



Modifikasi Biofoam Berbasis Pati Singkong dengan Serat Eceng Gondok dan Variasi Konsentrasi Plasticizer

[Modification of Cassava Starch-Based Biofoam with Water Hyacinth Fiber and Concentration Variation of Plasticizer]

Sarawinda Hutagalung^{1✉}, James Sibarani², Resia Yoan Pramesti¹, Theresia Hellen Renata Puspaningtya¹

¹Universitas Kristen Satya Wacana, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Jl. Diponegoro No.52-60, Salatiga, Kec. Sidorejo, Kota Salatiga, 50711, Jawa Tengah Indonesia.

²Universitas Udayana, Program Studi Kimia Terapan S-2, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Denpasar 80114, Bali, Indonesia

Abstract. Biofoam is a plant-based alternative packaging. The biofoam was prepared by using the extrusion method and baking process. This research aims to determine the lowest ratio of PVA and glycerol in absorbing water and testing the mechanical properties of biofoam (tensile strength, biodegradation test and FTIR analysis). The best biofoam composition in absorbing water was obtained at a ratio of PVA: glycerol 8%. The results of biofoam characteristics obtained by the water absorption test were 9.76%, maximum bending strength was 9.20 MPa and biofoam can be degraded 100% on day 15. The results of FTIR analysis showed the presence of absorption spectra at wave numbers $3410,15\text{ cm}^{-1}$, which is a typical region of O-H functional groups (strong and broad) carbohydrates and polyphenols. Modification of starch with fiber and plasticizer in research improves the physicochemical characteristics of biofoam in terms of increasing water absorption and biofoam biodegradation. In contrast, in terms of mechanical properties, the bending strength of biofoam requires further research referring to the characteristics of biofoam mechanical properties toward SNI standards.

Keywords: *biofoam, starch, fiber, PVA, glycerol*

Abstrak. *Biofoam* merupakan kemasan alternatif yang berbahan dasar tumbuhan. Pembuatan biofoam pada penelitian menggunakan metode ekstrusi dan proses baking. Penelitian ini bertujuan menentukan rasio PVA dan gliserol terendah dalam menyerap air dan menguji sifat mekanik biofoam (kuat tarik, uji biodegradasi dan analisa FTIR). Komposisi biofoam yang terbaik dalam menyerap air diperoleh pada rasio PVA : gliserol 8%. Hasil karakteristik biofoam diperoleh uji daya serap air 9.76 %, kekuatan bending maksimum 9.20 MPa dan biofoam dapat terdegradasi 100 % pada hari ke-15. Hasil analisa FTIR menunjukkan adanya serapan spektrum pada bilangan gelombang $3410,15\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan daerah khas gugus fungsi O-H (strong dan broad) karbohidrat dan polifenol. Modifikasi pati dengan serat dan *plasticizer* pada penelitian dapat meningkatkan karakteristik fisikokimia *biofoam* dan hal meningkatkan daya serap air dan biodegradasi *biofoam*, sedangkan dalam hal sifat mekanik kekuatan *bending* pada *biofoam* masih memerlukan penelitian lebih lanjut mengacu pada karakteristik sifat mekanik *biofoam* sesuai dengan standart SNI.

Kata kunci: *biofoam, pati, serat, PVA, gliserol*

Diterima: 5 Mei 2024, Disetujui: 8 Juli 2024

Sitasi: Hutagalung, S., Sibarani, J., Pramesti, R.Y., dan Puspaningtyas, T.H.R. (2024). Modifikasi Biofoam Berbasis Pati Singkong dengan Serat Eceng Gondok Dan Variasi Konsentrasi Plasticizer. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(2), 114-125.

✉ Corresponding author

E-mail: sarawinda.hutagalung@uksw.edu

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i2.17104>



LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang menghadapi darurat sampah plastik (Sarlinda et al., 2022). Hasil penelitian terhadap 192 negara di dunia menunjukkan bahwa 5 negara penyumbang sampah plastik terbesar di dunia adalah China, Indonesia, Filipina, Vietnam, dan Sri Lanka (Tharanathan, 2003). Salah satu sampah yang paling banyak ditemukan adalah sampah styrofoam (Atalya Puspa, 2022) yang merupakan plastik polistirena (Sarlinda et al., 2022). Polistirena adalah polimer yang tersusun dari monomer stirena, yang terhubung dengan adanya pengulangan unit stirena membentuk rantai panjang polimer (National Library of Medicine, 2024). Polistirena sebagai styrofoam terdiri dari 2 jenis yaitu extruded polystyrene (XPS) dan *expanded polystyrene foam* (EPS). XPS digunakan dalam aplikasi insulasi termal, konstruksi dan kerajinan, sedangkan EPS diaplikasikan sebagai bahan pengemas makanan (*raw food*, produk makanan olahan dan makanan siap saji, kemasan kopi dan teh di *coffee shop* (Akmala & Supriyo, 2020; Hevira et al., 2021).

Styrofoam sebagai bahan pengemas memiliki nilai ekonomis yang tinggi yaitu mudah diperoleh, praktis, ringan, kuat, tahan bocor, fleksibel, struktur ringan, tahan terhadap suhu panas dan dingin, dan harganya yang relatif murah (Adil et al., 2020; Akmala & Supriyo, 2020; Sarlinda et al., 2022). Sebagai kemasan makanan styrofoam umumnya hanya digunakan sekali pakai sehingga menimbulkan penumpukan sampah (Apria Ningsih Siregar, 2017). Selain itu, rendahnya *recycle rate styrofoam* sebagai bahan baku *recycle* untuk menghasilkan *product* baru menyebabkan penumpukan limbah padat *styrofoam*. Limbah

styrofoam terdegradasi oleh mikroorganisme di alam dalam kurun waktu 400-500 tahun (Apria Ningsih Siregar, 2017). *Styrofoam* juga memiliki dampak terhadap kesehatan melalui reaksi kimia antara makanan dengan bahan kimia pembentuk styrofoam (Sarlinda et al., 2022). Penggunaan *styrofoam* sebagai kemasan makanan menimbulkan dampak signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan. Salah satu upaya untuk mengurangi sampah plastik, pemerintah menerapkan aturan terkait larangan penggunaan plastik melalui Peraturan Presiden Nomor 83 Tahun 2018 tentang penanganan sampah plastik yaitu dengan adanya larangan kantong plastik sekali pakai (CNN Indonesia, 2022).

