

# Uji Biodegradasi Bioplastik Berbahan Dasar Limbah Cair Industri Tahu

Amanda Cornelia Prastiwi<sup>1</sup>, Naniek Ratni Juliardi A. R<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

\*Koresponden email : corneliamanda12@gmail.com<sup>1</sup>, nanik\_rjar@upnjatim.ac.id<sup>2</sup>

Diterima: 15 April 2024

Disetujui: 23 April 2024

## Abstract

Plastic is the main source of environmental pollution in Indonesia. To mitigate this problem, liquid waste from the tofu industry can be used as a raw material in the production of bioplastics. The research aims to utilise this waste and analyse the effects of additives on the biodegradability of the resulting bioplastics. Bioplastic synthesis is carried out using a variety of additives such as glycerol plasticiser, chitosan, palm oil and gum arabic, followed by biodegradation testing. The results indicate that liquid waste from tofu production has potential as a raw material for bioplastic production, which can be completely degraded within 15 days. Different additives influenced the degradation rate, with higher glycerol concentrations increasing biodegradability. In conclusion, bioplastics from tofu waste could serve as an environmentally friendly alternative to reduce plastic waste.

**Keywords:** *bioplastic, biodegradable test, additive substances*

## Abstrak

Plastik adalah penyebab utama pencemaran lingkungan di Indonesia yang belum teratasi. Untuk mengurangi masalah ini, limbah cair industri tahu dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan bioplastik. Tujuan dari penelitian adalah untuk memanfaatkan limbah tersebut dan menganalisis efek aditif terhadap kemampuan biodegradasi bioplastik yang dihasilkan. Sintesis bioplastik dilakukan dengan variasi aditif seperti pemlastis gliserol, kitosan, minyak sawit, dan gom arab, diikuti dengan pengujian biodegradasi. Hasilnya menunjukkan bahwa limbah cair dari produksi tahu berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku bioplastik yang dapat terurai sepenuhnya dalam 15 hari. Variasi aditif mempengaruhi laju degradasi, dengan konsentrasi gliserol yang lebih tinggi meningkatkan kemampuan biodegradasi. Kesimpulannya, bioplastik dari limbah tahu dapat menjadi alternatif ramah lingkungan untuk mengurangi limbah plastik.

**Kata kunci:** *bioplastik, uji biodegradasi, zat aditif*

## 1. Pendahuluan

Sampah plastik telah menjadi salah satu ancaman serius terhadap lingkungan. Sebagian besar tetap menumpuk di lingkungan karena proses daur ulang yang tidak optimal, yaitu sekitar 91% dari 6300 juta ton sampah plastik dunia [1]. Di Indonesia, tingkat konsumsi plastik sangat tinggi, menyebabkan negara ini menjadi salah satu penghasil sampah plastik terbesar di dunia. Sifat-sifat plastik yang sulit terurai oleh alam, seperti elastis, ringan, dan kuat, menyebabkan dampak jangka panjang yang merugikan bagi lingkungan dan makhluk hidup [2][3]. Untuk mengatasi masalah ini, pengembangan bioplastik menjadi salah satu solusi yang menjanjikan. Bioplastik merupakan plastik yang seluruh bahan pembuatannya terdiri dari bahan yang bersifat terbarukan dan ketersediaannya sangat melimpah di alam [4].

