



## Karakterisasi Sifat Fisik Bioplastik Berbasis Pati Kulit Pisang Goroho dengan Penambahan ZnO

Devita Irawati Putri<sup>1</sup>, Mohamad Jahja<sup>1</sup>, Raghel Yunginger<sup>1</sup>, Muh. Fachrul Latief<sup>1</sup>, dan Andi Indra Wulan Sari Ramadani<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo

Email: [indra@ung.ac.id](mailto:indra@ung.ac.id)

\*Corresponding Author

---

### Abstrak

Cara yang efektif untuk mengatasi masalah sampah plastik adalah dengan meminimalkan penggunaan plastik yang tidak dapat terurai. Salah satu pendekatannya adalah dengan mengembangkan kemasan plastik *biodegradable* yang ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan pati kulit pisang Goroho, jenis pisang ini digunakan karena memiliki potensi yang baik dengan kandungan pati sebanyak 80,89%. Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi ZnO 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% w/w. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat fisik bioplastik dengan penambahan ZnO. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium melalui beberapa proses yaitu ekstraksi pati kulit pisang goroho dan pembuatan bioplastik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berbagai konsentrasi ZnO secara signifikan mempengaruhi sifat fisik dan biodegradasi produk bioplastik. Sifat fisik dari bioplastik yang dihasilkan telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk *water uptake* 21,5% dan biodegradasi 60 hari. Hasil FTIR menunjukkan gugus fungsi bioplastik identik dengan gugus fungsi penyusunnya yaitu pati, sehingga sifatnya menyerupai sifat penyusunnya yang mudah terdegradasi. Bioplastik paling optimum adalah BPZ 2 dengan penambahan ZnO sebesar 2% w/w yang menghasilkan *water uptake* 1,859%, waktu terdegradasi 12 hari.

**Kata kunci:** Biodegradabilitas, Bioplastik, Goroho, Pati, ZnO.

### Abstract

*An effective way to address the plastic waste problem is by minimizing the use of non-biodegradable plastics. One approach is to develop biodegradable plastic packaging that is environmentally friendly. This research used Goroho banana peel starch, this type of banana is used because it has good potential with a starch content of 80.89%. In this research, variations in ZnO concentration of 1%, 2%, 3%, 4%, and 5% w/w were conducted. This research aims to determine the characteristics of physical properties of bioplastics with the addition of ZnO. This research uses a laboratory experimental method through several processes, namely goroho banana peel starch extraction and bioplastic manufacturing. The results indicated that varying concentrations of ZnO significantly influenced the physical and biodegradation properties of the bioplastic products. The physical properties of the bioplastics produced have met the Indonesian National Standard (SNI) for water uptake of 21.5% and biodegradation of 60 days. FTIR results show that the functional groups of bioplastics are identical to the constituent functional groups, namely starch, so that their properties*

*resemble the properties of their constituents, which are easily degraded. The most optimum bioplastic is BPZ 2 with the addition of ZnO at 2% w/w, which produces water uptake of 1.859% and degradation time of 12 days.*

**Keywords:** Biodegradability, Bioplastic, Goroho, Starch, ZnO.

---

## 1. PENDAHULUAN

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2023 melaporkan bahwa timbulan sampah di Indonesia mencapai 38 Juta ton dengan kontribusi 7,3 juta ton berasal dari sampah plastik [1]. Selain itu, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) melaporkan setiap tahun setidaknya 17 kg per kapita sampah plastik digunakan oleh penduduk Indonesia dengan 6-7% per tahun penggunaan plastik meningkat. Salah satu produk plastik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah plastik kemasan. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara terbesar kedua di dunia yang mengkonsumsi plastik. Padahal plastik sendiri memiliki karakteristik yang sulit terurai sehingga berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan [2] dan dapat berakibat buruk bagi kesehatan manusia.