Berbagai penelitian juga dilakukan untuk mencari bahan alternatif kemasan yang mudah terdegradasi di alam diuraikan (degradasi) oleh mikroorganisme (Hevira et al., 2021). *Biodegradable foam (biofoam)* merupakan salah alternatif lainnya. *Biofoam* adalah *foam* yang berbahan dasar tumbuhan (*plant-based foam*) yaitu pati, serat atau kombinasi dari keduanya dan polimer sintesis (PVA, polyurethanes, polysiloxanes (silicones), epoxies, polyimides, dan acrylics (William D. Callister & Rethwisch, 2018). Pati dan serat merupakan polimer alami yang tersedia melimpah di alam. Pada penelitian ini digunakan pati singkong sebagai bahan baku pembuatan biofoam karena kandungan pati dalam singkong 92% (Angelica Raharjo Hawu, 2017; Iriani, Savitri, et al., 2013) yang terdiri dari amilosa (15-30%) dan amilopektin (85-70%) (Solikhah & Erlangga, 2018). Berdasarkan struktur molekulnya pati memiliki karakteristik sifat fisik dan sifat mekanik yang rentan rapuh, memiliki molekul hidrofilik sehingga mudah menyerap air, oleh karena itu *biofoam* berbasis pati dimodifikasi dengan penambahan serat

sebagai *filler* yang berfungsi untuk memadatkan struktur dari biofoam sehingga akan terlihat kokoh dan padat (Hevira et al., 2021).

Serat yang pernah digunakan pada pembuatan *biofoam* adalah serat nanas, ampas tebu (Hevira et al., 2021) dan batang daun pisang (Isabella & Hendrawati, 2022). Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan air yang dianggap sebagai gulma dan merusak lingkungan dan dapat menurunkan kadar kualitas air. Eceng gondok kering memiliki kandungan total serat 85 % (Kusumawati & Haryadi, 2021). Kandungan serat eceng gondok terdiri dari 64,51% selulosa (Farida, 2012), 8% hemiselulosa and 17% lignin (Abdel-Fattah & Abdel-Naby, 2012).

Eceng gondok belum pernah dimanfaatkan sebagai sumber serat alami dalam pembuatan *biofoam*, oleh karena itu penelitian ini menggunakan eceng gondok sebagai sumber selulosa dalam meningkatkan sifat fisikokimia *biofoam*. Pati memiliki karakteristik berekspansi akibat adanya proses panas dan tekanan (Putri et al., 2021), oleh karena itu proses pembuatan *biofoam* berbasis pati menggunakan metode ekstrusi dan proses *baking*. Metode ekstrusi adalah metode pencampuran dua bahan atau lebih menjadi satu dengan memanfaatkan sifat pati yang dapat mengembang karena adanya panas dan tekanan saat proses ekstrusi dan metode *baking process* (Putri et al., 2021).

Faktor yang mempengaruhi morfologi dan karakteristik *biofoam* berbasis pati yaitu jenis komposisi, kondisi operasi, berat *biofoam*, serta penambahan *plasticizer*. *Plasticizer* meningkatkan sifat termal, morfologi, hidrofobitas dan mekanikal *biofoam* (Iriani et al., 2011; Wijaya et al., 2022). *Plasticizer* yang digunakan pada penelitian ini adalah kombinasi

polivinil alcohol (PVA) dan gliserol. PVA berperan dalam meningkatkan daya kuat tarik, elastisitas dan kemampuan hidrofobitas *biofoam* (Marin et al., 2014). Gliserol bersifat hidrofilik sehingga memiliki daya serap air untuk mempercepat laju degradasi biofoam. Penelitian Putri et al (2021) menggunakan kombinasi *plasticizer* PVA dan gliserol dalam meningkatkan karakteristik fisikokimia *biofoam* pada pembuatan *biofoam* dari bahan baku kulit singkong dan daun angkana (Putri et al., 2021). Pada penelitian ini modifikasi *biofoam* menggunakan pati singkong dan serat eceng gondok dan variasi konsentrasi antara PVA dan gliserol (%). Pengujian karakteristik fisikokimia *biofoam* pada penelitian ini terdiri dari uji daya serap air (*water uptake*), uji tekuk (*bending test/flexural strength*) dan analisa Fourier Transform Infrared (FTIR).

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini bertujuan untuk menentukan rasio PVA dan gliserol terendah dalam menyerap air dan menguji sifat mekanik *biofoam* (uji kuat tarik (*tensile strength*), uji biodegradasi *biofoam* dan analisa fourier transform infra-red (FTIR).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan adalah pati singkong, serat eceng gondok, Magnesiun-Stearat, gliserol, polivinil alkohol PVA) dan aquadest. Instrumen yang digunakan adalah Spektrofotometer Fourier Transform Infra-Red (FT-IR) type IRPrestige-21 SHIMADZU, uji tekuk (*bending*) menggunakan alat universal testing machine (UTM) shimadzu AGS-X series 5 kN.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini gelas beaker, *funnel*, kertas saring, termometer, kain mori, ayakan 60 *mesh*, grinder, pipet volum, spatula, *glass rod* (batang

pengaduk), pipet ukur, ball pipet, loyang, kaca arloji, blender, *drying cabinet*, *hot plate* dan *magnetic stirrer* barr, pH meter dan neraca analitis dengan ketelitian 0,1 mg (Ohaus PA214).