Bioplastik, terbuat dari bahan-bahan terbarukan, memiliki tingkat biodegradabilitas yang tinggi. Limbah cair industri tahu, yang mengandung selulosa dari proses fermentasi. Material turunan selulosa, seperti selulosa asetat bersifat mudah larut dalam beberapa pelarut sehingga dapat digunakan menjadi bahan untuk pembuatan bioplastik [5]. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah cair tahu dalam pembuatan bioplastik dengan penambahan pemlastis gliserol dan beberapa filler, serta menganalisis pengaruh zat aditif tersebut terhadap kemampuan biodegradasi bioplastik yang dihasilkan. Dalam ruang lingkup penelitian, akan dianalisis tingkat biodegradasi bioplastik yang dihasilkan dari limbah cair industri tahu dalam lingkungan tanah. Selain itu, pengaruh variasi komposisi dalam pembuatan bioplastik terhadap laju biodegradasi juga akan diteliti. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam pengembangan plastik ramah lingkungan serta mengurangi masalah sampah plastik yang sulit terurai.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian utama diawali dengan pembuatan bakteri selulosa dari limbah cair tahu dan bioplastik selulosa limbah cair tahu dengan penambahan zat aditif. Kemudian, pengujian karakteristik plastik *biodegradable* dilakukan menggunakan metode *soil burial test* dengan jenis tanah kompos. Pengujian ini juga menghitung kehilangan berat pada sampel bioplastik. Persentase kehilangan berat sampel dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Persentase Degradasi Massa} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\%$$

Keterangan:

W<sub>0</sub> : Berat awal (gram)

W<sub>1</sub> : Berat akhir (gram)

### Alat dan Bahan

Penelitian Uji Biodegradasi Bioplastik Berbahan Dasar Limbah Cair Industri Tahu (*Whey*) menggunakan alat berupa oven, saringan, timbangan analitik, cetakan aluminium, *beaker glass*, kompor, blender, dan *magnetic stirrer*. Bahan penelitian ini adalah air limbah industri tahu (*whey*), gula, ammonium sulfat (ZA), asam asetat 2%, starter bakteri *Acetobacter xylinium*, akuades, gliserol (1,5; 2; dan 10 ml), bubuk kitosan (2,3 dan 3 gram), minyak sawit (15 ml), dan gum arab (45 ml).

### Variabel Penelitian




Variabel penelitian ini terdiri dari variabel tetap, kontrol, bebas, terikat, dan parameter yang diamati. Variabel tetap penelitian ini adalah ukuran dan ketebalan plastik, serta jenis tanah. Variabel kontrol penelitian adalah suhu dan pH. Variabel bebas penelitian adalah limbah cair tahu (15, 20, dan 25 gram), gliserol (1,5; 2; dan 10 ml), kitosan (2,3 dan 3 gram), minyak sawit (15 ml), gum arab (45 ml), dan waktu detensi (hari ke-5, 10, dan 15). Variabel terikat penelitian adalah biodegradabilitas dan parameter yang diamati, diantaranya persentase kehilangan berat dan perubahan fisik plastic.




## 3. Hasil dan Pembahasan

### Potensi Limbah Cair Tahu sebagai Plastik Biodegradable

Pembuatan plastik *biodegradable* pada penelitian ini menggunakan bahan dasar limbah cair tahu (*whey*) dengan penambahan pemlastis serta *filler* untuk menghasilkan bioplastik yang fleksibel. Sampel A1 tersusun dari nata de soya, gliserol 1,5 ml, dan kitosan 2,3 gram. Sampel A2 tersusun dari nata de soya, gliserol 2 ml, dan kitosan 3 gram. Sedangkan, sampel A3 tersusun dari nata de soya, gliserol 10 ml, minyak sawit 15 ml, dan gum arab sebanyak 45 ml. Plastik *biodegradable* ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Hasil Plastik *Biodegradable*

Parameter	Dokumentasi Pengamatan		
Tingkat Transparansi			
	(A)	(B)	(C)

Parameter	Dokumentasi Pengamatan		
Ketebalan			
	(A)	(B)	(C)

Sumber : Hasil Penelitian (2024)

Dalam penelitian ini, bioplastik yang dihasilkan dari variasi penambahan zat aditif tidak terdapat perbedaan dari segi fisik plastik, namun terdapat perbedaan kepekatan warna kuning pada setiap sampel. Warna kekuningan yang dihasilkan berasal dari bahan bioplastik yang digunakan. Kedelai yang diambil dari limbah tahu memiliki warna putih kuning sehingga bioplastik yang diproduksi berwarna serupa meskipun telah melalui proses pengolahan yang beragam. Pada sampel A3 turut dipengaruhi oleh penambahan zat aditif lain seperti minyak sawit dan gum arab yang juga berwarna kuning, sehingga menyebabkan bioplastik sampel A3 terlihat berwarna lebih kuning dibandingkan sampel A1 dan A2.