Upaya mengatasi permasalahan mengenai sampah plastik yang terjadi ini sudah banyak ditawarkan solusi alternatifnya oleh beberapa peneliti sebelumnya. Misalnya, *ecobrick* [3] dan mendaur ulang limbah plastik menjadi kerajinan tangan [4]. Selain itu, Dinas Kehutanan dan Lingkungan Hidup Provinsi Bali pada tahun 2018 telah mengeluarkan pedoman teknis pembatasan timbulan sampah plastik sekali pakai. Sayangnya kebijakan-kebijakan ini tidak terlalu efektif dalam menekan penggunaan kantong plastik [5]. Untuk menyelesaikan permasalahan sampah plastik ini harus dimulai dari upaya meminimalisir penggunaan sampah plastik yang sulit terurai. Salah satunya adalah dengan memproduksi plastik kemasan ramah lingkungan yang bersifat mudah terurai (*biodegradable*).

Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan terkait potensi pembuatan bioplastik dari bahan alam, misalnya dari pati singkong [6], biji durian [7], tepung jagung [8], ampas tebu [9], pati biji alpukat [10] dan lain-lain. Hal ini menunjukkan bahwa potensi pembuatan bioplastik dari pati itu besar. Salah satu sumber pati yang dapat digunakan adalah kulit pisang goroho. Pisang Goroho merupakan varietas lokal Provinsi Gorontalo dimana pada tahun 2020 Badan Pusat Statistik melaporkan bahwa produksi pisang di Provinsi Gorontalo mencapai 13.166 ton [11]. Pisang Goroho yang berubah warna menjadi hijau kehitaman dengan tekstur daging buahnya menjadi lembek setelah 4-5 hari membuat pisang ini hanya diolah dalam bentuk yang terbatas dan menyebabkan tingginya limbah kulit pisang yang dihasilkan. Padahal pisang goroho memiliki jumlah kandungan pati yang melimpah yaitu sebanyak 80,89% [12], jumlah yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan pati dari jagung 44%-59% [13] dan pati dari kentang 22%-28% [14]. Kandungan pati yang tinggi ini menjadikan kulit pisang goroho menunjukkan potensi bisa dimanfaatkan untuk pembuatan bioplastik ramah lingkungan.

Ada beberapa sifat yang dipersyaratkan untuk membuat plastik kemasan yang fungsional, diantaranya memiliki kemampuan *water resistant* yang baik, *biodegradable* dan salah satu karakteristik yang paling diminati akhir-akhir ini adalah plastik kemasan yang memiliki karakteristik antibakteri [15]. Bioplastik antibakterial memiliki potensi untuk

digunakan sebagai kemasan makanan karena memiliki sifat yang dapat terurai secara alami dan juga menghambat pertumbuhan bakteri [16]. Beberapa peneliti sebelumnya telah melaporkan penambahan agen antibakterial diantaranya, yaitu daun kelor [2], ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Diantara kedua agen antibakterial ini penambahan ZnO pada bioplastik memiliki kuat tarik serta aktivitas antimikroba yang lebih baik dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> [17]. Atas dasar pertimbangan tersebut, penelitian ini akan mengkaji terkait bagaimana sifat fisik yakni biodegradabilitas dan *water uptake* (daya serap air) dari bioplastik berbasis pati kulit pisang goroho dengan penambahan ZnO sebagai agen antibakterial.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan mengekstraksi pati dari kulit pisang goroho dengan mengadaptasi prosedur dari penelitian sebelumnya [18]. Pati yang telah diekstrak dari kulit pisang goroho selanjutnya ditimbang dan digunakan sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik. Pada penelitian ini, ZnO divariasikan menjadi 5 bagian, yaitu (1%, 2%, 3%, 4%, 5%) dari berat pati (w/w). Selanjutnya kelima sampel tersebut ditambahkan komposisi pati 2 gr dan aquades sebanyak 40 mL. Lakukan pencampuran pada semua bahan yang telah disiapkan dan masukkan pada gelas ukur dengan 5 sampel yang berbeda. Setelah itu, masing-masing sampel dipanaskan dan diaduk menggunakan *hotplate magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 120°C. Setelah 30 menit, gliserol sebanyak 3 mL ditambahkan pada larutan dan di *stirrer* selama 2 jam. Selanjutnya, masing-masing larutan dicetak dengan metode *gel casting* pada cetakan, lalu dioven selama 15 jam pada suhu 50°C. Setelah selesai dioven sampel didiamkan dalam temperatur ruangan hingga bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan. Sampel yang telah siap selanjutnya dipotong sesuai dengan ukuran standar pengujian.

