu pada metode yang telah dimodifikasi dari [15], [20]. Tahap awal, daun kelapa kering dibersihkan, dipotong kecil-kecil, dan kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 80°C selama 6 jam. Daun yang telah kering digiling menggunakan *grinder* dan diayak dengan ukuran 70 *mesh*, sehingga diperoleh serat daun kelapa. Selanjutnya proses delignifikasi dengan merendam serat daun kelapa ke dalam larutan NaOH 10% selama 2 jam pada suhi 90°C menggunakan *water bath*. Setelah delignifikasi selesai, sampel dicuci dibilas dengan aquades hingga mencapai pH netral. Selanjutnya, selulosa daun kelapa di*bleaching* menggunakan larutan hipoklorit selama 30 menit untuk mencerahkan warna dan menghilangkan sisa lignin. Selulosa kemudian dibilas Kembali hingga pH netral, dikeringkan pada suhu 90°C selama 5 jam, lalu digiling dan diayak kembali dengan ayakan 100 *mesh* untuk memperoleh selulosa yang lebih halus dan homogen.

c. Pembuatan *biofoam*

Pembuatan *biofoam* menggunakan metode *baking process* yang merujuk pada penelitian [20], [21] dengan perbandingan bahan padat dan cair yaitu (60:40). Variasi pada komposisi pembuatan *biofoam* dapat dilihat pada Tabel 1. Selanjutnya, bahan padat dan cair dicampurkan ke dalam satu waduh dan diaduk menggunakan *mixer* dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Adonan kemudian dituang ke dalam cawan petri, lalu dipanaskan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 2 jam. Setelah proses pemanasan, sampel didinginkan pada suhu ruang selama 24 jam. Tahap berikutnya adalah pengujian karakteristik biofoam yang meliputi daya serap air, kekuatan tarik, kekuatan tekan, densitas, tingkat biodegradasi, serta analisis morfologi.

Tabel 1. Variasi Komposisi Pembuatan *Biofoam*

Kode	Bahan Padat (60)				Bahan Cair (40)
	Pati (g)	Selulosa (g)	PVA (g)	Magnesium Stearat (g)	Aquades (ml)
A1B1	85	0	10	5	66,666
A2B1	80	5	10	5	66,666
A3B1	75	10	10	5	66,666
A4B1	70	15	10	5	66,666
A5B1	65	20	10	5	66,666
A1B2	85	0	10	5	66,666
A2B2	80	5	10	5	66,666
A3B2	75	10	10	5	66,666
A4B2	70	15	10	5	66,666
A5B2	65	20	10	5	66,666

2.3. Pengujian Karakteristik

a. Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air pada *biofoam* dilakukan berdasarkan standar ABNT NBR NM ISO 535, 1999. Sampel *biofoam* dipotong dengan ukuran 2,5 × 5 cm, kemudian ditimbang untuk memperoleh berat awal. Selanjutnya, sampel direndam di dalam aquades selama 1 menit, lalu permukaannya dikeringkan menggunakan tisu. Setelah itu, *biofoam* ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir [21]. Nilai daya serap air dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Daya Serap (\%)} = \frac{\text{Mt} - \text{Mo}}{\text{Mo}} \times 100\%$$

Keterangan:
Mo = Berat awal (g)
Mt = Berat akhir (g)

b. Uji Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik *biofoam* mengacu pada standar *Technical Association of the Pulp of Paper Industry* (TAPPI) No. T404 untuk menentukan kekuatan material terhadap gaya tarik. Sampel *biofoam* berukuran 2,5 × 5 cm kedua ujungnya dijepit pada alat uji, kemudian ditarik secara perlahan sampai putus [2]. Nilai kuat tarik dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{\mathcal{F}\ \text{maks}}{\text{A}}$$

Keterangan:

σ = Kuat tarik (N/mm^2)
$\mathcal{F}\ maks$ = Tegangan maksimum (N)
A = Luas permukaan (mm^2)

c. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan sesuai standar ASTM D695-96 menggunakan *Texture Analyzer*. Sampel *biofoam* berukuran 1 × 5 cm ditekan dengan *probe* TA18 pada kecepatan 1 mm/s [15]. Nilai kuat tekan kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{\text{P}}{\text{Ao}}$$

Keterangan:

σ = Kuat tekan (N/mm^2)
P = Beban tekan (N)
Ao = Luas permukaan (mm^2)

d. Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan merode Polat, yang melibatkan perhitungan massa dan volume sampel [22]. Sampel dipotong dengan ukuran 3 × 3 cm, kemudian massanya diukur menggunakan neraca analitik. Volume sampel selanjutnya dihitung dengan mengalikan panjang, lebar, dan tebalnya menggunakan *thickness gauge*.

