

Potensi limbah pertanian: pemanfaatan kulit singkong dan serat daun nanas dalam pembuatan bioplastik ramah lingkungan

Al Aqib Anugerah Ramadhan, Hervianna Indira Kusuma Riandara, Harmiansyah

Program Studi Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung

Email: harmiansyah@tbs.itera.ac.id

ABSTRAK

Bahan pembuatan plastik sulit untuk terdegradasi secara alami. Permasalahan ini dapat berdampak pada lingkungan dan kesehatan tubuh. Masalah ini dapat diatasi dengan pemanfaatan limbah yang dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan plastik ramah lingkungan, seperti bahan limbah daun nanas dan kulit singkong. Peninjauan dilakukan untuk mengkaji potensi penggunaan limbah kulit singkong dan serat daun nanas dalam proses pembuatan bioplastik. Klasifikasi kandungan amilosa dan amilopektin pada pati, komposisi kimia pada selulosa serat daun nanas, dan metode ekstraksi telah ditinjau dan dilaporkan secara ekstensif. Selulosa daun nanas dan pati kulit singkong telah ditinjau dapat berpotensi sebagai bahan baku pengembangan bioplastik yang ramah lingkungan. Ulasan ini sangat tertarik pada proses sifat mekanik dan fisik pada bioplastik pati kulit singkong dan selulosa daun nanas. Hasil dari peninjauan ini untuk memberikan ringkasan tentang berbahan dasar kulit singkong dan daun nanas sebagai bahan pengganti pembuatan plastik.

Kata kunci: bioplastik, daun nanas, kulit singkong, limbah, plastik,

ABSTRACT

Plastic manufacturing materials are difficult to degrade naturally. This problem can have an impact on the environment and health. This problem can be overcome by utilizing waste that can be used as environmentally friendly plastic manufacturing materials, such as pineapple leaf and cassava peel waste. Review was carried out to examine the potential use of cassava peel waste and pineapple leaf fiber in the process of making bioplastic. Classification of amylose and amylopectin content in starch, chemical composition of pineapple leaf fiber cellulose, and extraction methods have been reviewed and reported extensively. Pineapple leaf cellulose and cassava peel starch have been reviewed as potential raw materials for developing environmentally friendly bioplastics. This review is very interested in the process of mechanical and physical properties of cassava peel starch and pineapple leaf cellulose bioplastics. The results of this review are to provide a summary of cassava peel and pineapple leaf based materials as substitute materials for making plastic.

Keywords: bioplastic, cassava peel, pineapple leaves, plastic, waste

1. PENDAHULUAN

Sampah plastik merupakan salah satu masalah lingkungan yang paling krusial. Plastik yang dihasilkan dari polimer berasal dari minyak bumi memiliki tingkat degradasi yang sulit di lingkungan [1]. Berdasarkan data yang diterbitkan oleh Sistem Informasi Pengelolaan Sampah (SIPSN), tercatat jumlah timbunan sampah nasional dari 113 kabupaten/kota mencapai angka 18 juta ton yang terdiri dari sampah plastik sebesar 18.4% [2]. Sampah plastik tidak akan langsung terdegradasi meskipun melalui proses pembakaran, namun akan terdegradasi menjadi partikel yang lebih kecil yang dikenal

sebagai *microplastic*. Zat sisa ini dapat menimbulkan bahaya jika mencemari tanah dan air, karena dapat menjadi racun saat terlarut dalam air dan akan terakumulasi dalam tubuh manusia [3].

Salah satu cara mengatasi permasalahan limbah plastik adalah dengan mengolah limbah pertanian menjadi bahan pembuatan bioplastik. Plastik yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme menjadi solusi untuk permasalahan pencemaran lingkungan [4][5]. Bioplastik dapat diolah dari sumber bahan alami yang dapat diperbaharui seperti mikrobiota, minyak nabati, dan pati [6]. Bioplastik berbahan dasar pati umumnya lebih mudah untuk diproduksi dan bahannya mudah untuk diperoleh. Pati sebagai bahan utama pembuatan bioplastik memiliki karakteristik cepat untuk terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga dalam penggunaannya tidak menimbulkan masalah bagi lingkungan [7].