Proses uji *water uptake* dilaksanakan dengan memotong sampel ukuran 2x2 cm, lalu sampel ditimbang untuk mengetahui berat awalnya ( $W_0$ ), Sampel yang telah ditimbang berat awalnya dimasukkan ke dalam dalam *beaker glass* 100 mL yang telah diisi aquades sebanyak 20 mL dan rendam selama 24 jam. Setelah itu, sampel diangkat dan permukaan plastik yang masih terdapat air dapat dihilangkan dengan menggunakan tisu, lalu sampel kembali ditimbang untuk mengetahui berat akhir sampel ( $W$ ). Setelah itu, melakukan perhitungan persen penyerapan air (%A) [19].

$$\%A = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

Pengujian biodegradabilitas dilakukan dengan menggunakan metode *soil burial test*. Bioplastik dipotong dengan ukuran 3 cm × 3 cm. Kemudian sampel dikubur ke dalam tanah sedalam 10 cm. sampel dicek setiap hari hingga terdegradasi seluruhnya [20].

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil pengujian *water uptake* yang ditampilkan pada tabel 1, bioplastik tanpa ZnO dan dengan penambahan ZnO yang bervariasi menunjukkan kemampuan penyerapan air yang berbeda. Semakin rendah persentase *water uptake* maka

semakin baik kualitas dari plastik karena lebih tahan terhadap air, sedangkan persentase *water uptake* yang semakin tinggi menjadikan plastik lebih mudah rusak [6]. Sampel BP yang merupakan bioplastik berbasis pati tanpa tambahan ZnO menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari BPZ 1, BPZ 2, BPZ 3 dan BPZ 5, namun lebih rendah dari BPZ 4. Selain itu, sampel BPZ 4 dengan penambahan ZnO 4% w/w memiliki nilai serapan air tertinggi 8,906% dan sampel BPZ 2 dengan penambahan ZnO 2% w/w memiliki nilai serapan air terendah 1,859%.

Nilai *water uptake* dari semua produk bioplastik menghasilkan rentang nilai 1,859-8,906%, lebih rendah jika dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk bioplastik mudah terurai, yang memiliki nilai serapan air 21,5% [21]. Ini menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan memiliki kualitas *water uptake* yang baik karena telah memenuhi SNI. Hal ini juga menunjukkan hasil penyerapan air dari bioplastik yang dihasilkan lebih baik dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya untuk bioplastik berbasis pati dengan penambahan ZnO. ZnO 10% w/w menunjukkan *water uptake* sebesar 32,25% [21], ZnO 1% w/w menunjukkan *water uptake* sebesar 47,8% [22] dan ZnO 1% w/w menunjukkan *water uptake* sebesar 4,1% [23]. Sehingga menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik karena lebih tahan terhadap air.

**Tabel 1.** Hasil uji *water uptake*

Parameter	Bioplastik dari Pati Kulit Pisang Goroho dengan Variasi Konsentrasi ZnO					
	0%	1%	2%	3%	4%	5%
<i>Water uptake</i> (%)	7,305	2,989	1,859	5,977	8,906	3,898

Uji biodegradabilitas adalah proses pengujian yang dilakukan untuk mengetahui berapa lama bioplastik komposit yang dibuat akan terurai di lingkungan. Tabel 2 menunjukkan gambar kemampuan degradasi bioplastik berbasis pati dengan penambahan ZnO yang bervariasi selama dua pekan. Hasil ini menunjukkan bahwa secara umum, seluruh sampel menunjukkan kemampuan terdegradasi dalam jangka 2 pekan. Pada hari ke-14 hanya sampel BPZ 3 yang belum terdegradasi seluruhnya sedangkan BPZ 5 terurai pada hari ke-9, BPZ 2 dan BPZ 4 terurai pada hari ke-12, BPZ 1 terurai pada hari ke-13, dan BPZ 3 baru terurai secara sempurna pada hari ke-16. Hal ini menunjukkan bahwa sampel yang memiliki sifat biodegradabilitas paling tinggi adalah BPZ 5 dengan ZnO 5% w/w dan sampel yang memiliki sifat biodegradabilitas paling rendah adalah BPZ 3 dengan ZnO 3% w/w.