Prosedur Penelitian

Ekstraksi pati singkong

Preparasi ekstraksi pati singkong mengikuti acuan (Putri et al., 2021). Singkong dikupas, kemudian dicuci bersih menggunakan air mengalir. Singkong dihaluskan dengan menggunakan grinder. Singkong dan akuades dihaluskan menggunakan grinder kemudian diendapkan pati yang berada dalam singkong dan dipisahkan dengan filtratnya. Endapan yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan *drying cabinet* pada suhu 60°C selama 24 jam, kemudian diayak menggunakan ayakan ukuran 60 mesh. Rendemen ekstrak pati dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$\text{Rendemen (\%, b/b)} = \frac{W_t}{W_o} \times 100\% \quad \dots(1)$$

Keterangan:

Wt = berat sampel akhir (g)

Wo = berat sampel awal (g)

Ekstraksi serat eceng gondok

Eceng gondok dibersihkan dengan air mengalir kemudian dikeringkan didalam *drying cabinet* selama 24 jam pada suhu 50°C. Eceng gondok yang kering dipotong kecil dengan ukuran 1-2 cm dan dihaluskan menggunakan grinder. Eceng gondok yang telah halus kemudian diayak dengan ayakan 80 mesh. Ekstraksi serat eceng gondok mengacu pada penelitian Afdal et al yang telah disesuaikan dengan serat sifat fisikokimia serat eceng gondok (Afdal et al., 2022). Substrat didelignifikasi dengan metode basa yaitu menggunakan larutan NaOH. (Buda & Guna, 2010). Sebanyak 10 gr serat eceng gondok

ditambahkan 100 mL NaOH 1 M. Campuran dipanaskan menggunakan *water bath* pada suhu 85°C selama 30 menit. Larutan yang dihasilkan kemudian disaring untuk memisahkan residunya. Residu yang dihasilkan kemudian dicuci dengan akuades hingga menunjukkan pH netral dan dikeringkan dengan menggunakan *drying cabinet* pada suhu 50°C selama 3 jam.

Pembuatan biofoam

Proses pembuatan *biofoam* menggunakan dua metode yaitu metode ekstrusi (Nurfitasari, 2018) dan metode *baking process* (Putri et al., 2021). Tahap pertama yaitu metode ekstrusi dengan mencampurkan 35 gr pati singkong dengan 1,7 g serat eceng gondok dan magnesium stearat, selanjutnya PVA dan gliserol (v/v) ditambahkan dengan rasio bervariasi. Campuran pati, serat, magnesium stearat, PVA dan gliserol dihomogenkan menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* barr. Tahap selanjutnya yaitu metode *baking process*, yaitu campuran dituangkan ke loyang, kemudian dikeringkan di *drying cabinet* selama 60 menit pada suhu 60° C.

Tabel 1. Rasio PVA: Gliserol

No.	Ratio PVA: Gliserol (%)
1	3
2	5
3	8
4	11
5	14

Karakterisasi biofoam

1. Analisa daya serap air (*water uptake*)

Pengujian daya serap air dilakukan dengan cara menimbang sampel *biofoam* sebelum dan setelah direndam di dalam air. Pengujian daya serap air pada *biofoam* menggunakan metode ABNT NBR NM ISO

535 (Sumardiono *et al.*, 2021). Sampel *biofoam* yang akan diuji dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 5 cm, lalu dikeringkan menggunakan oven selama 5 menit pada suhu 100°C untuk menghilangkan kadar airnya. Sampel dimasukkan kedalam desikator selama 10 menit. Sampel *biofoam* ditimbang dan dicatat sebagai berat awal (M_0) *biofoam*. *Biofoam* dimasukkan kedalam gelas beaker dan direndam dalam air selama 60 detik kemudian *biofoam* dikeringkan menggunakan tisu dan ditimbang. Hasil penimbangan disebut sebagai berat akhir *biofoam* (M_t). Daya serap air *biofoam* dihitung menggunakan persamaan 2.

$$\text{Daya Serap Air (\%,b/b)} = \frac{M_t - M_0}{M_0} \times 100 \quad \dots(2)$$

Keterangan:

M_t = berat sampel setelah dicelupkan air

M_0 = berat sampel awal

2. Uji tekuk (*bending test/flexural strength*)

Pegukuran uji tekuk (*bending*) menggunakan alat universal testing machine (UTM) shimadzu AGS-X series dengan kapasitas beban maksimum 5 KN pada Gambar 1.



Gambar 1. Universal Testing Machine (UTM) 5 KN

Pengujian kekuatan *bending biofoam* pada penelitian ini dilakukan dengan metode *3-point-bending test*, yaitu sampel ditempatkan pada dua titik tumpuan di ujungnya dan beban diterapkan pada titik

tengah sampel. (*Bending Test (Uji Tekuk) : Manfaatnya Dalam Suatu Industri*, 2023)

Kekuatan *bending biofoam* dengan metode *3-point-bending test* dirumuskan dengan persamaan berikut (West Conshohocken, 1996):

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad \dots(3)$$

Keterangan:

σ_f = Tegangan lengkung (kgf/mm²)

P = Beban atau Gaya yang terjadi (kgf)

L = Jarak point (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Ketebalan benda uji (mm) (Beliu *et al.*, 2016).

Modulus elastisitas *bending* dapat dihitung dengan rumus (West Conshohocken, 1996; Beliu *et al.*, 2016)

$$E_b = \frac{L^3 \cdot m}{4bd^3} \quad \dots(4)$$

3. Uji tingkat biodegradasi (Insan *et al.*, 2022).

Biofoam dipotong dengan ukuran ukuran 2 x 2 cm kemudian direndam dalam air selama 1 menit. *Biofoam* ditimbang dan massanya dicatat sebagai massa awal *biofoam* (W_0). Sampel dipendam didalam tanah sedalam 10 cm kemudian ditambahkan 10 mL sukrosa 30% (b/v) dan pupuk cair EM 4 (*Effective Microorganism*). Tanah yang digunakan untuk menguji sampel *biofoam* yaitu tanah kompos. Pemendaman *biofoam* dilakukan dengan variasi waktu 5 hari, 10 hari, dan 15 hari. Hasil pemendaman *biofoam* ditimbang sebagai massa akhir *biofoam* (W_t) (R.L Shogren *et al.*, 2002). Uji tingkat biodegradasi *biofoam* dihitung dengan persamaan 5.