Produksi singkong (*Manihot esculenta*) di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 19 juta ton dan 6.719.088 ton berasal dari hasil produksi Provinsi Lampung. Provinsi Lampung memiliki ketersediaan singkong yang sangat melimpah. Singkong memiliki limbah yaitu kulit singkong yang diperkirakan mencapai sekitar 16% dari total berat singkong. Hasil tersebut menunjukkan potensi untuk menghasilkan limbah kulit singkong berkelanjutan [8]. Kandungan karbohidrat yang tinggi, berkisar antara 72,49% hingga 85,99%, kulit singkong dapat dimanfaatkan sebagai matriks pati dalam pembuatan bioplastik [9].

Selulosa merupakan salah satu material penguat atau *filler* yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan komposit bioplastik. Selulosa dapat berasal dari sumber tanaman. Selulosa menjadi salah satu komponen utama dalam struktur dinding sel tumbuhan [10]. Selulosa memiliki beberapa keunggulan dalam penggunaannya yaitu sifat yang ramah lingkungan, kemudahan dalam proses pengolahan, dan kemampuannya dalam mendegradasi dengan waktu yang cepat [11]. Daun nanas merupakan limbah yang tidak digunakan lagi oleh industri pertanian setelah di panen, dengan menyumbang sekitar 90% dari total hasil panen. Namun, serat daun nanas memiliki kandungan selulosa yang sangat tinggi sebesar 69,5-71,5% [12]. Kandungan ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi bioplastik yang ramah lingkungan. Penambahan selulosa daun nanas juga dapat berpotensi sebagai penguat untuk pembuatan bioplastik [13]. Oleh karena itu, jurnal ini mengkaji potensi penggunaan limbah kulit singkong dan serat daun nanas dalam proses pembuatan bioplastik dan menjelaskan karakteristik (fisik, mekanik, dan kimia), dan potensi penggunaan limbah pertanian berupa daun nanas dan kulit singkong terutama untuk bioplastik ramah lingkungan untuk meningkatkan keberlanjutan dan nilai ekonominya.

2. PEMBAHASAN

2.1 Potensi Limbah Kulit Singkong

Pati sebagai polimer alami yang diekstrak dari tanaman, memiliki potensi besar untuk menghasilkan material yang mudah terurai. Sifatnya yang ramah lingkungan, ketersediaannya yang melimpah, serta biaya yang relatif rendah menjadikan pati pilihan yang ideal dalam pengembangan bahan berkelanjutan [14]. Karakteristik granula seperti bentuk dan ukuran, merupakan identitas khas dari setiap jenis pati dan sering digunakan sebagai metode identifikasi. Karakteristik lainnya meliputi bentuk, keseragaman distribusi granula, lokasi hilum, serta struktur permukaan granula yang mendukung analisis rinci setiap jenis pati [15]. Pati umumnya terdiri dari tiga komponen utama, yaitu amilosa, amilopektin, serta komponen antara seperti protein dan lemak. Komposisi pati mencakup 15–30% amilosa, 70–85% amilopektin, dan sekitar 5–10% komponen tambahan lainnya [15]. Struktur dan jenis komponen dalam setiap sumber pati bervariasi sesuai karakteristik botani sumber patinya. Pati yang berasal dari biji-bijian memiliki kandungan bahan antara yang lebih tinggi dibandingkan pati yang bersumber dari batang maupun umbi [16].

Salah satu pati yang berpotensi adalah limbah kulit singkong. Kulit singkong menyumbang sekitar 0,5 hingga 2,0% dari total berat umbi sehingga limbah yang dihasilkan mencapai 2,4 hingga 4,8 juta ton setiap tahun [17]. Berdasarkan Tabel 1 kulit singkong mengandung amilosa 16,39-26% dan amilopektin 52,27-83,61% dengan total pati yang biasanya diperoleh sekitar 44-59% [18]. Kandungan pati yang tinggi dalam kulit singkong menjadikannya sebagai bahan yang potensial untuk pembuatan film bioplastik. Setiap kilogram singkong dapat menghasilkan sekitar 15-20% dari berat kulit umbi [19]. Data tersebut menunjukkan bahwa pati yang terdapat dalam kulit singkong memiliki potensi besar sebagai bahan baku untuk produksi bioplastik. Selain itu, kulit singkong juga mengandung berbagai komponen seperti tannin, enzim peroksida, glukosa, kalsium oksalat, serat, dan HCN. Tingginya kadar pati dalam kulit singkong memungkinkan penggunaannya sebagai film plastik yang dapat terdegradasi secara hayati [20]. Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai kesempatan untuk meningkatkan nilai kulit singkong sebagai bahan dasar dalam produksi kemasan plastik yang berkelanjutan. Namun, bioplastik yang dihasilkan dari pati masih menghadapi tantangan, yaitu rentan terhadap kerusakan dan memiliki sifat mekanik yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan tambahan bahan untuk mengatasi kelemahan yang ada pada bioplastik berbasis pati ini [21].