$$\rho = \frac{\text{m}}{\text{v}}$$

Keterangan:

ρ = Massa jenis (g/cm^3)
m = Massa (g)
v = Volume (cm^3)

e. Uji Biodegradasi

Pengujian biodegradasi pada *biofoam* dilakukan mengacu pada ASTM G-21-70 melalui kontak langsung dengan media tanah [15]. Sampel berukuran 2,5 × 5 cm ditimbang sebagai berat awal, lalu ditempatkan dalam kotak yang berisi tanah dengan ketinggian 20 cm selama 14 hari [21]. Setelah periode tersebut, sampel dibersihkan dari sisa tanah dan ditimbang sebagai berat akhir.

$$\text{Biodegradasi}\ (\%) = \frac{\text{Wo} - \text{Wt}}{\text{Wo}} \times 100\%$$

Keterangan:

Wo = berat awal (g)
Wt = berat akhir (g)

f. Uji Morfologi

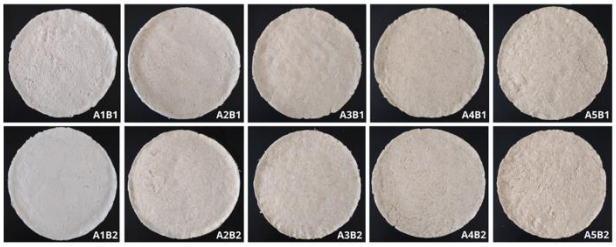
Pengujian morfologi permukaan *biofoam* dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisis struktur permukaan material yang dihasilkan. SEM akan mendeteksi elektron yang dihamburkan oleh berkas elektron berenergi tinggi secara kontinu yang dipercepat melalui medan elektromagnetik, yang kemudian ditampilkan pada *Chatode Ray Tube* (CRT) untuk memberikan informasi detail mengenai keadaan permukaan sampel [14], [22].

g. Analisis Data

Analisis data pengujian menggunakan *Analysis of Variance* (Anova) *two-way* untuk mengetahui signifikansi pengaruh konsentrasi selulosa, jenis pati, dan interaksi antara kedua bahan tersebut. Nilai dinyatakan signifikan apabila sig. < 0,05.

3. Pembahasan

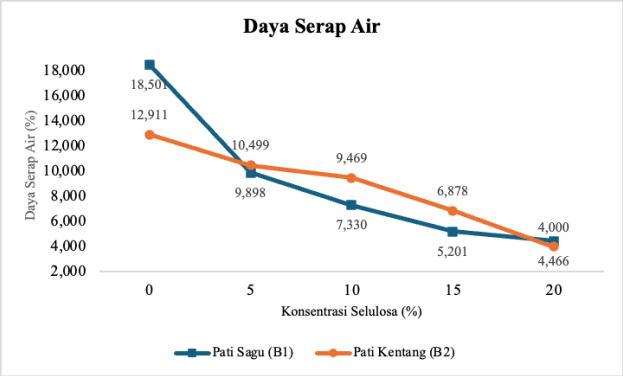
Kemasan *biofoam* yang dihasilkan terdiri atas 10 variasi yang tertera pada Gambar 1.



Gambar. Sampel *Biofoam* yang Dihasilkan

3.1. Hasil Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan untuk menilai kemampuan *biofoam* dalam menahan air yang akan berdampak pada stabilitas dan daya tahan *biofoam* [23]. Data hasil pengujian daya serap air pada *biofoam* tertera pada Gambar 2.



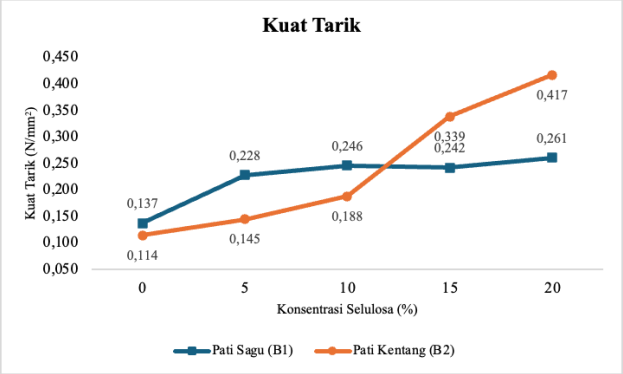
Gambar 2. Hasil Pengujian Daya Serap Air *Biofoam*