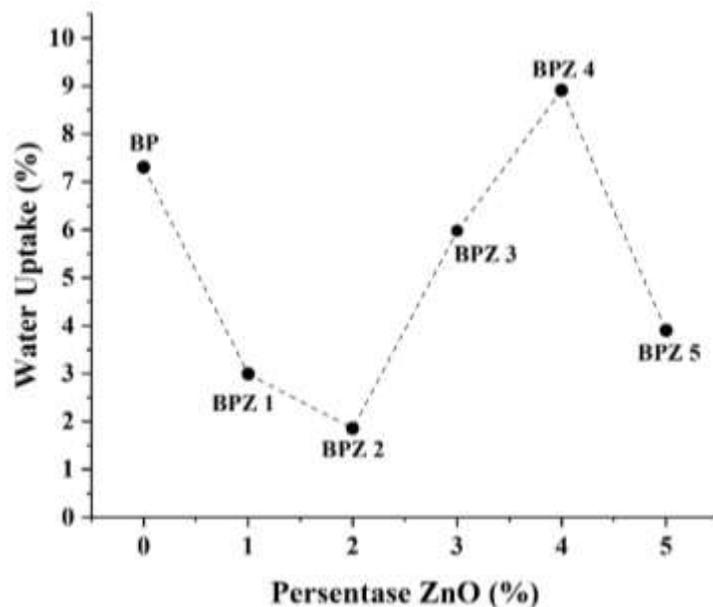
Menurut Standar Nasional Indonesia No. 7188.1:2016, bioplastik disebut memiliki kualitas yang baik jika dapat terurai secara keseluruhan dalam waktu 60 hari [21]. Ini menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan memiliki sifat biodegradabilitas yang baik karena telah memenuhi SNI. Hal ini juga menunjukkan biodegradasi dari bioplastik yang dihasilkan lebih baik dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya untuk bioplastik berbasis pati. Pada bioplastik berbasis pati kulit pisang menunjukkan lama degradasi 44 hari [24], bioplastik berbasis pati kulit pisang kepok menunjukkan lama degradasi 20 hari [25].

Sementara itu, salah satu bioplastik yang telah diproduksi massal adalah *Telobag* yang memerlukan waktu sekitar 180 hari untuk terurai [26].