Tabel 1. Kandungan amilosa dan amilopektin dari kulit singkong [22-27]

No.	Amilosa (%)	Amilopektin (%)	Referensi
1	16.39	83.61	[22]
2	22-26	74-78	[23]
3	21.02	52.27	[24]
4	21.70	62.51	[25]
5	17	83	[26]
6	30,95	44,83	[27]

2.2 Potensi Pemanfaatan Serat Daun Nanas dalam Pembuatan Bioplastik

Serat umumnya terdiri atas tiga struktur utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin [28]. Beberapa hasil komposisi kimia penelitian terdahulu pada Tabel 1. Serat dengan jumlah selulosa sebesar 62,5-83% dapat dijadikan alternatif pengganti serat sintesis konvensional [29]. Namun, tinggi rendahnya persentase selulosa yang didapatkan disebabkan oleh bagian daun, jenis varietas yang digunakan, lokasi daerah pengambilan, dan metode yang digunakan dalam pengujian komposisi kimia [30].

Tabel 2. Komposisi kimia dari serat daun nanas [31-36]

No.	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Referensi
1	62.5	13.9	15.9	[31]
2	69.5-83	15-20	4.4-15.4	[32]
3	65	17	5	[33]
4	80	6-12	5-12	[34]
5	70-82	-	5-12	[35]
6	81.27	12.31	3.46	[36]

Kandungan selulosa serat daun nanas setara dengan serat selulosa rami [30]. Susunan rantai molekul memiliki kesamaan dengan serat selulosa kapas. Kandungan selulosa tipe I yang tinggi dan sudut mikrofibrilar yang relatif rendah dapat memberikan kekuatan mekanis yang besar. Serat daun nanas memiliki kualitas yang baik pada sifat mekanik nya, seperti modulus dan sifat kekuatan yang setara dengan serat kaca. Diameter dari serat daun nanas rata-rata 10 μm dengan panjang rata-rata 4,5 μm dan diameter serat dasar 25–34 μm [32].

2.3 Proses Pembuatan Bioplastik Berbasis Limbah Pertanian

2.3.1 Metode Ekstraksi Pati dari Kulit Singkong

Metode pembuatan pati kulit singkong dari penelitian terdahulu [27]. Proses awal pati murni dengan menimbang 1 kg singkong yang baru dipanen, kemudian kulit singkong dipisahkan dan dibersihkan dari kotoran. Perbandingan antara air dan kulit singkong adalah 1:1. Rendam kulit singkong didalam wadah yang berisikan air selama 3 jam. Proses selanjutnya pengeringan, kulit singkong yang telah kering dihancurkan menggunakan grinder hingga menjadi bubuk dan diayak dengan ayakan 120 mesh.

2.3.2 Proses Ekstraksi Selulosa dari Daun Nanas

Metode pembuatan selulosa dari daun nanas berasal dari penelitian terdahulu [31]. Proses awal pembuatan pulp. Serat daun nanas dipotong sepanjang 15 mm, kemudian diproses menggunakan digester dengan larutan NaOH 25% suhu 150°C selama 1 jam. Setelah selesai, serat dicuci menggunakan aquades hingga mencapai pH netral. Proses kedua *bleaching* menggunakan $\text{NaClO}_2:\text{CH}_3\text{COOH}$ (4:1) suhu 60°C dengan kecepatan 600 rpm selama 2 jam. Kemudian, dilanjutkan dengan perendaman larutan NaOH 5% suhu 50°C selama 4 jam. Serat yang telah diproses di sentrifugasi sampai pH netral. Proses selanjutnya hidrolisis asam dengan menggunakan HCl 3,5 M suhu 50°C selama 12 jam. Setelah selesai serat dicuci hingga pH 7 dan diikuti dengan hidrolisis kedua dengan HCl 7,5 M suhu 50°C semalaman. proses terakhir dicuci sampai pH netral.