$$\text{Kehilangan Berat (\%,b/b)} = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100\% \quad \dots(5)$$

Keterangan:

W_0 = Berat Awal (gram)

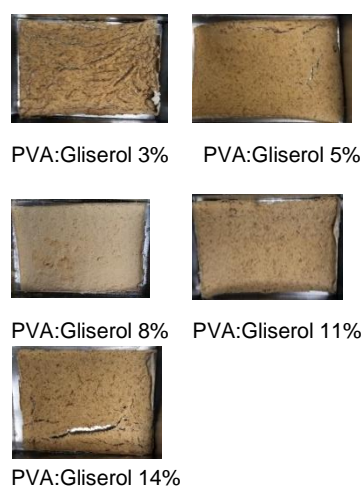
W_t = Berat Akhir (gram)

Analisa gugus fungsi

Biofoam diuji menggunakan FT-IR spektrofotometer dengan bilangan gelombang antara 4000 - 800 cm^{-1} .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses baking dalam *drying cabinet* dipengaruhi oleh suhu, dan waktu pemanasan. Pada penelitian ini suhu yang optimum dalam proses baking adalah suhu 60°C selama 60 menit. Pati memiliki kemampuan mengembang dan mudah dimodifikasi.



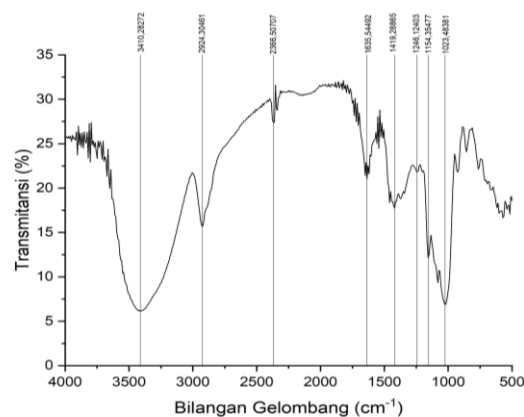
Gambar 2. Biofoam dengan variasi konsentrasi PVA:Gliserol

Berdasarkan Gambar 2, biofoam dengan rasio PVA : gliserol 8% memiliki pori yang kecil dan tidak berongga secara fisik, sedangkan pada rasio PVA dan gliserol 3% menghasilkan struktur biofoam yang memiliki pori yang besar (berongga). Adanya gugus hidroksil pada PVA dan gliserol mempengaruhi interaksi ikatan hidrogen dengan pati dan serat (Tian *et al.*, 2017). Kombinasi dari gliserol ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$) dan PVA ($(\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH}))_n$) yang memiliki gugus hidroksil pada struktur molekulnya dapat menginduksi lebih banyak interaksi antara masing-masing bahan dan menyebabkan *plasticizer* membentuk ikatan hidrogen sehingga menghancurkan struktur molekul

pati, tetapi dapat menginduksi terjadinya retrogasi pati (Iriani *et al.*, 2011; Krogars *et al.*, 2003). Perubahan yang dialami pati selama proses gelatinisasi dan retrogradasi merupakan penentu utama sifat fisikokimia produk yang terbuat dari pati (Wang *et al.*, 2015).

Hasil Analisis Gugus Fungsi

Analisa gugus fungsi menggunakan FT-IR spektrofotometer dengan panjang gelombang antara 4000 - 800 cm^{-1} dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3. Hasil analisa gugus fungsi FT-IR

Berdasarkan pada hasil analisa FT-IR *biofoam*, terdapat spektrum bilangan gelombang 3410,15 cm^{-1} yang menunjukkan adanya daerah serapan pada bilangan gelombang 3450 - 3350 cm^{-1} . Bilangan gelombang tersebut merupakan daerah khas gugus fungsi O-H (strong dan broad) karbohidrat dan polivenol. Hal tersebut mengidentifikasi reaksi polimerisasi yang terjadi antara karbohidrat dengan PVA. Spektrum 1157,29 cm^{-1} menunjukkan daerah serapan 1160 - 1120 cm^{-1} yang merupakan daerah gugus fungsi C-O-C polisakarida, 1334,74 cm^{-1} menunjukkan daerah serapan 1340 - 1240 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi C-N amida III (bend), spektrum 1419,61 cm^{-1} menunjukkan daerah serapan 1450 - 1370 cm^{-1} merupakan daerah gugus fungsi alifatik C-H tekuk. Serapan

spektrum pada bilangan gelombang 2924,09 cm^{-1} menunjukkan daerah serapan 2950 cm^{-1} – 2850 cm^{-1} yang merupakan daerah khas alifatik CH dan CH_2 stretching. Data daerah serapan yang khas diinterpretasi dari tabel data *band assignments* spektra FTIR oleh Mecozzi et.al (Mecozzi et al., 2012).

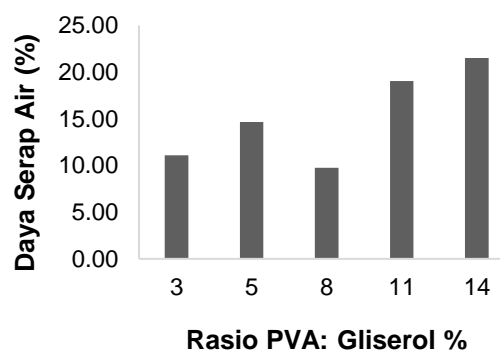
Tabel 2. Bilangan gelombang daerah serapan gugus fungsi