Pengujian daya serap air menunjukkan nilai berkisar antara 4% sampai 18,501%. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa konsentrasi selulosa, jenis pati, dan interaksi keduanya berpengaruh signifikan (sig. <0,05). Data pada Gambar 2 memperlihatkan terjadi penurunan daya serap air seiring dengan bertambahnya konsentrasi selulosa. Sesuai dengan tujuan penambahan selulosa sebagai *filler* yaitu untuk mengisi rongga pada *biofoam*. *Biofoam* yang berbahan dasar pati memiliki struktur berpori yang membuatnya rentan terhadap penetrasi air. Selulosa dapat mengatasi hal ini dengan mengisi matriks polimer dan mengurangi tingkat porositas [21], [24]. Sementara itu, nilai daya serap air pada *biofoam* berbahan pati sagu lebih tinggi yaitu 45,397% dibandingkan dengan pati kentang yaitu 43,757%. Hal ini diduga berkaitan dengan ukuran granula pati, di mana pati kentang memiliki ukuran granula yang besar [16], sehingga menghasilkan struktur polimer yang lebih rapat dan homogen, sehingga meningkatkan kemampuan penyerapan air *biofoam*.

Sampai saat ini, belum ada standar nasional atau SNI tentang *biofoam*. Namun, jika mengacu pada *styrofoam* komersil berdasarkan *Product Information Commercial* yaitu sebesar 0,3% [24], [25]. *Biofoam* yang dihasilkan dalam penelitian ini menunjukkan tingkat penyerapan air yang masih tinggi jika dibandingkan dengan standar *styrofoam* komersial, hal ini disebabkan selulosa memiliki sifat hidrofilik yang memungkinkan mengikat molekul air dari lingkungan [1]. Penambahan selulosa pada *biofoam* bertujuan untuk meningkatkan sifat dengan mengisi rongga atau pori-pori matriks, namun jika penambahannya tidak tepat, maka dapat berkontribusi pada penyerapan air yang lebih tinggi [21].

3.2. Hasil Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik pada kemasan merupakan parameter krusial untuk mengevaluasi integritas struktural dan ketahanan mekanis *biofoam* yang meliputi modulus elastis, kekuatan tarik dan regangan pada saat putus [1]. Peningkatan nilai kekuatan tarik menunjukkan kemampuan *biofoam* untuk menahan deformasi saat diberikan beban tarik, serta menahan regangan sebelum terjadi patahan. Data hasil pengujian kekuatan tarik dapat dilihat pada Gambar 3.



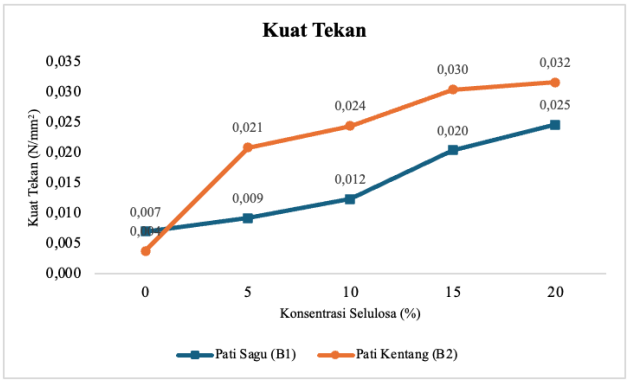
Gambar 3. Hasil Pengujian Kuat Tarik *Biofoam*

Nilai kuat tarik *biofoam* berkisar antara 0,114 sampai 0,417 N/mm^2, di mana kekuatan tarik terendah pada perlakuan A1B2 terendah dan tertinggi pada A5B2. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa selulosa, jenis pati, dan interaksi keduanya tidak berpengaruh secara signifikan dengan nilai sig >0,05 yaitu masing-masing 0,21, 0,763, dan 0,650. Seluruh *biofoam* yang dihasilkan memperlihatkan nilai kuat tarik yang lebih rendah jika dibandigkan dengan nilai kuat tarik *styrofoam* konvensional yaitu 16,1 N/mm^2 [26]. Seiring penambahan selulosa, maka nilai kekuatan tarik *biofoam* semakin meningkat. Peningkatan ini disebabkan oleh kemampuan selulosa dalam membentuk jaringan interkoneksi yang kuat dalam matriks pati, sehingga mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata [27]. Berdasarkan pengaruh jenis pati, di mana *biofoam* yang menggunakan pati kentang sebagai pengikat menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Hal ini berkaitan dengan ukuran granula pati kentang yang relatif lebih besar, sehingga mampu meningkatkan interaksi yang optimal dengan serat selulosa. Interaksi tersebut berperan

dalam pembentukan matriks komposit yang lebih kohesif dan stabil secara mekanis [28]. Selain itu, penambahan pati kentang dengan konsentrasi 11% (w/v) secara signifikan dalam meningkatkan kekuatan tarik kemasan *biodegradable* [29].