2.3.3 Formulasi Bioplastik

Metode yang digunakan dalam proses pembuatan bioplastik dari penelitian terdahulu [37]. Larutkan PVA seberat 10 gram dengan 200 mL aquades dengan suhu 80°C dan kecepatan 500 rpm selama 2 jam. Rasio perbandingan yang digunakan dalam campuran pati dan selulosa adalah 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, dan 6:4 dengan tambahan 2 mL gliserol yang dilarutkan dengan 200 mL aquades pada suhu 70°C, kecepatan 300 rpm, dalam waktu 15 menit hingga mencapai gelatin. Rasio pada campuran pati-selulosa dengan PVA adalah 4:1. Proses ini dimasak pada suhu 70°C selama 10 menit hingga mencapai homogen. Hasil dicetak dalam cawan petri seberat 50 gram dan dikeringkan menggunakan oven selama 20 jam pada suhu 50°C.

2.4 Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik Berbasis Pati dengan Penambahan Selulosa

2.4.1 Bioplastik Berbasis Pati Kulit Singkong

Pati memiliki kelemahan sifat mekanik yang rendah dan mudah rusak [21]. Kelemahan ini membutuhkan bahan pengisi agar dapat meningkatkan sifat mekaniknya. Hasil penelitian sebelumnya pada Tabel 1. menunjukkan bahwa saat melakukan penambahan bahan pengisi dapat meningkatkan sifat mekanik dan mempercepat proses biodegradasi [38][39][26]. Namun, dalam proses pembuatan bioplastik dengan variasi jumlah pati kulit singkong dengan kitosan sebagai variabel tetap, terjadi penurunan sifat mekanik dan ketahanan air. Penurunan ini disebabkan oleh sifat hidrofilik dari pati [38]. Selain itu, disebabkan oleh adanya ikatan polimer pati yang terletak

diantara mekanisme ikatan polimer kitosan, sehingga interaksi yang terjadi antara rantai polimer kitosan mengalami penurunan [40]. Dalam peninjauan ini, bahan pengisi serat daun nanas belum diketahui sifat mekanik nya terhadap matriks pati kulit singkong, oleh sebab itu perlu diteliti untuk melihat potensi yang ada pada serat daun nanas sebagai bahan baku bioplastik.

Tabel 3. Bioplastik berbasis pati kulit singkong [27,38-39,41-42]

Pati	Material	Kekuatan Tarik (MPa)	Laju Biodegradasi	Referensi
Kulit singkong	Daun nanas	-	100% dalam 7 hari	[39]
	Kitosan	49,9342	69.11% dalam 14 hari	[38]
	Gliserol	5,82	100% dalam 28 hari	[41]
	Sekam padi/PVA/ZnO	37,38	71.02% dalam 11,62 hari	[27]
	Ampas Tebu	4,78	73,95% dalam 56 hari	[42]

2.4.2 Pengaruh Penambahan Serat Daun Nanas pada Bioplastik

Berdasarkan peninjaun dari penelitian sebelumnya pada Tabel 4, penggunaan pati pisang memiliki nilai kuat tarik sebesar 34,39 MPa. Saat penambahan serat daun nanas dengan variasi 0,5%;10%;20%;30% nilai kuat tarik meningkat sebesar (36,19; 37,74; 38,24; 41,26) MPa [43]. Hasil penelitian lainnya saat penambahan serat daun nanas pada film pati jagung-kitosan (65:35) meningkat nilai kuat tarik nya, dari variasi serat 6% sebesar 50 MPa hingga variasi serat 9% sebesar 51,659 MPa [44]. Peningkatan nilai kuat tarik diiringi dengan pertambahan jumlah variasi serat daun nanas yang ditambahkan kedalam proses pembuatan bioplastik. Proses ini dapat terjadi oleh terbentuknya ikatan hidrogen antara gugus karboksil (COOH) dan gugus hidroksil (O–H) pada selulosa, serta gugus hidroksil (O–H) yang terdapat pada pati [27].