Wavenumber (cm^{-1})	Functional group
3350 - 3450	OH carbohydrates, proteins and polyphenols
3250	NH_2 amino acid group
3060 ^a	CH aromatic group
3010 - 3020	CH stretching alkene group
3040 -3060 ^a	CH of aromatic ring
2850 - 2950	CH and CH_2 stretching aliphatic group
2100 - 2500	C=C conjugated and $\text{C}\equiv\text{C}$
1730 - 1740	C=O ester fatty acid group
1700 - 1715	C=O fatty acid group
1650	C=O amide I band
1680 ^a	C=O group of quinone compounds
1510 ^a	Polyphenol selatal (aromatic)
1610 - 1620 ^a	C=C unsaturated compounds
1540	C-N amide II band
1400 -1460	stretching -C=O inorganic carbonate
1450 - 1370	CH aliphatic bending group
1240 -1340	C-N amide II band
1120 - 1160	C-O-C polysaccharide
1080	C-O carbohydrate
1020	SiO_2 silica
875	Bending -C=O inorganic carbonate
690	CH out of plane aromatic band

Daya Serap Air

Pengujian daya serap air pada *biodegradable foam* menggunakan metode acuan standart ABNT NBR NM ISO 535 (1999) (Hendrawati et al., 2019). Berdasarkan uji daya serap air, perbandingan rasio PVA: gliserol 8% memiliki daya serap air terendah yaitu 9,76 %. Menurut SNI standar daya serap air pada *biofoam* adalah 26,12%, oleh karena itu daya

serap air pada *biofoam* pada penelitian ini memenuhi standar SNI.



Gambar 4. Daya serap air

Penambahan selulosa dan PVA mengurangi daya serap *biofoam* terhadap air. Selulosa eceng gondok sebagai *filler* memiliki kadar selulosa yang tinggi yaitu 20% dari berat totalnya yang terdiri atas 60% selulosa, 8 % hemiselulosa dan 17% lignin (Abdel-Fattah & Abdel-Naby, 2012). Selulosa menurunkan daya serap *biofoam* terhadap air (Kaisangsri, dkk. 2012, oleh karena adanya peningkatan kristalinitas *biofoam*. Selulosa memiliki daerah kristalin yang lebih besar dibandingkan pati. Selulosa bersifat hidrofobik sehingga memiliki daya serap yang kecil dalam menyerap air (Iriani, 2013). Selulosa memiliki gugus karbonil aromatik (C = C) pada struktur molekulnya yang menyebabkan selulosa memiliki sifat hidrofobik (Akmala & Supriyo, 2020). Selain itu selulosa juga memiliki struktur mikrofibril yang lebih rapat sehingga dapat menghambat proses penyerapan air (Iriani, Sunarti, et al., 2013). Selain meningkatkan hidrofobisitas *biofoam* (Iriani, Savitri, et al., 2013), PVA juga berperan mengurangi rongga udara pada *biofoam* (Irawan dkk., 2018), sehingga menurunkan daya serap air pada *biofoam* (Adiyar et al., 2019). Perbandingan rasio PVA dan gliserol lebih dari 14 % akan meningkatkan daya serap *biofoam* terhadap air.

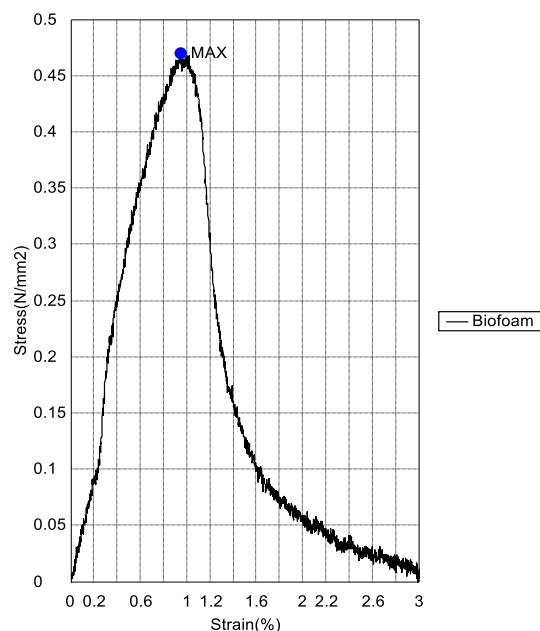
Penentuan karakteristik uji tekuk, uji tingkat biodegradasi dan analisa FTIR biofoam dilakukan pada rasio PVA dan gliserol 8 %.

Uji Tekuk (*Bending Test/Flexural Strength*)

Uji tekuk merupakan uji untuk mengukur kekuatan, elastisitas, dan sifat mekanik material. Standar prosedur pengujian uji tekuk (*bending*) biofoam mengikuti acuan standard *test method for tensile properties of plastics American Society for Testing and Materials (ASTM) D638* (American Society for Testing and Materials, 2014). Hasil pengujian three points bending test diperoleh nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh *biofoam* 1,43 N dan kekuatan bending maksimum biofoam adalah 9,20 MPa. Berdasarkan hasil uji pengukuran, diperoleh modulus patah (*biofoam* 0,47 N/mm² dan modulus elastisitas 45.89 N/mm². Kurva kekuatan *bending* atau kekuatan lengkung biofoam dengan menggunakan pengujian 3-*point-bending test* ditunjukkan oleh Gambar 5.

Hasil modifikasi *biofoam* pada penelitian ini mudah patah, oleh karena komposisi *biofoam* yang lebih banyak mengandung pati. Semakin banyak pati maka tegangan bendingnya semakin turun, tetapi sebaliknya semakin banyak jumlah serat maka tegangan bendingnya semakin naik (Sari & Sinarep, 2011). Hal tersebut disebabkan karena molekul pati bersifat semi-kristalin, sehingga untuk mendestrukturisasi granula pati menjadi matriks polimer yang homogen dan amorf dibutuhkan jumlah serat dan *plasticizer* yang lebih banyak (Iriani et al., 2011). Rasio konsentrasi PVA dan gliserol juga mempengaruhi kekuatan struktural *biofoam* dan menghasilkan sifat fleksibilitas *biofoam*. Sifat mekanik *biofoam* dipengaruhi oleh konsentrasi *plasticizer*, jika konsentrasi *plasticizer* kurang dari 10 % maka diperoleh *biofoam* yang rapuh (*fragile*), sedangkan

biofoam dengan konsentrasi *plasticizer* diatas 20% meningkatkan flessibilitas dan meningkatkan nilai perpanjangan (elongasi) *biofoam* (Iriani et al., 2011). Biofoam dengan perbandingan PVA : gliserol 8% memiliki kerapatan pori yang baik secara fisik dan daya serap air yang paling rendah tetapi peningkatan konsentrasi gliserol dapat kekuatan *bending biofoam* karena gliserol meningkatkan sifat elastisitas *biofoam* (Putra et al., 2019). Gugus hidroksil pada gliserol dapat menurunkan ikatan intermolekuler dan meningkatkan fleksibilitas serta ekstensibilitas (Muharam et al., 2022).



