



Pengaruh Jamur Tiram dan Lama Fermentasi Terhadap Karakteristik Fisik Biofoam Sabut Kelapa dan Pulp Kopi

Dedy Rahmad¹, Dian Hasni², Dwi Kemala Putri¹, Addin Akbar³, Kushisa Atta Jaeba²

¹ Program Studi Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang, Jl. Bungo Pasang – Tabing, Kota Padang 25171 – Indonesia

² Program Studi Teknik Industri Agro, Politeknik ATI Padang, Jl. Bungo Pasang – Tabing, Kota Padang 25171 – Indonesia

³ Program Studi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang, Jl. Bungo Pasang – Tabing, Kota Padang 25171 – Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: December 12, 2025

Revised: January 6, 2026

Available online: January 16, 2026

KEYWORDS

Bio-foam, cellulose, coffee pulp, coconut fiber, mushroom, mycelia

CORRESPONDENCE

Name: Dedy Rahmad

E-mail: dedyrahmad@poltekatipdg.ac.id

A B S T R A C T

The urge to develop more sustainable foam for food packaging is increasing due to the high potential danger of the usage of Styrofoam as food packaging. This study aimed to determine the physical qualities of bio-foam, which was prepared using *Pleurotus ostreatus* F2 as the fungal microorganisms and the composite of coconut fiber and coffee pulp as substrates. This research was designed as Randomized Complex Block Design with two factors and four repetitions. The ANOVA results showed that both independent factors and their interactions have a very significant effect on the density, porosity, water absorption, and biodegradability of the resulting bio-foam. The higher percentage of *Pleurotus ostreatus* F2 added (60%) tended to produce bio-foam with lower density, porosity, and water absorption compared to the lower percentage (50%). However, prolonged fermentation up to 5 days tended to increase density, porosity and water absorption of bio-foam. Resulted biofoam has potential to be used as food packaging with further improvement to strengthen the matrix and enhance the water absorption quality.

PENDAHULUAN

Timbulan sampah kota Padang mencapai 629,70 ton per hari, dan 40,13% berhasil dipilah dengan komposisi utama adalah sampah rumah tangga seperti sisa makanan dan kemasan plastik seperti *styrofoam* [1]. *Styrofoam* disukai sebagai kemasan makanan karena karakteristiknya yang ringan, praktis, dan berbiaya rendah [2]. Namun, *Styrofoam* merupakan plastik dengan komposisi polistirena dan benzene yang berpotensi berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia jika digunakan dengan tidak tepat [3]. Stirena dapat melepaskan gas beracun ketika dibakar atau ditumbuk. Selain itu, ketidakstabilan stirena pada suhu tinggi memungkinkan migrasi stirena ke dalam makanan panas, yang tidak dapat dicerna oleh sistem pencernaan manusia dan berisiko memicu penyakit kanker [4].

Karena urgensi ini, telah dilakukan banyak kajian sebagai upaya menggantikan polistirena dengan kemasan yang lebih ramah lingkungan dan aman bagi kesehatan. Saat ini penelitian berfokus pada penggunaan limbah dan produk samping industri yang kaya akan selulosa sebagai substrat dalam fermentasi jamur yang menghasilkan biofoam [5]. Potensi sabut kelapa [6], ampas tebu [7], dan selulosa bambu [8] sebagai media tumbuh miselia jamur dieksplorasi baik sebagai *single material* atau komposit. Bahan-bahan ini semakin diminati karena tidak bersaing dengan kebutuhan konsumsi manusia. Bio-komposit berbasis pati dan selulosa dari produk samping atau non-makanan dilaporkan mampu meningkatkan kekuatan dan ketahanan air bio-foam [9], [10] meskipun berdampak pada penurunan laju biodegradasi [10].

Produksi biofoam melalui pertumbuhan miselia dari fermentasi jamur dianggap potensial karena biayanya yang murah dan sangat aplikatif. Fermentasi jamur menghasilkan bio-foam ramah lingkungan berbahan

alami, di mana miselium berfungsi sebagai matriks serat yang kuat dan elastis, tersusun dari selulosa, kitin, dan beta-glukan [11]. Bio-foam berbasis miselium memiliki sifat menyerupai polistirena, seperti ringan, elastis, tahan panas, dan mudah terdegradasi [12]. Karakteristik bio-foam dipengaruhi oleh berbagai faktor salah satunya jenis jamur yang digunakan dan lama fermentasi jamur.