Tabel 4. Bioplastik berbasis pati dengan penambahan serat daun nanas [39, 43-45]

Selulosa	Matriks	Kekuatan Tarik (MPa)	Laju Biodegradasi	Referensi
Daun Nanas (PALF)	Kulit singkong	-	100% dalam 7 hari	[39]
	Singkong	13.24	33,33% dalam 7 hari	[45]
	Jagung/kitosan	51,659	>80% dalam 28 hari	[44]
	Pisang	41.26	-	[43]

2.5 Prospek Pengembangan dan Tantangan

Pengembangan bioplastik berbahan dasar kulit singkong dan serat daun nanas menghadapi tantangan signifikan dalam produksi skala besar. Meskipun kedua bahan ini berasal dari limbah pertanian yang melimpah, hambatan utama terletak pada biaya produksi yang relatif tinggi dan kesulitan teknis dalam menjaga kualitas produk bioplastik pada volume produksi yang lebih besar. Selain itu, infrastruktur yang diperlukan untuk pengolahan material ini ke dalam bentuk bioplastik yang konsisten dan dapat diandalkan masih terbatas. Proses pengolahan yang melibatkan ekstraksi dan pencampuran serat daun nanas dengan pati singkong juga memerlukan teknik yang lebih efisien untuk dapat bersaing dengan plastik konvensional.

Waktu masa yang mendatang, potensi pengembangan bioplastik berbasis kulit singkong dan serat daun nanas sangat menjanjikan. Penelitian lebih lanjut dapat berfokus pada optimalisasi

formulasi bioplastik dengan bahan tambahan yang lebih ramah lingkungan, seperti aditif *biodegradable* yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan air bioplastik. Selain itu, pengembangan teknologi pemrosesan yang lebih efisien dan hemat energi menjadi hal penting untuk mengatasi tantangan dalam skala industri. Teknologi ini dapat mencakup mesin pengolahan otomatis yang mampu mengintegrasikan proses ekstraksi, pencampuran, dan pencetakan bioplastik secara bersamaan.

Aplikasi komersial bioplastik dari limbah pertanian juga memiliki prospek yang cerah, terutama di industri kemasan makanan dan pertanian. Dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap keberlanjutan lingkungan, produk bioplastik ini dapat menjadi alternatif yang menarik bagi plastik berbasis minyak bumi. Untuk mencapai skala industri, dibutuhkan kolaborasi yang erat antara peneliti, industri, dan pemerintah untuk mendukung investasi dalam teknologi dan infrastruktur, serta mendorong regulasi yang mendukung penggunaan bahan-bahan ramah lingkungan.

3. KESIMPULAN

Pemanfaatan limbah pertanian, seperti kulit singkong dan serat daun nanas, menunjukkan potensi besar dalam pengembangan bioplastik yang ramah lingkungan. Pati dari kulit singkong, dengan kandungan amilosa dan amilopektin yang proporsional, serta selulosa dari serat daun nanas yang memiliki kekuatan mekanik tinggi, dapat menghasilkan bioplastik yang mudah terurai dan tahan lama. Proses ekstraksi dan pencampuran yang melibatkan penggunaan gliserol dan sorbitol sebagai *plasticizer* dapat meningkatkan fleksibilitas produk bioplastik. Meskipun demikian, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan komposisi material serta dukungan infrastruktur guna memungkinkan penerapan bioplastik ini pada skala industri. Dengan demikian, bioplastik dari bahan baku alami ini berpotensi menjadi alternatif berkelanjutan dalam mengurangi ketergantungan terhadap plastik konvensional.

Daftar Pustaka

- [1] M. Ravi, B. Saputra, and E. Supriyo, "Pembuatan Plastik Biodegradable Zno Dan Stabilizer Gliserol," vol. 01, no. 1, pp. 41–51, 2020.
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah," Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [3] Sabrina and D. L. Setyowati, "Pelatihan Pembuatan Ecobrick Pada Anak-Anak di Kelurahan Air Hitam , Samarinda," *Pros. Semin. Nas. Hi-Tech (Humanity, Heal. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 532–541, 2022.
- [4] T. Muharam, D. Fitriani, D. Fataya Miftahul Jannah, M. Zidan Al Ghifari, and R. Pasonang Sihombing, "Karakteristik Daya Serap Air Dan Biodegradabilitas Pada Bioplastik Berbasis Pati Singkong Dengan Penambahan Polyvinyl Alcohol," *Pros. Snast*, no. November, pp. D35–49, 2022, doi: 10.34151/prosidingsnast.v8i1.4152.
- [5] A. D. Masahid, N. Aniza Aprillia, Y. Witono, and L. Azkiyah, "Karakteristik Fisik Dan Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Pati Singkong Dengan Penambahan Whey Keju Dan Plastisiser Gliserol," *J. Teknol. Pertan.*, vol. 24, no. 1, pp. 23–34, 2023, doi: 10.21776/ub.jtp.2023.024.01.3.
- [6] A. Melani, N. Herawati, and A. F. Kurniawan, "Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Intercalation (Kajian Pengaruh Jenis Filler, Konsentrasi Filler dan Jenis Plasticiezer)," *Distilasi*, vol. 2, no. 2, pp. 53–67, 2017.
- [7] E. Manekinga, H. F. Sangiana, and S. H. J. Tongkukut, "Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik

- Berbahan Dasar Biomassa dengan Plasticizer Gliserol," *J. MIPA*, vol. 9, no. 1, pp. 23–27, 2022, doi: 10.1155/2022/7314694.
- [8] M. Siswinarti, P. B. Pramono, and M. H. Septian, "Pemanfaatan Mikroorganisme Lokal (Mol) Terhadap Kadar Asam Laktat, Nilai pH, Bahan Kering, dan Nilai Fleigh Fermentasi Anaerob Kulit Singkong (*Manihot esculenta*)," *J. Ilm. Peternak. Terpadu*, vol. 11, no. 1, pp. 51–64, 2023, doi: <https://dx.doi.org/10.23960/jipt.v11i1.p51-64>.
 - [9] O. Indriyati *et al.*, "Pengolahan Limbah Kulit Singkong Sebagai Upaya Mengurangi Pencemaran Lingkungan," *J. Pengolah. Pangan*, vol. 7, no. 1, pp. 33–37, 2022, doi: 10.31970/pangan.v7i1.64.
 - [10] A. G. Aditama and H. Ardhyanta, "Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara: Analisis FTIR," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 2337–3539, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.24098.
 - [11] E. Kamsiati, H. Herawati, and E. Y. Purwani, "The Development Potential of Sago and Cassava Starch-Based Biodegradable Plastic in Indonesia," *J. Penelit. dan Pengemb. Pertan.*, vol. 36, no. 2, pp. 67–76, 2017, doi: 10.21082/jp3.v36n2.2017.p67-76.
 - [12] M. Natalia, W. Hazrifawati, and D. R. Wicakso, "Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (*Ananas Comosus*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Plastik Biodegradable," *EnviroScienteeae*, vol. 15, no. 3, pp. 357–364, 2019, doi: 10.20527/es.v15i3.7428.
 - [13] Zulferiyenni, M. Melvina Putri, Suharyono, and F. Nurainy, "Formulasi Gliserol Dan Cmc Dalam Pembuatan Biodegradable Film Berbasis Selulosa Daun Nanas (*Ananas Comosus*)," *J. Agroindustri Berkelanjutan*, vol. 2, no. 2, pp. 274–283, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jab.v2i2.8029>.
 - [14] Z. Zaenab, N. Sasria, and M. P. D. Lubis, "Pengaruh CarboxyMethyl Cellulose Terhadap Sifat Bioplastik Berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Plasticizer Gliserol," *J. Chem.*, vol. 11, no. 2, pp. 25–31, 2023, doi: 10.18860/al.v11i2.20389.
 - [15] A. Ämmälä, T. M. Pääkkönen, and M. Illikainen, "Role of screen plate design in the performance of a rotor impact mill in fine grinding of biomass," *Ind. Crops Prod.*, vol. 122, no. February, pp. 384–391, 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.06.021.
 - [16] Adrian, A. Z. Syaiful, Ridwan, and Hermawati, "Sakarifikasi Pati Ubi Jalar Putih Menjadi Gula Dekstrosa Secara Enzimatis," *Saintis*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2020.
 - [17] D. M. Dwi Pradana Putra, B. A. Harsojuwono, and A. Hartiati, "Studi Suhu Dan pH Gelatinisasi Pada Pembuatan Bioplastik Dari Pati Kulit Singkong," *J. Rekayasa Dan Manaj. Agroindustri*, vol. 7, no. 3, pp. 441–449, 2019, doi: 10.24843/jrma.2019.v07.i03.p11.
 - [18] A. Alfian, D. Wahyuningtyas, and P. D. Sukmawati, "Pembuatan Edible Film Dari Pati Kulit Singkong Menggunakan Plasticizer Sorbitol Dengan Asam Sitrat Sebagai Crosslinking Agent," *J. Inov. Proses*, vol. 5, no. 2, pp. 46–56, 2022.
 - [19] Fauzi Akbar, Zulisma Anita, and Hamidah Harahap, "Pengaruh Waktu Simpan Film Plastik Biodegradasi Dari Pati Kulit Singkong Terhadap Sifat Mekanikalnya," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 2, no. 2, pp. 11–15, 2013, doi: 10.32734/jtk.v2i2.1431.
 - [20] D. N. Wening and R. Amalia, "Optimasi kondisi operasi pembuatan plastik biodegradable dari selulosa tongkol jagung dan pati kulit singkong dengan penambahan PVA dan TiO2 sebagai smart packaging," *J. Rekayasa Proses*, vol. 17, no. 2, pp. 139–147, 2023, doi: 10.22146/jrekpros.77598.
 - [21] E. R. Danni, A. Hasan, and R. Junaidi, "Pengaruh Penambahan Filler dari Selulosa Tongkol Jagung dan Zink Oksida Pada Plastik Biodegradable," *J. Ilm. Sain dan Teknol.*, vol. 1, no. 3, pp. 92–100, 2023.