**Tabel 2.** Hasil uji *biodegradable*

Hari Ke-	Gambar
0	
5	
10	
15	

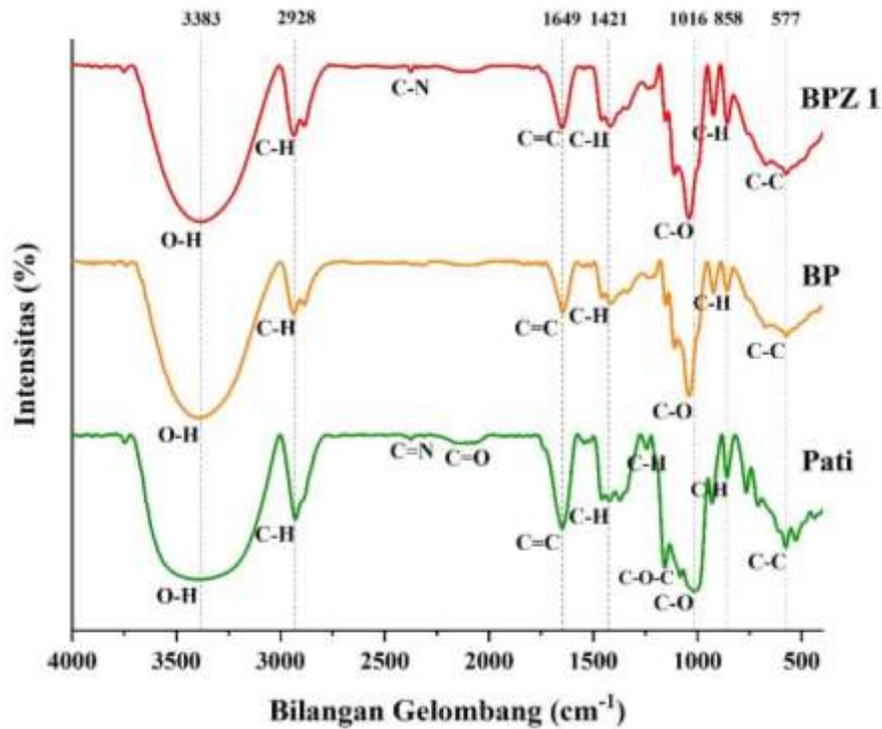
Pengujian sifat fisik dilakukan untuk melihat bagaimana kualitas bioplastik jika dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Mengacu pada SNI untuk *water uptake* bioplastik maksimal sebesar 21,5%. Hasil uji *water uptake* dari bioplastik diharapkan seminimal mungkin, karena semakin kecil *water uptake* maka semakin baik kualitas dari bioplastik. Hasil pengujian menunjukkan bioplastik yang dihasilkan sudah memenuhi standar pada SNI. Gambar 1 menunjukkan grafik hasil uji *water uptake* bioplastik. Secara garis besar, jika dibandingkan dengan bioplastik tanpa penambahan ZnO (BP), penambahan ZnO pada bioplastik terbukti berpengaruh untuk menurunkan *water uptake* dari bioplastik. Hal ini menunjukkan bahwa ZnO mampu menutupi pori sehingga dapat mengurangi porositas dari bioplastik, karena penambahan ZnO berperan sebagai *filler* yang mengisi kekosongan diantara pati. Namun di lain pihak, BPZ 4 menunjukkan bahwa walaupun dilakukan penambahan ZnO 4% w/w tetap tidak secara maksimal mengisi kekosongan diantara pati tersebut disebabkan oleh ZnO yang tidak merata (tidak homogen). Ketidakhomogenan tersebut disebabkan pada saat sintesis bahan-bahan pembuat bioplastik tidak tercampur dengan baik.



**Gambar 1.** Grafik hasil uji *water uptake* bioplastik

Bioplastik yang dihasilkan membentuk gugus fungsi seperti hidroksil (O-H) dan karboksil (C-O). Kedua gugus fungsi tersebut mempunyai sifat hidrofilik. Hidrofilik adalah suatu sifat yang mampu menyerap dan menerima air, sehingga molekul air dapat mengakibatkan mikroorganisme di lingkungan memasuki matriks bioplastik tersebut [21]. Hal tersebut mengindikasikan bahwa bioplastik dapat terdegradasi dengan baik di dalam tanah dan mudah terurai. Faktor suhu, kelembaban, mikroorganisme yang terlibat juga berpengaruh, tetapi tidak dilakukan pengujian pada penelitian ini. Tanah yang digunakan sebagai pembawa adalah tanah humus yang dihasilkan dari hasil dekomposisi sisa-sisa tumbuhan dan hewan sehingga dihuni oleh banyak bakteri pengurai. Bakteri menghasilkan enzim untuk memecah bioplastik, termasuk pati, dengan memecah rantai polimer menjadi monomer. Dalam proses ini, senyawa organik seperti asam amino, asam laktat, gula, alkohol, vitamin, protein, dan lainnya dapat diproduksi secara aman di lingkungan [27].

Sifat hidrofilik juga mempengaruhi *water uptake* bioplastik, karena kemampuan untuk degradasi berhubungan dengan kemampuan untuk menyerap air. Hal ini berarti film bioplastik akan lebih lama terdegradasi saat kandungan air pada suatu material semakin sedikit. Air merupakan media sebagian besar bakteri dan mikroba terutama yang ada didalam tanah. Sehingga kandungan air mengakibatkan plastik menjadi lebih mudah terdegradasi [28].