3.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan *biofoam* dalam melindungi produk. Nilai kuat tekan yang tinggi menunjukkan bahan pengemas kuat, tidak mudah patah, dan dapat mempertahankan bentuk produk selama digunakan sebagai wadah kemasan [16]. Data hasil pengujian kuat tekan *biofoam* dapat dilihat pada Gambar 4.

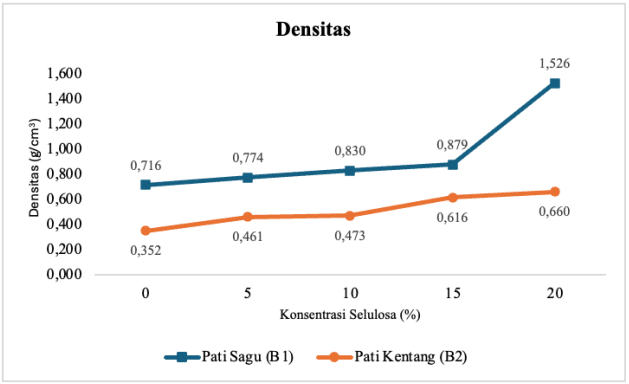


Gambar 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Biofoam*

Kuat tekan *biofoam* pada penelitian ini berkisar antara 0,004 sampai 0,032 N/mm^2, dengan nilai terendah pada perlakuan A1B2 dan tertinggi pada A5B2. Hasil ANOVA menunjukkan konsentrasi selulosa, jenis pati, dan interaksi keduanya berpengaruh signifikan (sig. <0,05). Penambahan selulosa daun kelapa berkontribusi terhadap peningkatan kuat tekan pada kedua jenis pati yang digunakan sebagai bahan baku *biofoam*. Peningkatan ini konsisten dengan hasil uji kuat tarik yang juga mengalami kenaikan seiring bertambahnya konsentrasi selulosa. Selulosa berperan sebagai *filler* dalam matriks pati, sehingga mampu meningkatkan sifat mekanis *biofoam*. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh [15], bahwa penambahan serat hingga 15% mampu bertindak sebagai penguat yang mengisi celah dalam struktur matriks pati. Namun demikian, penambahan selulosa lebih dari 30% justru menurunkan kekuatan matriks akibat distribusi selulosa yang tidak merata. Berdasarkan pengaruh jenis pati, *biofoam* berbahan pati kentang menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan pati sagu. Hal tersebut juga sejalan dengan nilai daya serap air dan kuat tarik. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui karakteristik fisikokimia dari kedua jenis pati tersebut. Ukuran granula pati kentang diketahui lebih besar (15–100 µm) dibandingkan dengan pati sagu sekitar (32 µm) [30], [31]. Karakteristik tersebut akan memudahkan proses gelatinisasi serta memperkuat ikatan antar partikel dengan selulosa, sehingga distribusi gaya tekan dalam matriks lebih merata.

3.4. Hasil Pengujian Densitas

Biofoam sebagai kemasan produk pangan diharapkan memiliki nilai densitas yang rendah karena akan mempengaruhi bobot produk secara keseluruhan. Selain itu, densitas juga memengaruhi daya serap air dan karakteristik mekanis *biofoam*. Data hasil pengujian densitas *biofoam* tertera pada Gambar 5.



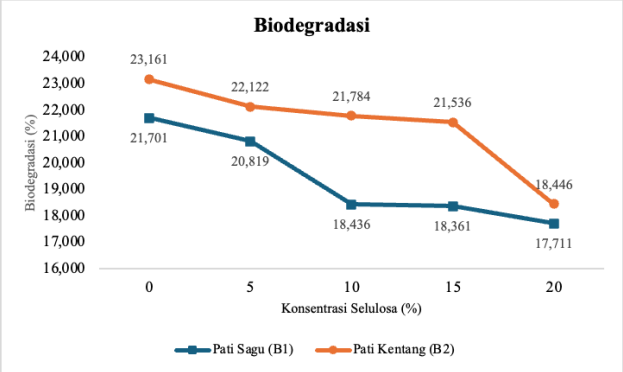
Gambar 5. Hasil Pengujian Densitas *Biofoam*