- [22] P. Fronza, A. L. R. Costa, A. S. Franca, and L. S. de Oliveira, "Extraction and Characterization of Starch from Cassava Peels," *Starch/Staerke*, vol. 75, no. 3–4, 2023, doi: 10.1002/star.202100245.
- [23] O. M. Abel, S. Chinelo, and R. Chidioka, "Enhancing Cassava Peels Starch as Feedstock for Biodegradable Plastic," *J. Mater. Environemntal Sci.*, vol. 12, no. 02, pp. 169–182, 2021.
- [24] W. Warkoyo, D. D. Siskawardani, A. A. P. Siwi, M. Wachid, I. Zekker, and J. Onthong, "Physical and Mechanical Characteristics of Edible Film Based on Lesser Yam Starch with Addition of Glycerol and Sodium Tripolyphosphate," *Sarhad J. Agric.*, vol. 37, no. 1, pp. 144–152, 2021, doi: 10.17582/journal.sja/2021.37.s1.144.15210.17582/journal.sja/2021.37.s1.144.152.
- [25] G. L. Utama, I. Dinika, S. Nurmilah, N. Masruchin, B. Nurhadi, and R. L. Balia, "Characterization of Antimicrobial Composite Edible Film Formulated from Fermented Cheese Whey and Cassava Peel Starch," *Membranes (Basel)*, vol. 12, no. 6, pp. 1–11, 2022, doi: 10.3390/membranes12060636.
- [26] Y. Zhang, J. Xie, W. O. Ellis, J. Li, W. O. Appaw, and B. K. Simpson, "Bioplastic films from cassava peels: Enzymatic transformation and film properties," *Ind. Crops Prod.*, vol. 213, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: 10.1016/j.indcrop.2024.118427.
- [27] Hendrawati, A. R. Liandi, H. Ahyar, I. Maladi, A. Azhari, and M. Cornelia, "The influence of the filler addition of rice husk cellulose, polyvinyl alcohol, and zinc oxide on the characteristics of environmentally friendly cassava biodegradable plastic," *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.1016/j.cscee.2023.100520.
- [28] L. C. Malucelli, L. G. Lacerda, M. Dziedzic, and M. A. da Silva Carvalho Filho, "Preparation, properties and future perspectives of nanocrystals from agro-industrial residues: a review of recent research," *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, vol. 16, no. 1, pp. 131–145, 2017, doi: 10.1007/s11157-017-9423-4.
- [29] J. C. Araújo, R. Figueiro, and D. P. Ferreira, "Protective multifunctional fibrous systems based on natural fibers and metal oxide nanoparticles," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 16, pp. 1–25, 2021, doi: 10.3390/polym13162654.
- [30] L. Brinchi, F. Cotana, E. Fortunati, and J. M. Kenny, "Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications," *Carbohydr. Polym.*, vol. 94, no. 1, pp. 154–169, 2013, doi: 10.1016/j.carbpol.2013.01.033.
- [31] M. Mahardika, H. Abrial, A. Kasim, S. Arief, and M. Asrofi, "Production of nanocellulose from pineapple leaf fibers via high-shear homogenization and ultrasonication," *Fibers*, vol. 6, no. 2, pp. 1–12, 2018, doi: 10.3390/fib6020028.
- [32] S. S. Todkar and S. A. Patil, "Review on mechanical properties evaluation of pineapple leaf fibre (PALF) reinforced polymer composites," *Compos. Part B Eng.*, vol. 174, no. 1, pp. 1–17, 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.106927.
- [33] A. Saha, S. Kumar, and A. Kumar, "Influence of pineapple leaf particulate on mechanical, thermal and biodegradation characteristics of pineapple leaf fiber reinforced polymer composite," *J. Polym. Res.*, vol. 28, no. 66, pp. 1–23, 2021, doi: 10.1007/s10965-021-02435-y.
- [34] E. W. Gaba, B. O. Asimeng, E. E. Kaufmann, S. K. Katu, E. J. Foster, and E. K. Tiburu, "Mechanical and structural characterization of pineapple leaf fiber," *Fibers*, vol. 9, no. 8, pp. 1–11, 2021, doi: 10.3390/fib9080051.
- [35] M. Sethupathi, M. V. Khumalo, S. J. Skosana, and S. Muniyasamy, "Recent Developments of Pineapple Leaf Fiber (PALF) Utilization in the Polymer Composites—A Review," *Separations*, vol. 11, no. 8, pp. 1–29, 2024, doi: 10.3390/separations11080245.