Berdasarkan pengamatan secara visual, plastik *biodegradable* yang dihasilkan memiliki homogenitas cukup baik. Ketiga sampel memiliki ketebalan yang hampir sama, kurang lebih sebesar 0,01 mm. Hasil uji ketebalan bioplastik dari limbah cair tahu telah memenuhi standar JIS (*Japan Industrial Standart*) sebagai jenis dengan sifat moderat. Berdasarkan *Japanesse Industrial Standart* (JIS), nilai ketebalan maksimum film bioplastik adalah 0.25 mm [6]. Nilai ketebalan film bioplastik dipengaruhi oleh jumlah bahan baku yang digunakan, lama waktu, dan suhu pengeringan [7]. Pengujian kekuatan tarik bioplastik dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik mekaniknya dalam menahan tekanan maksimum yang diberikan [8]. Gliserol dan kitosan dapat meningkatkan kekuatan plastik karena sifatnya memberikan elastisitas pada plastik. Penambahan konsentrasi kitosan diikuti dengan nilai kuat tariknya. Sedangkan, semakin tinggi konsentrasi gliserol, semakin rendah kekuatannya [9]. Nilai kuat tarik dari ketiga sampel ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Nilai Kuat Tarik Plastik *Biodegradable*

Sampel	Kuat Tarik (MPa)	Sumber
A1	14,935	(Rahadi et al., 2020) [10]
A2	15,273	(Ambarwati & Rosariawari, 2023) [11]
A3	23,459	(Iryani et al., 2021) [12]

Menurut standar SNI 7818:2014, bioplastik harus memiliki nilai kuat tarik minimal 13,7 MPa dan mampu terurai maksimal selama 250 jam [13]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bioplastik dari limbah cair tahu memiliki nilai kuat tarik antara 14,935 - 23,459 MPa, dengan nilai tertinggi pada sampel A3 yang mengandung gliserol, minyak sawit, dan gum arab. Meskipun demikian, nilai kuat tarik bioplastik tersebut masih berada di bawah standar SNI untuk plastik konvensional, yang mencapai 24,7 - 302 MPa. Kekurangan ini disebabkan oleh sifat yang lebih kasar dan homogenitas bioplastik, membuatnya memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah. Namun, bioplastik tetap memiliki kemampuan biodegradabilitas yang lebih baik daripada plastik konvensional, menjadikannya lebih ramah lingkungan.

Adanya penambahan kitosan dalam komposisi bioplastik meningkatkan nilai kuat tarik, karena ikatan hidrogen yang terbentuk di dalamnya. Hal ini membuat bioplastik menjadi lebih kuat dan sulit untuk diputuskan. Di sisi lain, penambahan gliserol sebagai pemlastis dapat membuat bioplastik menjadi lebih lentur dan kurang kaku, yang kemudian mengurangi nilai kuat tariknya [14]. Penambahan gum arab juga berkontribusi terhadap peningkatan nilai kuat tarik, karena gum arab berperan sebagai filler dan pengemulsi yang memiliki sifat hidrofob dan tidak beracun.