Nilai densitas *biofoam* berkisar antara 0,352 g/cm^3 sampai g/cm^3, dengan densitas terendah pada perlakuan A5B2 dan tertinggi pada A1B1. Hasil ANOVA menunjukkan konsentrasi selulosa, jenis pati, dan interaksi keduanya berpengaruh signifikan (sig. <0,05). Proses ekspansi atau pengembangan adonan akan menghasilkan *biofoam* dengan struktur yang berongga, sehingga densitas rendah. Namun, saat adonan *biofoam* ditambahkan selulosa maka rongga akan mengecil akibat terhambatnya proses ekspansi. Terhambatnya ekspansi menyebabkan volume *biofoam* tidak akan mengembang, sehingga menghasilkan *biofoam* yang lebih padat dengan nilai densitas yang tinggi [13]. Selain itu, Gambar 5 juga memperlihatkan pati sagu memiliki densitas tertinggi dibandingkan pati kentang. Perbedaan densitas tersebut kemungkinan berkaitan dengan

viskositas pati dan kemampuan ekspansi *biofoam*. Pati yang menghasilkan gel dengan viskositas lebih rendah akan memberikan ekspansi yang lebih terbatas dan ukuran sel yang lebih kecil, sehingga densitas akhir meningkat. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perbedaan jenis pati memengaruhi morfologi dan densitas *foam* (ukuran granula, gelatinisasi, stabilitas gelembung) sehingga berdampak pada densitas material *foam* berbasis pati [32], [33].

3.5. Hasil Pengujian Biodegradasi

Biodegradasi merupakan proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme menjadi komponen yang lebih sederhana [34]. Pengujian biodegradasi bertujuan untuk mengukur laju dekomposisi *biofoam* yang ditandai dengan hilangnya massa material selama di dalam tanah. Biodegradasi pada *biofoam* diharapkan dapat terurai secara alami di lingkungan dalam jangka waktu yang relatif singkat [35]. Hasil pengujian biodegradasi pada *biofoam* tertera pada Gambar 6.



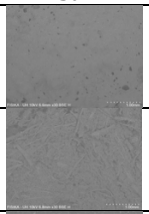
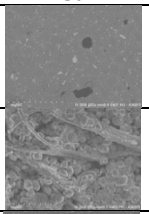
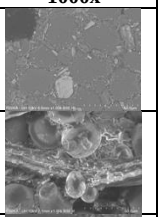
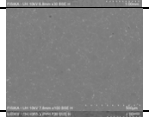
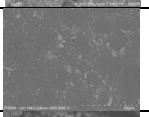
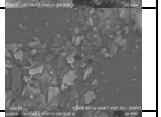
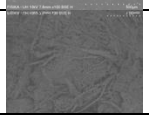
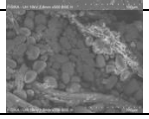
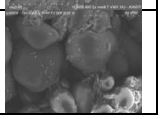
Gambar 6. Hasil Pengujian Biodegradasi *Biofoam*

Nilai biodegradasi pada sampel *biofoam* berkisar antara 17,711% sampai 23,161%. Hasil ANOVA menunjukkan konsentrasi selulosa, jenis pati dan interaksi keduanya berpengaruh signifikan terhadap biodegradasi *biofoam* (sig. <0,05). Hal ini memperlihatkan bahwa *biofoam* memiliki tingkat biodegradasi mencapai 60% dalam waktu 14 hari. Berdasarkan standar internasional ASTM 5336, bahwa lama waktu yang dibutuhkan *styrofoam* komersil terdegrasi yaitu 60 hari [21]. Penambahan selulosa berpengaruh terhadap tingkat degradasi *biofoam* di dalam tanah. Hal ini disebabkan karena selulosa merupakan polimer alami yang bersifat hidrofilik, sehingga mampu berinteraksi dengan molekul air di lingkungannya. Sifat tersebut akan mempercepat proses disintegrasi matriks *biofoam* dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme selama proses dekomposisi material [25]. Selain itu, jenis pati juga berpengaruh terhadap biodegradasi *biofoam*. *Biofoam* berbasis pati kentang menunjukkan tingkat biodegradasi yang relatif tinggi dibandingkan pati sagu. Hal ini diduga terkait dengan kandungan amilopektin yang lebih bercabang pada pati kentang, yang meningkatkan kemampuan menyerap air dan menyebabkan pengembangan (*swelling*) material, sehingga mempercepat proses dekomposisi. Penelitian oleh [36] menyatakan bahwa amilopektin berkontribusi pada peningkatan daya serap air dan *swelling* yang akhirnya memfasilitasi degradasi material berbasis pati.