- [36] F. Fitriani *et al.*, "Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose isolated from pineapple crown leaf fiber agricultural wastes using acid hydrolysis," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 23, pp. 1–12, 2021, doi: 10.3390/polym13234188.
- [37] N. Autha, F. E. D. Siregar, Harmiansyah, M. Mahardika, and E. Nurfani, "Influence of kepok banana bunch as new cellulose source on thermal, mechanical, and biodegradability properties of Thai cassava starch/polyvinyl alcohol hybrid-based bioplastic," *Biopolymers*, vol. 114, no. 9, pp. 1–7, 2023, doi: 10.1002/bip.23560.
- [38] M. Syuhada, S. A. Sofa, and E. Sedyadi, "The Effect of Cassava Peel Starch Addition to Bioplastic Biodegradation Based On Chitosan On Soil and River Water Media," *Biol. Med. Nat. Prod. Chem.*, vol. 9, no. 1, pp. 7–13, 2020, doi: 10.14421/biomedich.2020.91.7-13.
- [39] I. Mufida and O. N. Sigirow, "Analisis Biodegradasi Dan Ketahanan Air Pada Plastik Biodegradable Dari Kulit Singkong Dengan Variasi Selulosa Serat Daun Nanas," *J. Food Secur. Agroindustry*, vol. 2, no. 2, pp. 61–68, 2024, doi: 10.58184/jfsa.v2i2.357.
- [40] A. N. C. Saputro and A. L. Ovita, "Synthesis and Characterization of Bioplastic from Chitosan-Ganyong Starch (*Canna edulis*)," *J. Kim. dan Pendidik. Kim.*, vol. 2, no. 1, pp. 13–21, 2017, doi: 10.20961/jkpk.v2i1.8526.
- [41] N. D. Z. Abidin, N. S. Azhar, M. N. Sarip, H. A. Hamid, and N. A. H. A. Nasir, "Production of bioplastic from cassava peel with different concentrations of glycerol and CaCO₃ as filler," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2332, no. 020004, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1063/5.0043482.
- [42] A. Fadilla, V. Amalia, and I. R. Wahyuni, "Pengaruh Selulosa Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) Sebagai Zat Pengisi Plastik Biodegradable berbasis Pati Kulit Singkong (*Manihot esculenta*)," *Semin. Nas. Kim. 2023 UIN Sunan Gunung Djati*, vol. 34, no. 1, pp. 69–80, 2023.
- [43] R. H. Aurelio *et al.*, "Functionality and characterization of modified starch films with pineapple leaf fibers," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 246, pp. 1–9, 2023, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125611.
- [44] I. Mutmainna, D. Tahir, P. L. Gareso, S. Ilyas, and A. Saludung, "Improving Degradation Ability of Composite Starch/Chitosan by Additional Pineapple Leaf Microfibers for Food Packaging Applications," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 593, no. 1, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/593/1/012024.
- [45] I. Amri, Khairani, and Irdoni, "Studi karakteristik sintesis bioplastik menggunakan bahan dasar ubi kayu dengan variasi penambahan selulosa nanas dan pengadukan," *Chempublish J.*, vol. 4, no. 2, pp. 62–70, 2019, doi: 10.22437/chp.v4i2.7649.