Penelitian kali ini mengkaji pengaruh jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) pada pertumbuhan miselia jamur menggunakan komposit sabut kelapa dan pulp kopi sebagai substrat. Perbandingan komposit sabut kelapa 70% dan pulp kopi 30% dilakukan untuk menyediakan nutrisi yang lebih beragam untuk perkembangan jamur tiram dan memperkuat miselium yang terbentuk. Penelitian sebelumnya yang menggunakan 100% sabut kelapa menghasilkan biofoam yang mudah menyerap air [6], karena sabut kelapa cenderung bersifat hidrofilik [13], sedangkan pulp kopi mengandung pektin yang hidrofobik [14]. Sedangkan jamur tiram dilaporkan menghasilkan hifa yang kaku dan cepat berkembang pada substrat seperti dedak padi atau serbuk kayu, yang selanjutnya digunakan sebagai busa insulasi penahan panas dan peredam suara bangunan [13], [15]. Selain konsentrasi jamur tiram yg ditambahkan, penelitian ini juga mengkaji lama fermentasi yang menghasilkan miselia jamur dengan karakteristik fisik yang baik, yaitu 3, 4 dan 5 hari sebagai batasan penelitian. Pemilihan rentang waktu mengacu pada rentang waktu pertumbuhan miselia jamur dari *rhizopus oligosporus* atau ragi tempe [16].

METODOLOGI

Bahan

Penelitian ini menggunakan serabut kelapa serta ampas kopi sebagai bahan komposit pertumbuhan miselium pada pembuatan bio-foam. Sabut kelapa diperoleh dari sekitar Politeknik ATI Padang, sedangkan ampas kopi arabika berasal dari Koperasi Solok Sirukam, Kabupaten Solok. Bibit jamur tiram F2 usia 15-20 hari diperoleh dari pengrajin jaur tiram lokal di kota Padang yang berumur 1 minggu, tepung kedelai dari pemasok daring dan pasar lokal.

Rancangan Percobaan & Analisa Data

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial dengan dua faktor, yaitu persentase biang jamur tiram F2 (50% dan 60%) serta lama fermentasi (3, 4, dan 5 hari). Setiap perlakuan diulang empat kali sehingga diperoleh 24 unit percobaan. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisa sidik ragam (ANOVA) dengan SPSS 22.00 dan Microsoft Excel. Perlakuan yang

berpengaruh nyata diuji lanjut menggunakan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 0,05.

Prosedur

Sabut kelapa dan pulp buah kopi dibersihkan, dicuci, dikeringkan hingga kadar air 8–10%, lalu dikecilkan ukurannya menggunakan blender. Sabut kelapa kering yang sudah digiling diayak hingga 10 mesh, sedangkan ampas kopi digiling lalu disaring hingga 40 mesh. Komposit serat kelapa dan ampas kopi dicampur dengan perbandingan 70:30% b/b. Tepung kedelai sebagai sumber nutrisi ditambahkan dengan perbandingan berat 1:1 b/b terhadap substrat, dan biang jamur tiram F2 sesuai perlakuan (50% dan 60% b/b). Substrat disterilisasi pada 121 °C selama 15 menit menggunakan autoclave, didinginkan, dicampur, kemudian dicetak pada dua gelas plastik yang sudah dilubangi sebagai aerasi dan difermentasi sesuai perlakuan (3 hari, 4 hari dan 5 hari) pada suhu 28-30°C, RH 80-85%, dan minim cahaya. Bio-foam dikeluarkan dari cetakan, dikeringkan pada 60 °C selama 48 jam untuk menghentikan fermentasi dan siap untuk dianalisa.

Analisis Bio-foam

Karakteristik bio-foam dianalisis meliputi densitas, porositas, daya serap air, dan daya urai. Adapun perhitungan untuk masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

$$\text{densitas } (\rho) \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \quad (1)$$

$$\text{porositas} = \frac{(\text{berat basah} - \text{berat kering})}{\text{volume kering}} \times 100\% \quad (2)$$