Gambar 5. Hasil uji tekuk (*bending*)

Tabel 3. Hasil uji tekuk (*bending*)

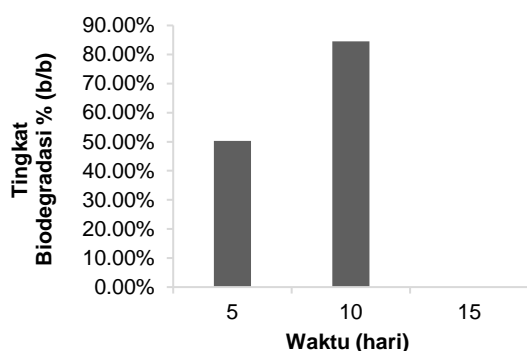
Spesimen	Max Force, F (N)	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	Bending/ Flexural Strength (MPa)
Biofoam	1.43	0.47	45.89	9.20

Keterangan:
 MOR: Modulus of rupture (Modulus patah)
 MOE: Modulus of elasticity (modulus elastisitas)
 Max Force: Uji tekan (compression test).

Tingkat Biodegradasi

Uji tingkat biodegradasi dilakukan untuk mengetahui seberapa lama sampel terurai dan terdegradasi dengan baik di lingkungan. Uji

Tingkat biodegradasi *biofoam* dilakukan dengan memasukkan *biofoam* kedalam tanah sedalam 10 cm. Pada penelitian ini, data uji biodegradabilitas produk *biofoam* menggunakan variasi waktu degradasi 5 hari, 10 hari dan 15 hari. Pada hari ke-5 kehilangan berat *biofoam* 50,31 %, hari ke -10 kehilangan berat 84,52% dan pada hari ke-15 *biofoam* terurai 100 % (Gambar 6).



Gambar 6. Tingkat biodegradasi

Menurut Standard European Union (EN 13432) tentang *biofoam* terdekomposisi dalam waktu 6 - 9 bulan (Ardiansyah, 2018), sedangkan berdasarkan mutu standar nasional Indonesia (SNI), lamanya waktu yang dibutuhkan *biofoam* untuk terdegradasi sebanyak 100% selama 60 hari (Akmala & Supriyo, 2020). PVA dapat menurunkan daya serap air karena bersifat kristalin, namun dengan adanya serat, menyebabkan air mampu terikat oleh sampel. Hal inilah yang menyebabkan sampel yang ditambahkan PVA dapat terdegradasi (Paramita, et al, 2019) oleh mikroorganisme.

Biofoam berbasis pati dapat menyerap kelembaban dari lingkungan yang menyebabkan nilai kadar air dari *biofoam* lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kadar air styrofoam komersial (Paramita, et al, 2019). *Biofoam* berbahan pati mudah berinteraksi dengan air dan mikroorganisme serta peka

terhadap pengaruh fisikokimia (Hidayati, et al , 2019). Daya urai *biofoam* menjadi karbondioksida dan air dipengaruhi oleh pati dan serat yang merupakan bahan alami dari tumbuhan serta gliserol yang memiliki daya serap air untuk mempercepat laju degradasi *biofoam*. Berdasarkan kajian (Ritonga, 2019; Sipahutar, 2020) penambahan selulosa sebagai bahan pengisi dapat mempengaruhi persentase kerusakan *biofoam* dalam tanah karena selulosa adalah *biofiller* yang dapat membuat *biofoam* mudah terurai dalam tanah serta merupakan senyawa organik dengan ikatan gugus fungsi C = C aromatik dan C=O karbonil hidrofilik ini dapat mengikat molekul air di lingkungan sekitarnya dan mempercepat dekomposisinya.

Gliserol juga berperan dalam meningkatkan sifat *biodegradable* *biofoam*. Mikroorganisme pengurai serat lignoselulosa banyak terdapat di alam, baik yang berasal dari golongan bakteri seperti *Streptomyces* sp. maupun golongan kapang *Actinomycetes* (Lestari, 2013). Biodegradasi *biofoam* 5 selama 15 hari yang menunjukkan laju degradasi yang sangat cepat karena adanya penambahan EM4 pada tanah. Degradasi *biofoam* oleh mikroorgaisme menggunakan EM4 sebagai kultur campuran mikro yang terdiri dari bakteri *lactobacillus*, *actinomyces*, *streptomyces*, ragi jamur dan bakteri fotosentik yang bekerja saling mendukung (simultan) dalam pembusukan *biofoam*. Hidrosilis asam akan mendegradasi hemiselulosa dan bagian amorf selulosa sehingga hanya tersusun bagian selulosa nanokristalin yang memiliki nilai modulus elastisitas tinggi sehingga mempunyai kekuatan mekanik yang lebih baik yang berakibatkan daya urai yang lebih rendah (Insan et al., 2022). Berdasarkan hasil uji

biodegradasi pada biodegradable foam menunjukkan kemampuan daya urai biofoam 15 hari dan sesuai dengan standar mutu SNI *biofoam*.