#### *Uji Biodegradasi Plastik Biodegradable*

Pengujian biodegradasi dalam uji ini dilakukan dengan metode *soil burial test* pada sampel berukuran 4 cm x 4 cm, terdiri dari 3 sampel uji. Sampel tersebut kemudian ditimbang untuk mendapatkan

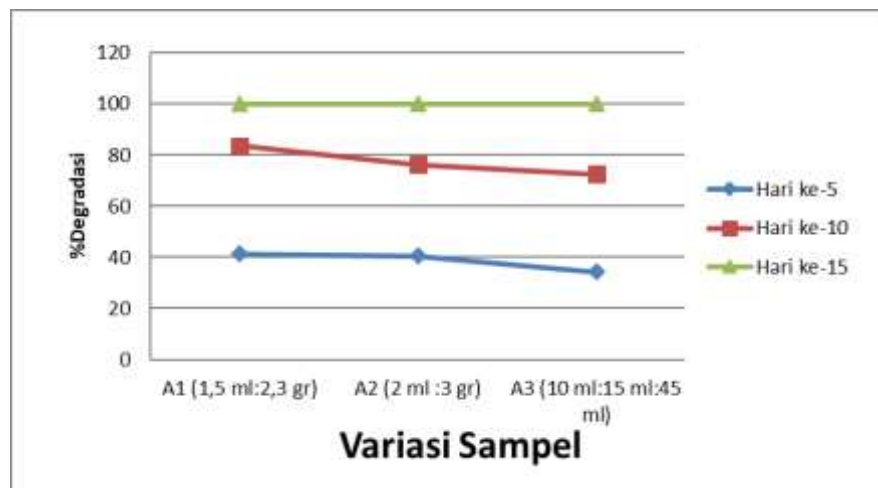
data berat awal, lalu diubur dalam tanah selama 15 hari. Penurunan berat bioplastik kemudian dihitung untuk mengetahui kecepatan penguraiannya dalam tanah. Pengamatan dilakukan pada hari ke-5, ke-10, dan ke-15 dengan mencuci dan mengeringkan sampel untuk memperoleh berat akhir. Hasil uji biodegradasi bioplastik tertera pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil Uji Biodegradasi Platik *Biodegradable*

Waktu	Sampel	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	%Degradasi
Hari ke-5	A1	0,5165	0,3025	41,4%
	A2	0,5363	0,3192	40,5%
	A3	0,5294	0,3486	34,2%
Hari ke-10	A1	0,5121	0,0839	83,7%
	A2	0,5336	0,1275	76,2%
	A3	0,5301	0,1438	72,9%
Hari ke-15	A1	0,5319	0	100%
	A2	0,5278	0	100%
	A3	0,5342	0	100%

Sumber : Hasil Penelitian (2024)

Dari hasil pengujian, plastik *biodegradable* dari limbah cair tahu dapat terurai sepenuhnya dalam waktu 15 hari. Proses degradasi tersebut mengubah bioplastik menjadi air dan karbon dioksida melalui metabolisme mikroba. Analisis menunjukkan bahwa sampel dengan komposisi tertentu memiliki tingkat biodegradasi yang lebih cepat, terutama pada sampel dengan kadar kitosan dan gliserol yang lebih rendah. Grafik pada Gambar 1 menunjukkan bahwa penambahan kitosan dapat memperlambat laju degradasi, sedangkan penambahan gliserol dapat meningkatkannya. Kitosan, dengan sifat antibakteri yang dimilikinya, terdiri dari gugus fungsional amina yang mampu menyerap dan membawa muatan positif [15]. Ketika terpapar oleh mikroba yang bermuatan negatif, kitosan akan berinteraksi dengan mikroba, menciptakan tekanan osmotik yang menghambat pertumbuhan mikroba tersebut sehingga laju degradasi bioplastik menjadi lebih lambat. Namun, penambahan gliserol dapat mengimbangi laju degradasi bioplastik karena gliserol akan menghilangkan ikatan hidrogen yang ada diantara molekul polisakarida sehingga ikatan antar molekul yang terbentuk pada bioplastik akan semakin melemah [14].