3.6. Hasil Pengujian Morfologi

Morfologi *biofoam* diamati menggunakan SEM untuk mengevaluasi struktur yang terbentuk serta pengaruh penambahan selulosa daun kelapa dan jenis pati terhadap karakteristik permukaan *biofoam*. Hasil karakterisasi *biofoam* pada pembesaran 30x, 250x, dan 1000x tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Karakterisasi *Biofoam* Menggunakan Analisis SEM

Perlakuan	Pembesaran		
	30x	250x	1000x
A1B1			
A5B1			
A1B2			
A5B2			

Tabel 2 menampilkan empat perlakuan, yaitu A1B1 dan A1B2 sebagai pembanding (tanpa adanya penambahan selulosa), serta A5B1 dan A5B2 sebagai perlakuan optimal. Pada perlakuan A1B1 dan A1B2, permukaan *biofoam* menunjukkan karakteristik pori yang lebih besar dengan distribusi yang tidak merata. Bahkan pada perlakuan A1B1, terdapat rongga yang cukup besar yang sejalan dengan tinggi nilai

penyerapan air. Struktur yang terbentuk menunjukkan lemahnya ikatan antar molekul pati yang membentuk matriks, sehingga menghasilkan densitas *biofoam* yang rendah dan sifat mekanis yang tidak optimal [1], [37]. Hasil ini sejalan dengan penelitian [32] bahwa *biofoam* yang hanya menggunakan pati cenderung memiliki porositas tinggi dan bersifat rapuh yang disebabkan interaksi antar garanula yang terbatas. *Biofoam* berbasis pati juga memiliki kandungan sel terbuka (*open cell*) yang tinggi akibat adanya proses ekspansi [2], [21].

Permukaan sampel *biofoam* A5B1 dan A5B2 pada pembesaran 1000 kali memperlihatkan adanya bulatan-bulatan yang saling melekat disertai beberapa rongga kecil, yang mengindikasikan distribusi pati yang baik. Selulosa berperan sebagai pengisi sekaligus membatasi ekspansi pada proses pembentukan *foam*, yang berkontribusi pada struktur *biofoam* yang lebih padat serta meningkatkan sifat mekanisnya. Penelitian sebelumnya juga menjelaskan bahwa penambahan selulosa dapat mengurangi ukuran pori, meningkatkan homogenitas, serta memperbaiki sifat mekanis *biofoam* berbasis pati [38].

Apabila dibandingkan dengan *biofoam* pada penelitian ini, *styrofoam* komersial secara umum memperlihatkan morfologi permukaan yang lebih halus, tidak ada retakan, ukuran pori-pori yang lebih kecil. Perbedaan tersebut disebabkan oleh sifat polimer pilistirena dalam *styrofoam* yang terdistribusi secara merata, sehingga menghasilkan struktur pori yang rapat dan homogen [20]. Pada biofoam A5B1 dan A5B2, penambahan selulosa menunjukkan struktur yang lebih padat dengan rongga dan pori-pori yang lebih kecil dibanding kontrol (A1B1 & A1B2). Selulosa berperan mengisi rongga antar partikel di dalam matriks, yang menyebabkan penurunan permeabilitas air dan meningkatkan kekuatan mekanis *foam* [39].

4. Kesimpulan

Semakin meningkatnya konsentrasi selulosa, maka karakteristik *biofoam* akan semakin meningkat terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan densitas. Sebaliknya menurun terhadap daya serap air dan biodegradasi. Penggunaan jenis pati juga berpengaruh signifikan terhadap karakteristik *biofoam*. Pati kentang menunjukkan kekuatan tarik dan tekan lebih tinggi dibandingkan pati sagu. Berdasarkan hasil uji karakterisasi *biofoam* pada penelitian ini menunjukkan perlakuan optimal pada penambahan konsentrasi selulosa 20% dengan pati kentang (A5B2). *Biofoam* A5B2 memiliki nilai daya serap air (4%) dan densitas (0,666 g/cm^3) terendah. Sementara nilai kuat tarik (0,417 N/mm^2), kuat tekan (0,032 N/mm^2), dan biodegradasi (18,446%) tertinggi. Hasil uji SEM memperlihatkan bahwa *biofoam* tanpa selulosa (A1B1 dan A1B2) memiliki rongga besar dengan distibusi pori tidak merata, sedangkan *biofoam* dengan perlakuan optimal (A5B1 dan A5B2) menunjukkan struktur yang lebih rapat dan padat, sehingga menghasilkan *biofoam* dengan sifat fisik dan mekanis yang optimal..