KESIMPULAN

Berdasarkan rasio PVA dan gliserol *biofoam* dalam menyerap air, diperoleh daya serap air terendah *biofoam* pada konsentrasi 8%. Hasil karakteristik *biofoam* PVA : gliserol 8% diperoleh daya serap air biofoam 9,76 %, kekuatan bending maksimum biofoam adalah 9,20 MPa, biofoam dapat terdegradasi 100 % pada hari ke-15 dan hasil analisa FTIR menunjukkan adanya serapan spektrum pada bilangan gelombang 3410,15 cm^{-1} yang merupakan daerah khas gugus fungsi O-H (strong dan broad) karbohidrat dan polivenol. Biofoam yang terbuat dari pati, serat dan magnesium stearat serta kombinasi dari PVA dan gliserol sebagai plasticizer dapat meningkatkan karakteristik fisikokimia *biofoam* dalam daya serap air dan biodegradasi *biofoam* tetapi kekuatan mekanik yaitu kuat tarik dan *bending biofoam* masih memerlukan penelitian lebih lanjut dalam hal meningkatkan kuat tarik *biofoam* yang mengacu pada karakteristik sifat mekanik *biofoam* sesuai dengan standart SNI.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada kepada Universitas Kristen Satya Wacana atas dukungan hibah penelitian riset percepatan jabatan fungsional (JaFA) UKSW tahun anggaran 2023 dengan No. SK 081/SPK-JAFA/RIK/8/2023 yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Peneliti juga mengucapkan terimakasih kepada laboratorium kimia Fakultas Sains dan Matematika Universitas Kristen Satya Wacana

atas dukungan dalam penggunaan fasilitas penelitian yang mendukung suksesnya penelitian ini. Penelitian ini juga didukung oleh fasilitas riset, dan dukungan ilmiah serta teknis dari karakterisasi lanjut Cibinong – laboratorium bioproduct terintegrasi di badan riset dan inovasi nasional (BRIN Cibinong).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Fattah, A. F., & Abdel-Naby, M. A. (2012). Pretreatment and enzymic saccharification of water hyacinth cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 2109–2113. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.10.033>
- Adil, Patang, & Andi Sukainah. (2020). Sintesis Kulit Ubi Kayu (manihot esculenta) Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Kemasan Biodegradable. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 6(1), 65 – 74. <https://doi.org/https://doi.org/10.26858/jptp.v6i1.11123>
- Adiyar, S. R., Sari, N. K. A. K., Dewanti, S. R., & Sumantri, I. (2019). Effect of Composition on Physical Properties of Biofoam from the Combination of Sorghum and Dried Mango Leaves. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 3(7), 20–22. <http://ijses.com>
- Afdal, K., Herawati, N., & Hasri, H. (2022). Pengaruh Konsentrasi Sorbitol sebagai Plasticizer pada Pembuatan Plastik Biodegradable dari Tongkol Jagung. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 23(1), 67–77. <https://doi.org/10.35580/chemica.v23i1.33918>
- Akmala, A., & Supriyo, E. (2020). Optimasi Konsentrasi Selulosa pada Pembuatan Biodegradable Foam dari Selulosa dan Tepung Singkong. *PENTANA*, 1(1), 27–40. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pentana/article/view/11597>
- American Society for Testing and Materials. (2014). ASTM D638-14, Standard practice for preparation of metallographic specimens. *ASTM International*, 82(C), 1–15. <https://doi.org/10.1520/D0638-14.1>
- Angelica Raharjo Hauw. (2017). Pengaruh Pretreatment Inokulum Em4, Suhu, Waktu Dan Tekanan Terhadap Fermentasi Kelobot Jagung (*Zea mays* L.).

- Journal.Uajy.Ac.Id. <http://e-journal.uajy.ac.id/12969/1/JURNAL.pdf>
- Apria Ningsih Siregar. (2017). Stop Styrofoam dengan Biofoam! Warstek Media. <https://warstek.com/styrofoam/>
- Atalya Puspa. (2022). Indonesia Darurat Sampah Styrofoam. <https://mediaindonesia.com/humaniora/539805/indonesia-darurat-sampah-styrofoam>
- Beliu, H. N., Pelle, Y. M., & Jarson, J. U. (2016). Analisa kekuatan tarik dan bending pada komposit widuri - polyester. *Jurnal Teknik Mesin UNDANA - Lontar*, 03(02), 11–20.
- Bending Test (Uji Tekuk): Manfaatnya dalam Suatu Industri. (2023). <https://www.sentrakalibrasiindustri.com/bending-test-uji-tekuk-manfaatnya-dalam-suatu-industri/>
- Buda, I. B. W. G. K., & Guna, I. M. Y. S. (2010). Pengaruh Perlakuan Delignifikasi Dengan Larutan NaOH Dan Konsentrasi Substrat Jerami Padi Terhadap Produksi Enzim Selulase Dari *Aspergillus Niger* NRRL A-II, 264. *Jurnal Biologi*, XIV(1), 55–61.
- Farida. (2012). Pemanfaatan Serat Enceng Gondok dan Kitosan sebagai Bahan Baku untuk Pembuatan Poly Lactic Acid sebagai Kemasan Ramah Lingkungan [Universitas Sumatera Utara]. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/77632>
- Hendrawati, N., Dewii, E. N., & Santosa, S. (2019). Karakterisasi Biodegradable Foam dari Pati Sagu Termodifikasi dengan Kitosan Sebagai Aditif. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 3(1), 47–52.
- Hevira, L., Ariza, D., & Azimatur Rahmi. (2021). Pembuatan Biofoam Berbahan Dasar Ampas Tebu Dan Whey. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 43(2), 75–81. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24817/jk.k.v43i2.6718>
- Insan, J., Malik, A., & Harunsiyah. (2022). Pembuatan Styrofoam Ramah Lingkungan Dari Pati Singkong Dengan Penambahan Tongkol Jagung Sebagai Filler. *Jurnal RISTERA (Jurnal Riset, Inovasi, Teknologi Dan Terapan)*, 1(1), 12–16. <https://e-journal.pnl.ac.id/RISTERA/article/view/3694>
- Iriani, E. S., Sunarti, T. C., & Richana, N. (2011). Pengembangan Biodegradable Foam Berbahan Baku Pati. In *Buletin Teknologi Pasca Panen* (Vol. 7, Issue 1, pp. 30–40).
- Iriani, E. S., Sunarti, T. C., Irawadi, T. T., Richana, N., & Yuliasih, I. (2013). Pengembangan Produk Biodegradable Foam Berbahan Baku Campuran Tapioka dan Ampok [Institut Pertanian Bogor]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/63674%0A>
- Iriani, Savitri, E., Sunarti, Candra, T., Irawadi, Tedja, T., Richana, Yuliasih, N., & Indah. (2013). Pengembangan produk biodegradable foam berbahan baku campuran tapioka dan ampok [Institut Pertanian Bogor, Bogor.]. In Tidak dipublikasikan. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/63674>
- Isabella, H., & Hendrawati, N. (2022). Perbandingan Karakteristik Biodegradable Foam dari Pati Ubi Jalar dan Pati Kentang dengan Penambahan Serat Selulosa. 6(2), 104–111. <https://doi.org/10.32493/jitk.v6i2.21940>
- Krogars, K., Heinämäki, J., Karjalainen, M., Niskanen, A., Leskelä, M., & Yliruusi, J. (2003). Enhanced stability of rubbery amylose-rich maize starch films plasticized with a combination of sorbitol and glycerol. *International Journal of Pharmaceutics*, 251(1–2), 205–208. [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(02\)00585-9](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(02)00585-9)
- Kusumawati, E., & Haryadi. (2021). Ekstraksi dan Karakterisasi Serat Selulosa dari Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*). *Jurnal Fluida*, 14(1), 1–7. <https://doi.org/10.35313/fluida.v14i1.3452>
- Lestari, E. (2013). Potensi jamur pelapuk kayu isolat lokal makassar dalam mendekomposisi komponen lignoselulosa jerami padi *Oryza sativa* L. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Marin, E., Rojas, J., & Ciro, Y. (2014). A review of polyvinilalcohol derivates: Promising materials for pharmaceutical and biomedical applications. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 8(24), 674–684. <https://doi.org/10.5897/AJPP2013.3906>
- Mecozi, M., Pietroletti, M., Scarpiniti, M., Acquistucci, R., & Conti, M. E. (2012). Monitoring of marine mucilage formation in Italian seas investigated by infrared spectroscopy and independent component analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(10), 6025–6036. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2400-4>