**Gambar 1.** Hubungan Pengaruh Variasi Zat Aditif Terhadap % Degradasi Plastik *Biodegradable*

#### *Pengamatan Secara Visual Perubahan Fisik Plastik Biodegradable*

Uji biodegradasi pada plastik *biodegradable* melibatkan pengamatan perubahan fisik sampel plastik setelah ditanam dalam tanah selama periode waktu tertentu. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi efek degradasi alami terhadap karakteristik fisik bioplastik. Hasil pengamatan visual menunjukkan perubahan warna, tekstur, dan bentuk fisik sampel bioplastik setelah proses biodegradasi (**Tabel 4**).

**Tabel 4.** Hasil Pengamatan Perubahan Fisik Plastik *Biodegradable* Secara Visual

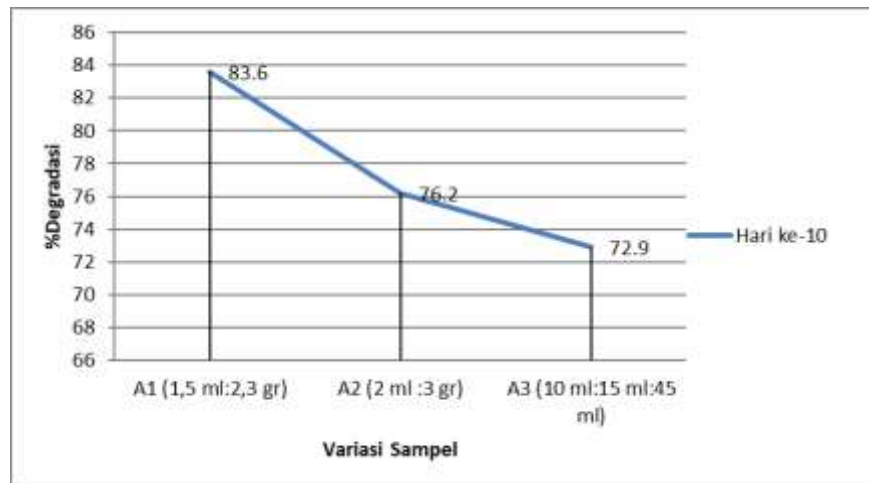
Waktu	Sampel	Dokumentasi Pengamatan	Deskripsi
Hari ke-5	A1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berwarna kuning pucat</li> <li>• Permukaan tidak rata</li> <li>• Lembab dan lunak</li> <li>• Terdapat perubahan bentuk fisik dan dimensi</li> <li>• Terdapat keretakan</li> <li>• Terdapat rongga</li> </ul>
	A2		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berwarna kuning pucat</li> <li>• Permukaan tidak rata</li> <li>• Lembab dan lunak</li> <li>• Terdapat perubahan bentuk fisik dan dimensi</li> <li>• Terdapat keretakan</li> <li>• Terdapat rongga</li> </ul>
	A3		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berwarna kuning pucat</li> <li>• Permukaan tidak rata</li> <li>• Lembab dan lunak</li> <li>• Terdapat perubahan bentuk fisik dan dimensi</li> <li>• Terdapat keretakan</li> </ul>
Hari ke-10	A1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berwarna putih pucat</li> <li>• Permukaan tidak rata</li> <li>• Lembab dan lunak</li> <li>• Terdapat perubahan bentuk fisik dan dimensi</li> <li>• Terdapat keretakan</li> <li>• Terdapat rongga</li> </ul>
	A2		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berwarna putih pucat</li> <li>• Permukaan tidak rata</li> <li>• Lembab dan lunak</li> <li>• Terdapat perubahan bentuk fisik dan dimensi</li> <li>• Terdapat keretakan</li> <li>• Terdapat rongga</li> </ul>
	A3		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berwarna putih pucat</li> <li>• Permukaan tidak rata</li> <li>• Lembab dan lunak</li> <li>• Terdapat perubahan bentuk fisik dan dimensi</li> <li>• Terdapat keretakan</li> <li>• Terdapat rongga</li> </ul>
Hari ke-15	A1	(terdegradasi sempurna)	-
	A2	(terdegradasi sempurna)	-
	A3	(terdegradasi sempurna)	-