5. Daftar Pustaka

[1] R. Marlina *et al.*, "Mechanical and Physical Properties of Biodegradable Foams Made from Sorghum Fiber and Rice Straw for Food Packaging Applications," in *BIO Web of Conferences*, EDP Sciences, Nov. 2023. doi: 10.1051/bioconf/20237701006.

[2] N. Hendrawati, K. Sa'Diyah, E. Novika, and A. A. Wibowo, "The effect of polyvinyl alcohol (PVOH) addition on biodegradable foam production from sago starch," *AIP Conf Proc*, vol. 2197, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.1063/1.5140920/782655.

[3] J. Hwang, D. Choi, S. Han, S. Y. Jung, J. Choi, and J. Hong, "Potential toxicity of polystyrene microplastic particles," *Sci Rep*, vol. 10, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-64464-9.

[4] F. N. Wulan, Iskandar, M. C. W. Arief, and Zahidah, "Composition and Distribution of Waste in The Jatigede Reservoir," *Pol J Environ Stud*, vol. 34, no. 2, pp. 1363–1374, Jan. 2025, doi: 10.15244/PJOES/187066.

[5] Y. Sari and A. Magfirah, "Faktor Yang Berhubungan Dengan Penggunaan Wadah Styrofoam Sebagai Kemasan Makanan Pada Penjual Jajanan Di Pasar Simpang Tiga Kecamatan Bukit Kabupaten Bener Meriah," *Serambi Saintia : Jurnal Sains dan Aplikasi*, vol. 10, no. 1, pp. 50–55, Apr. 2022, doi: 10.32672/JSS.V10I1.4388.

[6] S. Kalina, R. Kapilan, I. Wickramasinghe, and S. B. Navaratne, "Potential use of plant leaves and sheath as food packaging materials in tackling plastic pollution: A Review," 2024, *University of Peradeniya*. doi: 10.4038/cjs.v53i1.8145.

[7] A. S. Putri, R. Febrianti, and Sunardi, "Potensi Nanoselulosa untuk Agen Slow Release Bahan Alam: Review | Jurnal Jejaring Matematika dan Sains." Accessed: Sep. 05, 2025. [Online]. Available: https://e-journal.upr.ac.id/index.php/JMS/article/view/2707

[8] A. K. C. Albuquerque *et al.*, "On the ESG principles to produce cellulose nanofibrils from coconut fiber residue," Nov. 2024, doi: 10.21203/RS.3.RS-5402499/V1.

[9] I. M. Rajendra, I. N. S. Winaya, A. Ghurri, and I. K. G. Wirawan, "Pyrolysis study of coconut leaf's biomass using thermogravimetric analysis," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/539/1/012017.

[10] D. R. Rajkumar, O. Vivin Lenin, R. Saktheevel, and S. Edwin Roshan, "Characterization of Mechanical, Thermal, and Chemical Properties of Natural Fiber Composites: A Case Study of Bamboo Leaves and Coconut Leaves," *SAE Technical Papers*, Feb. 2025, doi: 10.4271/2025-28-0112.

[11] S. Bahri, F. Fitriani, and J. Jalaluddin, "Pembuatan Biofoam Dari Ampas Tebu Dan Tepung Maizena," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 10, no. 1, pp. 24–32, Jun. 2021, doi: 10.29103/JTKU.V10I1.4173.

[12] P. Alban-Bolaños, A. A. Ayala-Aponte, H. S. Villada-Castillo, R. Rodríguez-Herrera, F. Ávalos-Belmonte, and J. F. Solanilla-Duque, "Biodegradable flexible foam: Novel material based on cassava TPS obtained by extrusion," *Colloid Polym Sci*, vol. 302, no. 4, pp. 597–608, Apr. 2024, doi: 10.1007/S00396-023-05204-Z/FIGURES/5.

[13] F. Lestari Berutu, R. Dewi, and Z. Ginting, "BIOFOAM BERBAHAN PATI SAGU (Metroxylon rumphii m) DENGAN BAHAN PENGISI (FILLER) SERAT BATANG PISANG DAN KULIT PISANG MENGGUNAKAN METODE THERMOPRESSING," 2022.

[14] N. Hendrawati, Y. I. Lestari, and P. A. Wulansari, "Pengaruh Penambahan Kitosan dalam Pembuatan Biodegradable Foam Berbahan Baku Pati," *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 12, no. 1, p. 1, May 2017, doi: 10.23955/rkl.v11i2.5002.

[15] N. Rizqi Fattah Lubis and R. Dewi, "BIOFOAM BERBAHAN PATI SAGU DENGAN PENGUAT SELULOSA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI KEMASAN MAKANAN DENGAN METODE THERMOPRESSING," 2022.