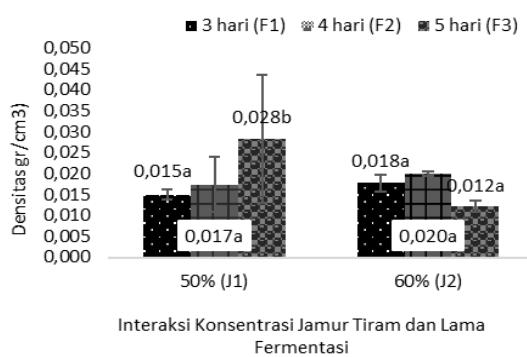
$$\text{Daya Serap Air} = \frac{(\text{berat basah} - \text{berat awal})}{\text{berat kering}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Daya Urai} = \frac{(\text{berat awal} - \text{berat akhir})}{\text{berat awal}} \times 100\% \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Densitas

Berikut grafik pengaruh interaksi konsentrasi biang jamur tiram dan lama fermentasi terhadap densitas biofoam.

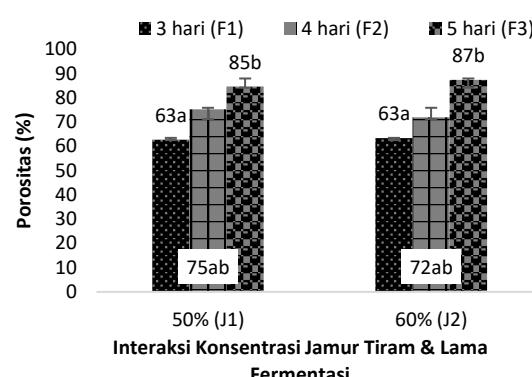


Gambar 1. Pengaruh interaksi konsentrasi biang jamur tiram dan lama fermentasi terhadap densitas biofoam (nilai angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata).

Densitas biofoam yang dihasilkan penelitian ini berkisar antara 0,01 hingga 0,05 g/cm³ dengan rerata 0,02 gram/cm³. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa kedua faktor penelitian, konsentrasi jamur tiram dan lama fermentasi serta interaksi antara keduanya memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P<0,01$) terhadap densitas biofoam yang dihasilkan. Dari hasil uji lanjut BNT^{0,05} seperti terlihat pada Gambar 1 diketahui bahwa densitas biofoam menggunakan 50% jamur tiram F2 sebagai starter yang diinokulasi selama 5 hari berbeda nyata dengan biofoam yang dihasilkan dari lima perlakuan lainnya. Busa polistirena memiliki densitas berkisar antara 0,016–0,960 g/cm³, dan pemanfaatannya ditentukan oleh nilai densitas tersebut. Busa dengan densitas tinggi umumnya memiliki kekuatan mekanis yang lebih baik sehingga digunakan untuk keperluan struktural, seperti konstruksi, furnitur, dan transportasi [17]. Sementara itu, busa dengan densitas sedang dan bersifat kaku lebih banyak dimanfaatkan sebagai bahan kemasan [11]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas bio-foam yang dihasilkan tergolong rendah. Peningkatan lama fermentasi hingga lima hari cenderung meningkatkan densitas bio-foam pada penggunaan biang jamur tiram 50%. Sebaliknya, pada konsentrasi biang 60%, fermentasi yang lebih lama justru menurunkan densitas bio-foam. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan biang jamur tiram 50% lebih optimal. Selain itu, jamur tiram umumnya memerlukan waktu fermentasi yang lebih panjang dibandingkan ragi tempe untuk membentuk hifa dan jaringan miselium yang kuat dan stabil [18]. Pertumbuhan jamur tiram umumnya bervariasi, dipengaruhi oleh usia bibit, kandungan nutrisi dari media tumbuh dan faktor lingkungan. Usia bibit jamur tiram 14-21 hari dilaporkan dapat mempercepat pertumbuhan miselia jamur tiram untuk dapat menutupi baglog atau media tumbuh berkisar antara 10 – 20 hari [19].

Porositas

Berikut grafik pengaruh interaksi konsentrasi biang jamur tiram dan lama fermentasi terhadap porositas biofoam.