Sumber : Dokumentasi Penelitian (2024)

Perubahan warna, terutama menjadi kuning pucat pada awalnya dan kemudian putih pucat, menandakan proses degradasi organik yang terjadi. Mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, memiliki kemampuan untuk menghancurkan bioplastik menjadi air dan gas karbondioksida [6]. Dalam penelitian ini, pengujian biodegradasi dilakukan dalam ruangan yang terpapar sinar matahari secara tidak langsung, sehingga ketiga sampel dapat mengalami fotodegradasi. Proses fotodegradasi melibatkan penguraian materi organik oleh energi cahaya, yang dapat mengubah sifat optik bioplastik dan menyebabkan perubahan warna [16]. Tekstur bioplastik saat mengalami degradasi menjadi tidak rata, lembab, dan lunak, sedangkan bentuk fisiknya mengalami penyusutan, retakan, dan perubahan dimensi. Faktor-faktor seperti aktivitas mikroorganisme, kondisi lingkungan, dan reaksi kimia dapat mempengaruhi perubahan tersebut. Penelitian ini menunjukkan bahwa bioplastik limbah cair tahu dapat terdegradasi secara signifikan dalam lingkungan tanah, menimbulkan perubahan yang dapat diamati secara visual.

#### *Kondisi Optimum pada Uji Biodegradasi Plastik Biodegradable*

Pada uji biodegradasi limbah cair tahu, kondisi optimal dicapai dengan menggunakan konsentrasi gliserol sebesar 1,5 ml dan kitosan sebesar 2,3 g, menghasilkan tingkat degradasi sebesar 83,6% pada hari ke-10. Penambahan gliserol dalam jumlah yang sedikit, seperti 1,5 ml, meningkatkan laju degradasi plastik karena sifatnya yang dapat menyerap air, mempercepat aktivitas mikroba dalam proses degradasi. Namun, peningkatan konsentrasi kitosan dapat mengurangi nilai biodegradabilitas karena sifatnya sebagai anti bakterial, yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang mengurai bioplastik. Hasil ini memenuhi standar SNI, di mana kemampuan degradasi plastik *biodegradable* seharusnya lebih dari 60% dalam satu minggu [17]. Dengan kondisi optimal tersebut, plastik *biodegradable* dapat terdegradasi sebesar 83,6% dalam waktu 10 hari.



**Gambar 2.** Kondisi Optimum Pada Uji Biodegradasi Plastik *Biodegradable*

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis dari penelitian mengenai Uji Biodegradasi Bioplastik yang Terbuat dari Limbah Cair Industri Tahu (*Whey*), maka didapatkan kesimpulan bahwa limbah cair industri tahu memiliki potensi sebagai bahan baku plastik yang dapat terdegradasi secara alami (*biodegradable*), dengan karakteristik transparan, halus, fleksibel, dan bobot yang ringan, serta berwarna kuning. Ketebalan sampel sesuai dengan standar JIS, sementara nilai kuat tarik melebihi standar SNI. Plastik ini dapat terurai sepenuhnya dalam waktu 15 hari, dan sampel dengan konsentrasi gliserol sebesar 1,5 ml dan kitosan sebesar 2,3 gram menunjukkan tingkat degradasi paling cepat. Variasi komposisi dan zat aditif mempengaruhi karakteristik bioplastik. Konsentrasi gliserol, kitosan, minyak sawit, dan gum arab memengaruhi warna dan ketebalan bioplastik, serta nilai kuat tarik dan biodegradabilitasnya. Variasi dengan konsentrasi gliserol 1,5 mL dan kitosan 2,3 g memiliki tingkat degradasi terbaik dan sesuai SNI, mencapai 83,6% pada hari ke-10.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7): 25–29. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- [2] Sharma, C., Manepalli, P. H., Thatte, A., Thomas, S., Kalarikkal, N., & Alavi, S. 2017. Biodegradable starch/PVOH/laponite RD-based bionanocomposite films coated with graphene oxide: Preparation and