**Gambar 2.** Spektrum FTIR pati kulit pisang goroho, bioplastik berbasis pati dan BPZ 1

Gambar 2 menunjukkan bahwa sampel bioplastik yang telah disintesis memiliki bilangan gelombang yang mirip dengan bahan baku penyusunnya (pati kulit pisang goroho) dan tidak terbentuk gugus fungsi baru. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembuatan bioplastik merupakan proses pencampuran (*blending*) saja tanpa terjadinya reaksi pada bahan penyusunnya. Oleh karena itu, bioplastik yang dihasilkan merupakan komposit yang memiliki sifat yang menyerupai dengan pati sebagai bahan penyusunnya yang bersifat mudah terurai. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa biodegradabilitas suatu bioplastik sangat dipengaruhi oleh komposisi patinya [29]. Hal ini juga didukung oleh hasil uji biodegradasi sampel bioplastik yang menunjukkan rata-rata waktu degradasi sampel adalah dua pekan yang telah memenuhi syarat SNI untuk biodegradasi bioplastik yakni 60 hari.

**Tabel 3.** Analisis gugus fungsi sampel pati, bioplastik berbasis pati tanpa ZnO dan bioplastik berbasis pati dengan penambahan ZnO 1%

Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )			Rentang Absorpsi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Ikatan	Referensi
Pati	Bioplastik Pati	BPZ 1			
3383 $\text{cm}^{-1}$	3383 $\text{cm}^{-1}$	3381 $\text{cm}^{-1}$	3100-3700	O-H	
2928 $\text{cm}^{-1}$	2936 $\text{cm}^{-1}$	2936 $\text{cm}^{-1}$	2850-2950	C-H	[30]
1649 $\text{cm}^{-1}$	1647 $\text{cm}^{-1}$	1651 $\text{cm}^{-1}$	1500-1700	C=C	
1421 $\text{cm}^{-1}$	1418 $\text{cm}^{-1}$	1418 $\text{cm}^{-1}$	1410-1420	C-H	
1016 $\text{cm}^{-1}$	1040 $\text{cm}^{-1}$	1042 $\text{cm}^{-1}$	~1050	C-O	[31]

Adanya pergeseran puncak gugus fungsi juga ditunjukkan oleh Tabel 3. Untuk gugus *hydroxyl* (OH) mengalami sedikit pergeseran ke bilangan gelombang yang lebih rendah yaitu dari 3383  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 3381  $\text{cm}^{-1}$ . Adanya pergeseran ini mengindikasikan adanya peningkatan ikatan hidrogen antara ZnO dan gugus hidroksil pada pati, yang dapat meningkatkan kekuatan mekanik pada bioplastik akibat interaksi intermolekuler yang menguat [32].

#### 4. SIMPULAN

Penambahan ZnO pada bioplastik pati kulit pisang Goroho menunjukkan karakteristik sifat fisik dan sifat mekanik yang berbeda dibandingkan dengan bioplastik tanpa ZnO. Komposisi ZnO yang bervariasi menunjukkan sifat fisik dan mekanik yang bervariasi pula. Hasil pengujian *water uptake* menunjukkan rentang nilai 1,859-8,906% dan telah memenuhi standar pada SNI, yaitu 21,5%. Selain itu, bioplastik dengan sifat fisik paling optimal ditunjukkan oleh sampel BPZ 2 dengan komposisi ZnO 2% w/w. Selain itu, penambahan ZnO akan lebih efektif jika tercampur secara homogen dengan bahan-bahan lainnya.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] "SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional." Accessed: Nov. 28, 2024. [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [2] W. C. R. Mandala, E. Saepudin, and N. M. Nizado, "Effect of addition of antibacterial compound from kelor leaves extract (*Moringa oleifera* Lam) to foodborne pathogen bacteria activity on crosslinked bioplastic poly(vinyl alcohol)/starch," presented at the Proceedings of the 5th International Symposium on Current Progress in Mathematics