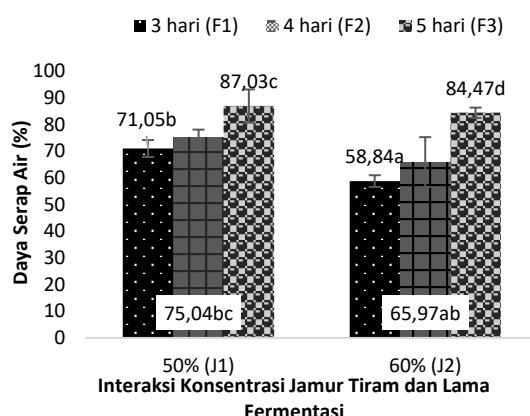


Gambar 2. Pengaruh interaksi konsentrasi biang jamur tiram dan lama fermentasi terhadap porositas biofoam (nilai angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata)

Porositas biofoam yang dihasilkan berkisar antara 59,32% hingga 93,85% dengan rerata 74,26%. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa kedua faktor penelitian, konsentrasi jamur tiram dan lama fermentasi serta interaksi antara keduanya memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P<0,01$) terhadap porositas biofoam yang dihasilkan. Porositas biofoam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan porositas biofoam yang menggunakan ragi tempe dengan durasi fermentasi yang sama hingga 5 hari [20]. Poroitas dihitung sebagai persentase ruang kosong dibandingkan volume biofoam. Inokulasi atau fermentasi hingga 5 hari cenderung meningkatkan nilai porositas biofoam. Hal ini diduga karena selama fermentasi jamur tiram kelembaban di sekeliling miselia jamur meningkat [13]. Selulosa dari sabut kelapa memiliki sisik hidrofilik yang cenderung berikatan dengan air yang terbentuk selama proses fermentasi. Fermentasi hingga 5 hari dengan jamur tiram belum optimal mengikat seluruh komposit sabut kelapa dan pulp kopi dalam struktur miselia, sehingga air yang terperangkap dengan sisi hidrofilik sabut kelapa semakin banyak. Air ini kemudian akan teruapkan saat proses pengeringan biofoam meninggalkan ruang kosong berongga dan meningkatkan porositas [11].

Daya Serap Air

Berikut grafik pengaruh interaksi konsentrasi biang jamur tiram dan lama fermentasi terhadap daya serap air biofoam

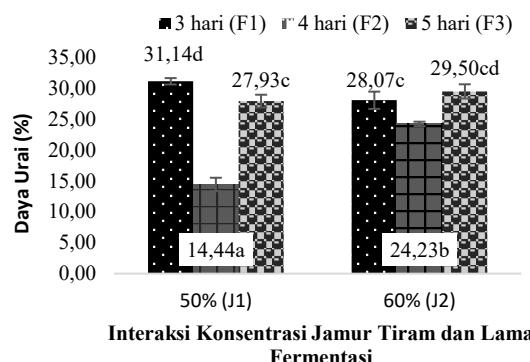


Gambar 3. Pengaruh interaksi konsentrasi biang jamur tiram dan lama fermentasi terhadap daya serap air biofoam (nilai angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata)

Kemasan yang baik adalah kemasan yang kedap air, sehingga dapat melindungi produknya dan bebas rembesan. Daya serap air diukur berdasarkan ketahanan bahan kemasan ketika kontak langsung dengan air, secara detail biofoam direndam dalam 700 ml air selama 15 menit. Daya serap air biofoam penelitian ini berkisar antara 53,63% - 93,50% dengan rerata 73,33%. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa kedua faktor penelitian dan interaksi antara keduanya memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P<0,01$) terhadap daya serap air biofoam yang dihasilkan. Gambar 3 menunjukkan bahwa penggunaan biang jamur tiram 60% menghasilkan biofoam dengan daya serap air yang lebih rendah dibandingkan konsentrasi 50%, namun daya serap air meningkat seiring bertambahnya lama fermentasi. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan biang sebesar 60% mempercepat pembentukan matriks yang lebih padat dan kompleks dibandingkan 50%. Akan tetapi, hingga hari kelima fermentasi, pembentukan matriks diduga belum sepenuhnya optimal sehingga sebagian substrat komposit sabut kelapa dan ampas kopi belum tertutupi miselium. Kondisi tersebut menyebabkan struktur bio-foam masih berpori dan mudah menyerap air [21]. Namun, beberapa literatur lain juga menyebutkan bahwa substrat juga memiliki peran penting untuk kualitas daya serap air. Biofoam dari inokulasi jamur tiram selama 30 hari pada beberapa material lignoselulosa seperti serbuk kayu, jerami padi dan kapuk dengan media pengisi beras, jagung dan sorghum dilaporkan tetap memiliki daya serap air yang tinggi saat direndam selama 1 jam pertama, kemudian kenaikan konstan pada 1 jam setelahnya dan stabil pada perendaman jam ketiga dan keempat. Dari studi ini diketahui bahwa penggunaan serbuk kayu menghasilkan biofoam yang sangat mudah menyerap air hingga 250% sedangkan biofoam dari kapuk daya serap airnya 60-80%, tidak jauh berbeda dengan penelitian ini [22]

Daya Urai

Berikut grafik pengaruh interaksi konsentrasi biang jamur tiram dan lama fermentasi terhadap daya urai biofoam.