- performance characterization for food packaging applications. *Colloid and Polymer Science*, 295(9): 1695–1708. <https://doi.org/10.1007/s00396-017-4114-9>
- [3] Pavani, P., & Rajeswari, T. R. 2014. Impact of Heavy Metals on Environmental Pollution. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 94(3): 87–93.
- [4] Stevens, E. S. 2001. *Green Plastics*. Princeton University Press.
- [5] Wahyusi, K. N., Siswanto, & Utami, L. I. 2017. Kajian Proses Asetilasi Terhadap Kadar Asetil Selulosa Asetat Dari Ampas Tebu Study of Acetylation Process on Acetyl Content of Cellulose Acetate From Bagasse. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1): 35–39.
- [6] Sitorus, B., Novianti, I., Adhityawarman, & Antonius. 2023. Peningkatan Biodegradabilitas dan Penyerapan Air Akibat Penambahan Mikroselulosa Hasil Isolasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Bioplastik. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 12(2): 335–343. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i2.52469>
- [7] Nur, R.A., Nazir, N. & Taib, G. 2020. Karakteristik bioplastik dari pati biji durian dan pati singkong yang menggunakan bahan pengisi MCC (*Microcrystalline cellulose*) dari kulit kakao. *Gema Agro*, 25(1): 1-10.
- [8] Danni, E.R., Hasan, A. & Junaidi, R. 2023. Pengaruh Penambahan Filler dari Selulosa Tongkol Jagung dan Zink Oksida Pada Plastik Biodegradable. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 1(3): 92-100.
- [9] Nurrahmi, S., Nuraisyah, S. & Hernawati, H. 2020. Pengaruh penambahan pati dan plasticizer gliserol terhadap sifat mekanik plastik biodegradable. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 7(2):128-138.
- [10] Rahadi, B., Setiani, P., & Antonius, R. 2020. Karakteristik Bioplastik Berbahan 61 Dasar Limbah Cair Tahu (*Whey*) dengan Penambahan Kitosan dan Gliserol. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(2), 81–89. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.007.02.5>
- [11] Ambarwati, A., & Rosariawari, F. 2023. Pemanfaatan Limbah Tahu (*Whey*) dan Onggok Singkong Sebagai Plastik Biodegradable. 6(1), 12–15.
- [12] Iryani, I., Iswendi, I., Etika, S. B., Devira, C., & Putra, R. F. 2021. Characterization of Biodegradable Plastic Nata De Soya Using Glycerol and Palm Oil Addictive Substances.pdf. *Eksakta : Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 22, 211–219. <https://doi.org/https://doi.org/10.24036/eksakta/vol22-iss2/285>
- [13] Khodijah, S., & Tobing, J. M. L. 2023. Tinjauan Plastik Biodegradable dari Limbah Tanaman Pangan sebagai Kantong Plastik Mudah Terurai. *Teknotan*, 17(1): 21. <https://doi.org/10.24198/jt.vol17n1.3>
- [14] McHugh, T. H., & Krochta, J. M. 1994. Sorbitol- vs Glycerol-Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(4): 841–845. <https://doi.org/10.1021/jf00040a001>
- [15] Ritonga, H., Nurdin, M., & Rembon, F. S. 2021. *Hidrogel: Aplikasinya sebagai Soil Conditioner*. Penerbit NEM.
- [16] Bátori, V., Åkesson, D., Zamani, A., Taherzadeh, M. J., & Sárvári Horváth, I. (2018). Anaerobic degradation of bioplastics: A review. *Waste Management*, 80: 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.040>
- [17] Saputra, M. R. B., & Supriyo, E. (2020). Pembuatan Plastik Biodegradable Menggunakan Pati Dengan Penambahan Katalis ZnO dan Stabilizer Gliserol. *Pentana*, 1(1): 41–51.