[16] X. Zhang, Z. Teng, R. Huang, and J. M. Catchmark, "Biodegradable starch/chitosan foam via microwave assisted preparation: Morphology and performance properties," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 11, pp. 1–17, Nov. 2020, doi: 10.3390/polym12112612.

[17] A. Thakkar *et al.*, "Potato starch bioplastic films reinforced with organic and inorganic fillers: A sustainable packaging alternative," *Int J Biol Macromol*, vol. 306, p. 141630, May 2025, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2025.141630.

[18] P. Kulkarni and S. Kulkarni, "Tensile Behaviour of Starch Based Naturally Woven Coconut Leaf Sheath Reinforced Biodegradable Composite," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 11, no. 3, pp. 193–196, Mar. 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.49388.

[19] N. Hendrawati, K. Sa'Diyah, E. Novika, and A. A. Wibowo, "The effect of polyvinyl alcohol (PVOH) addition on biodegradable foam production from sago starch," *AIP Conf Proc*, vol. 2197, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.1063/1.5140920/782655.

[20] R. Ningtyas, N. Syawalia, D. Silvia, P. Studi Teknologi Industri Cetak Kemasan, J. Teknik Grafika dan Penerbitan, and P. Negeri Jakarta, "OPEN ACCESS Karakteristik Kemasan Biofoam Berbahan Dasar Pati Umbi Garut dan Selulosa Sekam Padi dengan Penambahan Kitosan Characteristics of Biofoam Packaging made from Garut Tumber Starch and Rice Husk Cellulose with the addition of Chitosan," vol. 25, no. 1, 2025, doi: 10.25047/jii.v25i1.5824.

[21] A. Akmala and E. Supriyo, "Optimasi Konsentrasi Selulosa pada Pembuatan Biodegradable Foam dari Selulosa dan Tepung Singkong," 2020.

[22] J. Hermanianto, E. Savitri Iriani, R. Syarief, and A. Wawan Permana, "PENGARUH PENAMBAHAN BERBAGAI MODIFIKASI SERAT TANDAN KOSONG SAWIT PADA SIFAT FUNGSIONAL BIODEGRADABLE FOAM," 2016.

[23] M. P. Astuti and H. Kusumayanti, "Karakterisasi biodegradable foam dari tepung tapioka dan ampas teh," vol. 18, no. 1, 2024, doi: 10.22146/jrekpros.80431.

[24] A. I. Quilez-Molina, J. F. Le Meins, B. Charrier, and M. Dumon, “Starch-fibers composites, a study of all-polysaccharide foams from microwave foaming to biodegradation,” *Carbohydr Polym*, vol. 328, p. 121743, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.CARBPOL.2023.121743.
[25] B. K. S. Sipahutar, “Pembuatan Biodegradable Foam dari Pati Biji Durian (Durio zibethinus) dan Nanoserat Selulosa Ampas Teh (Camellia sinensis) dengan Proses Pemanggangan,” Universitas Sumatera Utara, Medan, 2020.
[26] N. Tang, D. Lei, D. Huang, and R. Xiao, “Mechanical performance of polystyrene foam (EPS): Experimental and numerical analysis,” *Polym Test*, vol. 73, pp. 359–365, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.POLYMERTESTING.2018.12.001.
[27] A. A. Gabriel *et al.*, “Canna Edulis ker. Starch-Based Biodegradable Plastic Materials: Mechanical and Morphological Properties,” Sep. 2024, doi: 10.21203/RS.3.RS-4833048/V1.
[28] M. M. Hassan, N. Tucker, and M. J. Le Guen, “Thermal, mechanical and viscoelastic properties of citric acid-crosslinked starch/cellulose composite foams,” *Carbohydr Polym*, vol. 230, p. 115675, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.CARBPOL.2019.115675.
[29] M. Dabhi and P. J. Rathod, “Development of Potato Starch Based Biodegradable Packaging Film.” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/352673103
[30] B. Zhy Ying, H. Kamilah, A. A. Karim, and U. Utra, “Effects of heat-moisture and alkali treatment on the enzymatic hydrolysis of porous sago (Metroxylon sagu) starch,” *J Food Process Preserv*, vol. 44, no. 5, p. e14419, May 2020, doi: 10.1111/JFPP.14419.
[31] “Ithy - Comprehensive Classification of Starch According to Its Source.” Accessed: Sep. 10, 2025. [Online]. Available: https://ithy.com/article/starch-classification-research-qs7hmo3t?utm