- and Sciences (ISCPMS2019), Depok, Indonesia, 2020, p. 040042. doi: 10.1063/5.0010360.
- [3] S. Suminto, "Ecobrick: solusi cerdas dan kreatif untuk mengatasi sampah plastik," *PRODUCTUM*, vol. 3, no. 1, p. 26, Oct. 2017, doi: 10.24821/productum.v3i1.1735.
- [4] M. A. N. Amin, D. Indriasih, and Y. Utami, "Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Kerajinan Tangan Bagi Ibu-Ibu PKK Desa Mejasem Barat, Kecamatan Keramat, Kabupaten Tegal," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara*, vol. 2, no. 1, pp. 35–41, Feb. 2022, doi: 10.35870/jpmn.v2i1.580.
- [5] N. Rahmi and S. Selvi, "Pemungutan Cukai Plastik Sebagai Upaya Pengurangan Sampah Plastik," *Jupasi*, vol. 2, no. 2, pp. 66–69, Apr. 2021, doi: 10.31334/jupasi.v2i2.1430.
- [6] S. Intandiana, A. H. Dawam, Y. R. Denny, and R. Firman, "Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Singkong dan Selulosa Mikrokristalin Terhadap Sifat mekanik dan Hidrofobisitas," *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, vol. 4, no. 2, pp. 185–194, 2019.
- [7] Sisnayati, S. Hatina, and A. Rahmi, "Pengaruh Aditif Bawang Putih Terhadap Karakteristik dan Biodegradasi Bioplastik dari Biji Durian," *Teknika*, vol. 6, no. 1, pp. 56–67, Aug. 2019, doi: 10.35449/teknika.v6i1.104.
- [8] C. L. Luchese, N. Sperotto, J. C. Spada, and I. C. Tessaro, "Effect of blueberry agro-industrial waste addition to corn starch-based films for the production of a pH-indicator film," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 104, pp. 11–18, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.149.
- [9] U. Kalsum, R. Robiah, and Y. Yokasari, "Pembuatan Bioplastik dari Ampas Tahu dan Ampas Tebu dengan Pengaruh Penambahan Gliserol dan Tepung Maizena," *jd*, vol. 5, no. 2, pp. 34–37, Sep. 2020, doi: 10.32502/jd.v5i2.3031.
- [10] M. Afif, N. Wijayati, and S. Mursiti, "Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol," *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 7, no. 2, pp. 102–109, 2018.
- [11] S. S. Djunu, "Kandungan NDF (Neutral Detergen Fiber), ADF (Acid Detergen Fiber) dan Tanin Kulit Pisang Goroho Fermentasi," *JJAS*, vol. 5, no. 1, pp. 104–109, Nov. 2022, doi: 10.35900/jjas.v5i1.16858.
- [12] N. R. Lasale, S. A. Liputo, and M. Limonu, "Karakteristik Fisik Dan Kimia Pati Resisten Pisang Goroho ( *Musa acuminata*,sp) Pada Berbagai Suhu Pengeringan," *Jambura Journal of Food Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 64–77, 2022.
- [13] R. A. Mudaffar, "Karakteristik Edible Film Dari Limbah Kulit Singkong Dengan Penambahan Kombinasi Plasticizer Serta Aplikasinya Pada Buah Nanas Terolah Minimal," *Journal TABARO Agriculture Science*, vol. 4, no. 2, pp. 473–483, 2020.
- [14] Sjamsiah, J. Saokani, and Lismawati, "Karakteristik Edible Film dari Pati Kentang (*Solanum Tuberosum* L.) dengan Penambahan Gliserol," *Al-Kimia*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2017, doi: 10.24252/al-kimia.v5i2.3932.