- Muharam, T., Fitriani, D., Fataya, D., Jannah, M., Zidan, M., Ghifari, A., & Sihombing, R. P. (2022). Karakteristik Daya Serap Air dan Biodegradabilitas Pada Bioplastik. Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST), November, 35–49.
- National Library of Medicine. (2024). Styrene. In PubChem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Styrene#section=Household-Products>
- Nurfitasari, I. (2018). Pengaruh Penambahan Kitosan dan Gelatin terhadap Kualitas Biodegradable Foam Berbahan Baku Pati Biji Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*). <http://repository.uin-alaudidin.ac.id/12656/>
- Putra, A. D., Amri, I., & Irdoni. (2019). Sintesis Bioplastik Berbahan Dasar Pati Jagung dengan Penambahan Filler Selulosa Serat Daun Nanas (*Ananas cosmosus*). *Jom Fteknik*, 6(1), 1–8.
- Putri, M., Putri, D. K., & Putri, A. (2021). Pengaruh Penambahan Gliserin dan Polivinil Alkohol Terhadap Karakteristik Biofoam dari Kulit Singkong dan Daun Angsana. *Journal of Research on Chemistry and Engineering*, 2(1), 15–18. <http://reactor.poltekatiptdg.ac.id/index.php/reactor/article/view/19>
- R.L Shogren, Lawton, J. ., & Karl, T. F. (2002). Baked starch foams: Starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties. *Industrial Crops and Products*, 16(1), 69–79. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(02\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00010-9)
- Sari, N. H., & Sinarep, S. (2011). Analisa Kekuatan Bending Komposit Epoxy Dengan Penguatan Serat Nilon. *Dinamika Teknik Mesin*, 1(1). <https://doi.org/10.29303/d.v1i1.130>
- Sarlinda, F., Hasan, A., & Ulma, Z. (2022). Pengaruh Penambahan Serat Kulit Kopi dan Polivinil Alkohol (PVA) terhadap Karakteristik Biodegradable Foam dari Pati Kulit Singkong. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 4(2). <https://ejournal.pnc.ac.id/index.php/jppl/article/view/1430/398>
- Solikhah, L. K. M., & Erlangga, D. (2018). Degradasi Pati Singkong Menjadi Gula Pereduksi Melalui Proses Sonikasi Dan Hidrotermal [Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya]. https://repository.its.ac.id/53598/1/02211440000044_Undergraduate_Theses.pdf
- Sumardiono, S., Pudjihastuti, I., Amalia, R., & Yudanto, Y. A. (2021). Characteristics of Biodegradable Foam (Bio-foam) Made from Cassava Flour and Corn Fiber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012082. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012082>
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, 4(3), 71–78. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-2)
- Tian, H., Liu, D., Yao, Y., Ma, S., Zhang, X., & Xiang, A. (2017). Effect of Sorbitol Plasticizer on the Structure and Properties of Melt Processed Polyvinyl Alcohol Films. *Journal of Food Science*, 82(12), 2926–2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13950>
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 14, Issue 5, pp. 568–585). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>
- West Conshohocken. (1996). International Organization of Standardization, Environmental management systems – Specification with guidance for use (ISO 14001) (PCN : 34-014023-65).
- Wijaya, G. H., Sutiarno, S., Karokaro, P., Syafriadi, S., Ginting, P., & Riyanto, A. (2022). Pengaruh Variasi Ion Ag+ terhadap Pembentukan Biofoam Antibakteri Berbasis Pati Singkong dan Selulosa Batang Jagung. 3(2), 49–61.
- William D. Callister, J., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering* (10th ed.). Wiley.