Gambar 4. Pengaruh interaksi konsentrasi biang jamur tiram dan lama fermentasi terhadap daya urai biofoam (nilai angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata)

Salah satu keunggulan biofoam dibandingkan styrofoam adalah disusun dari bahan yang mampu terurai sehingga dapat lebih ramah lingkungan. Daya urai biofoam yang dihasilkan setelah dikubur di dalam tanah selama 14 hari berkisar antara 13,01% - 31,82% dengan rerata 25,89%. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa kedua faktor penelitian, konsentrasi jamur tiram dan lama fermentasi serta interaksi antara keduanya memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P<0,01$) terhadap daya urai biofoam yang dihasilkan. Gambar 4 menunjukkan bahwa daya urai biofoam cenderung berbeda untuk setiap perlakuan. Daya urai cenderung meningkat seiring dengan konsentrasi biang jamur tiram yang lebih tinggi. Biang jamur tiram yang lebih tinggi akan mempercepat metabolisme jamur selama 5 hari fermentasi. Selama fermentasi, kitin dan β -glucan dari sabut kelapa dan pulp kopi digunakan sebagai media pembentukan miselia jamur [11]. Daya urai yang lambat ini diduga disebabkan oleh sabut kelapa merupakan jenis selulosa yang sulit terurai. Namun penambahan pulp kopi dan tepung kedelai mempercepat hidrolisa enzim, memotong rantai selulosa menjadi lebih pendek sehingga dapat dicerna oleh mikroorganisme [12]. Gambar 5 memperlihatkan penampakan biofoam yang dihasilkan menggunakan jamur tiram 60% untuk fermentasi 2 hari (J2F2). Dari Gambar terlihat bahwa permukaan biofoam sudah tertutup hifa tipis, namun belum membentuk struktur yang kuat.



Gambar 5. Penampakan salah satu sampel bio-foam dengan perlakuan jamur tiram 60% dan fermentasi 4 hari

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian diatas, komposit sabut kelapa dan pulp kopi memiliki potensi unggul sebagai media substrat pertumbuhan miselia jamur. Pada penelitian ini digunakan jamur tiram dengan beberapa taraf konsentrasi dan lama fermentasi yang berbeda. Dari hasil sidik ragam, kedua faktor penelitian dan interaksi antar kedua faktor memberikan pengaruh yang sangat nyata pada karakteristik fisik biofoam. Pada penggunaan jamur tiram 50%, densitas dan porositas biofoam cenderung meningkat pada fermentasi yang lebih lama, mengakibatkan daya serap air yang tinggi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa biofoam yang dihasilkan menghasilkan densitas rendah dengan rerata 0,02 gram/cm³, porositas 74,26% dan daya serap air yang masih tinggi hingga 73,33% dan daya urai yang belum optimal, yaitu 25,89%. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian fermentasi yang lebih lama merujuk pada pertumbuhan jamur tiram selama masa inokulasi sehingga menghasilkan struktur miselia jamur yang lebih kokoh dan rapat.