- [15] S. Shaikh, M. Yaqoob, and P. Aggarwal, "An overview of biodegradable packaging in food industry," *Current Research in Food Science*, vol. 4, pp. 503–520, 2021, doi: 10.1016/j.crfs.2021.07.005.
- [16] Y. E. Agustin and K. S. Padmawijaya, "Effect of Glycerol and Zinc Oxide Addition on Antibacterial Activity of Biodegradable Bioplastics from Chitosan-Kepok Banana Peel Starch," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 223, p. 012046, Jul. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/223/1/012046.
- [17] L. Suryanegara *et al.*, "Novel antimicrobial bioplastic based on PLA-chitosan by addition of TiO<sub>2</sub> and ZnO," *J Environ Health Sci Engineer*, vol. 19, no. 1, pp. 415–425, Jun. 2021, doi: 10.1007/s40201-021-00614-z.
- [18] C. M. Chandrasekar, H. Krishnamachari, S. Farris, and D. Romano, "Development and characterization of starch-based bioactive thermoplastic packaging films derived from banana peels," *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, vol. 5, p. 100328, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.carpta.2023.100328.
- [19] E. Permana, D. R. Gusti, I. L. Tarigan, Y. Andika, and A. C. Nirwana, "Sifat Fisik Bioplastik dari Pati Umbi Gadung dan Pelepah Sawit," *SCIENCE TECH*, vol. 7, no. 1, pp. 45–54, Jan. 2021, doi: 10.30738/jst.v7i1.9253.
- [20] A. R. Lubis, M. I. M. Lubis, and C. M. Rosnelly, "Pembuatan Plastik Biodegradable dari Limbah Kulit Pisang Raja Dengan Gliserol dan Minyak Sereh," *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*, vol. 1, no. 3, Art. no. 3, 2020.
- [21] Rahmatullah, R. W. Putri, M. Rendana, U. Waluyo, and T. Andrianto, "Effect of Plasticizer and Concentration on Characteristics of Bioplastic Based on Cellulose Acetate from Kapok (*Ceiba pentandra*) Fiber," *Sci.Technol.Indonesia*, vol. 7, no. 1, pp. 73–83, Jan. 2022, doi: 10.26554/sti.2022.7.1.73-83.
- [22] T. Hasna, C. A. Lestari, W. D. R. Putri, and V. Fathuroya, "The effect of ZnO (zinc oxide) and Glycerol Concentrations on the Mechanical Properties of Bioplastics Made from Canna Tuber (*Canna edulis*) Starch," *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 21–28, 2022.
- [23] C. Amni, Ismet, S. Aprilia, Mariana, and S. A. Akbar, "Mechanical Properties of Bioplastics Janeng Starch (*Dioscorea hispida*) Film with Glycerol and Zinc Oxide as Reinforcement," *RJC*, vol. 13, no. 1, pp. 275–281, 2020, doi: 10.31788/RJC.2020.1315492.
- [24] S. Aritonang, F. I. Rhomadon, A. K. H. Subiakto, and A. K. Nismarawati, "Pemanfaatan Limbah Biomassa sebagai Plastik Biodegradable yang Diaplikasikan pada Food Packaging Ransum TNI," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 7, no. 2, pp. 289–297, Jul. 2024.
- [25] Elisusanti, I. Illing, and M. N. Alam, "Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok/Selulosa Serbuk Kayu Gergaji," *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*, vol. 1, no. 1, pp. 14–19, 2020.
- [26] "Telobag ID." Accessed: Nov. 28, 2024. [Online]. Available: <https://telobagofficial.com/id/>

- [27] M. R. B. Saputra and E. Supriyo, "Pembuatan Plastik Biodegradable Menggunakan Pati dengan Penambahan Katalis ZnO dan Stabilizer Gliserol," *PENTANA*, vol. 01, no. 1, pp. 41–51, 2020.
- [28] M. Yunus and H. Zaini, "Sintesa Bioplastik Dengan Penambahan ZnO Sebagai Penguat Serta Minyak Atsiri Sebagai Anti Mikroba Untuk Kemasan Makanan Ringan," *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, vol. 5, no. 1, pp. 92–98, 2021.
- [29] Z. Guohua, L. Ya, F. Cuilan, Z. Min, Z. Caiqiong, and C. Zongdao, "Water Resistance, Mechanical Properties and Biodegradability of Methylated-Cornstarch/Poly(Vinyl Alcohol) Blend Film," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 91, no. 4, pp. 703–711, Apr. 2006, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.06.008.
- [30] M. O. Guerrero-Pérez and G. S. Patience, "Experimental Methods in Chemical Engineering: Fourier Transform Infrared Spectroscopy—FTIR," *Can J Chem Eng*, vol. 98, no. 1, pp. 25–33, Jan. 2020, doi: 10.1002/cjce.23664.
- [31] A. B. D. Nandiyanto, R. Oktiani, and R. Ragadhita, "How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material," *Indonesian J. Sci. Technol*, vol. 4, no. 1, pp. 97–118, Mar. 2019, doi: 10.17509/ijost.v4i1.15806.
- [32] U. Werapun, W. Werapun, and A. Phatthiya, "Characterization of composite bioplastic from Cassava starch with titanium dioxide and zinc oxide," *DJNB*, vol. 19, no. 1, pp. 275–282, Mar. 2024, doi: 10.15251/DJNB.2024.191.275.