ACKNOWLEDGEMENT

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Industri Kementerian Perindustrian sebagai pemberi dana melalui skema hibah Penelitian Terapan Tahun 2025. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Politeknik ATI Padang sebagai unit kerja dan Laboratorium Bahan Agro sebagai tempat pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, "Data Timbulan Sampah Nasional Indonesia," SIPSNI.
- [2] S. Khairunnisa and A. Arumsari, "Pengolahan Limbah Styrofoam Menjadi Produk Fashion," *eProceedings of Art & Design*, vol. 3, no. 2, 2016.
- [3] E. Fikri and A. Veronica, "Effectiveness of carbon monoxide concentration reduction on active carbon contact system in burning polystyrene foam," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 19, no. 4, pp. 1–6, 2018.
- [4] 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, 2021.
- [5] A. Javadian, H. Le Ferrand, D. E. Hebel, and N. Saeidi, "Application of mycelium-bound composite materials in construction industry: A short review," *SOJ Materials Science & Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 1–9, 2020.
- [6] D. Yunita, I. Sulaiman, and E. Indarti, "Penggunaan kapang Rhizopus oligosporus dalam pembuatan biofoam cup berbahan dasar sabut kelapa dan tepung kedelai," vol. 17, no. 1, 2023, pp. 35–41. doi: 10.21107/agrointek.v17i1.12706.
- [7] E. Indarti, S. Muliani, and D. Yunita, "Characteristics of biofoam cups made from sugarcane bagasse with Rhizopus oligosporus as binding agent," *Advances in Polymer Technology*, vol. 2023, no. 1, p. 8257317, 2023.
- [8] R. Wahab, M. T. Mustafa, and N. Fauzi, "Thermal Degradation Analysis on 4-year-old Culms of Cultivated Tropical Bamboo *Bambusa Vulgaris*," no. October, 2017, doi: 10.5296/jas.v5i3.11664.
- [9] P. Cazón and M. Vázquez, "Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: A review," *Food Hydrocoll*, vol. 113, p. 106530, 2021.
- [10] I. Alexander, A. Sodri, and K. Mizuno, "The effect of different natural waxes to hydrophobic properties of starch-based biodegradable foams," *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, vol. 6, no. 1, pp. 86–101, 2023.
- [11] H. Ahmadi, "Cellulose-mycelia foam: Novel biocomposite material," 2016, *University of British Columbia*.
- [12] A. P. D. Almeida and T. L. De Albuquerque, "sustainability Coconut husk valorization : innovations in bioproducts and environmental sustainability," *Biomass Convers Biorefin*, no. September, 2024, doi: 10.1007/s13399-024-06080-5.
- [13] P. Amstislavski *et al.*, "Low-density, water-repellent, and thermally insulating cellulose-mycelium foams," *Cellulose*, pp. 8769–8785, 2024, doi: 10.1007/s10570-024-06067-5.
- [14] A. Nesic, S. Meseldzija, G. Cabrera-Barjas, and A. Onjia, "Novel Biocomposite Films Based on High Methoxyl Pectin Reinforced with Zeolite Y for Food Packaging Applications," 2022. doi: 10.3390/foods11030360.
- [15] J. Obradovic, M. Voutilainen, P. Virtanen, L. Lassila, and P. Fardim, "Plant based foam for structural application".
- [16] and D. Y. E Indarti, S Muliani, S Wulya, R Rafiqah, I Sulaiman, "Development of environmental-friendly biofoam cup made from sugarcane bagasse and coconut fiber," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 711, p. 012011, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/711/1/012011.
- [17] J. Obradovic, M. Voutilainen, P. Virtanen, L. Lassila, and P. Fardim, "Cellulose fibre-reinforced biofoam for

- structural applications," *Materials*, vol. 10, no. 6, p. 619, 2017.
- [18] E. M. Melanouri, M. Dedousi, and P. Diamantopoulou, "Cultivating Pleurotus ostreatus and Pleurotus eryngii mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part I: Screening for growth, endoglucanase, laccase and biomass production in the colonization phase," *Carbon Resources Conversion*, vol. 5, no. 1, pp. 61–70, 2022, doi: 10.1016/j.crccon.2021.12.004.
- [19] K. B. S. S. Afina Shifriyah, "303-781-1-SM," *Agrovigor*, vol. 5, no. Vol 5 No 1, pp. 8–13, Mar. 2012, Accessed: Jan. 01, 2026. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://media.neliti.com/media/publications/130761-ID-none.pdf
- [20] D. Rahmad, D. K. Putri, A. Akbar, and S. Asra, "Exploration the potential of composites of coconut fibre and coffee pulp as substrate for Rhizopus oligosporus mycelial growth in bio-foam production," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2025, p. 012034.
- [21] A. A. Gabriel and L. R. P. Afandi, "Optimization of material formulation and process parameters in canna edulis starch-based biofoam synthesis," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2022, p. 12097.
- [22] K. Miselium, J. Sebagai, A. Komposit, K. Berbasis Ekologis, R. Yanti, and M. Asfar, "Characterization of a Mushroom Mycelium Composite Material as an Eco-based Packaging Solution," vol. 21, no. 01, 2025.