



Bioplastik dari Limbah Pelepah Sawit: Tinjauan Potensi dan Tantangan dalam Pengembangan Material Ramah Lingkungan

Siti Fadilah Sucaga¹, Sefrilita Risqi Adikaning Rani¹

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar
Jl. Paraikatte, Gowa (92113), Sulawesi Selatan, Indonesia

*E-mail korespondensi: sitifadilahsucaga@gmail.com

Article Info:

Received: 26-12-2024

Revised: 02-05-2025

Accepted: 05-05-2025

Keywords:

Consists of three to five words or phrases

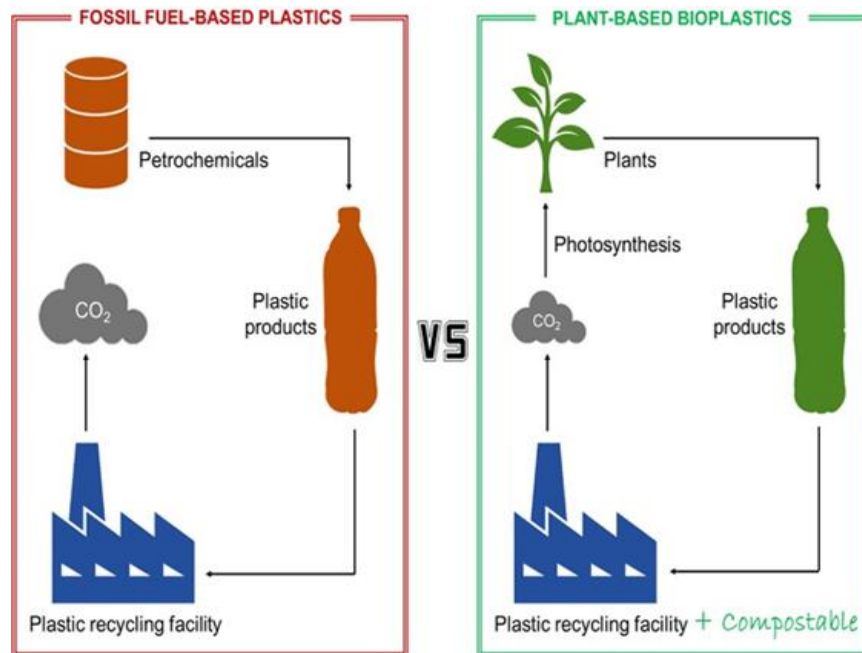


Abstract

Oil palm frond waste is a by-product of the palm oil industry that has great potential to be processed into bioplastics. This material can be used as an alternative to environmentally friendly plastics. This article presents a comprehensive review of the potential of oil palm frond waste-based bioplastics, including their physical, mechanical, and biodegradability characteristics. Various processing methods, such as extraction, modification, and blending with other polymers, are explored to improve the performance of bioplastics. The main components in oil palm fronds, such as cellulose, hemicellulose, and lignin, contribute to the performance of bioplastic materials. In addition, this article discusses the challenges faced in the development of bioplastics. The main challenges in the development of bioplastics include high production costs, variations in the quality of raw materials, and the need for further research to improve the performance of materials in practical applications. The results of this review are expected to provide insights for researchers and industries to further explore the potential of oil palm frond waste as a source of sustainable and environmentally friendly bioplastics.

PENDAHULUAN

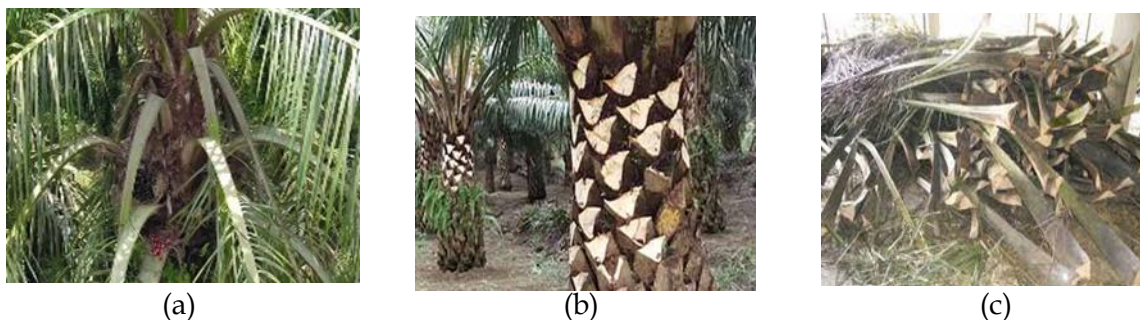
Kemasan plastik sekali pakai menjadi permasalahan dunia yang semakin berkembang, menurut hasil pengamatan Departemen Ilmu Lingkungan Universitas Aarhus pada tahun 2024, menyatakan bahwa, telah berlaku di beberapa negara mengenai larangan atau pemberhentian pajak secara unilateral pada kemasan yang berbau plastik sekali pakai [1]. Bioplastik menjadi salah satu jawaban sekaligus solusi untuk masalah yang telah ditimbulkan oleh plastik konvensional [2]. Beberapa lembaran bioplastik memiliki kandungan senyawa yang bersumber tanaman maupun limbah biologis lainnya, Bioplastik merupakan alternatif plastik konvensional dan memiliki sifat ramah lingkungan yang tinggi [3] dimana plastik ini umumnya tersusun atas senyawa selulosa yang didapatkan dari tumbuhan. Selulosa bisa terdegradasi dengan cepat sehingga tidak menimbulkan polusi plastik. Perbedaan hasil pemanfaatan plastik konvensional dan plastik ramah lingkungan diilustrasikan pada gambar 1, bioplastik membutuhkan waktu selama 3 - 6 bulan terurai secara sempurna, sedangkan plastik konvensional membutuhkan waktu berabad-abad untuk hancur. Selain itu, plastik konvensional juga mengeluarkan emisi gas rumah kaca selama proses terurainya, hal tersebut meningkatkan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pencemaran udara.



Gambar 1. Dampak lingkungan dari plastik berbahan bakar fosil dan bioplastik berbasis tanaman

Bioplastik yang bisa terurai menjadi solusi yang dapat mengurangi permasalahan lingkungan akibat tumpukan plastik dengan bahan dasar fosil. Pada proses degradasinya lembaran bioplastik yang mengalami penguraian secara alami dapat dilihat dengan hasil pengujian nilai pH yang ada pada bioplastik. Nilai pH akan mempengaruhi transformasi Karbon dan Nitrogen. Nilai rasio dari Karbon dan Nitrogen memberi keuntungan untuk proses degradasi. Sehingga secara alami dapat meminimalisir akumulasi limbah plastik yang mencemari lingkungan[1]. Alternatif yang lebih ramah lingkungan berupa produk bioplastik mulai menarik perhatian, terutama pada material yang berasal dari sumber daya terbarukan yang mampu terurai secara alami. Salah satu potensial untuk bioplastik adalah limbah pelepah sawit. Mengingat melimpahnya produk samping dari industri kelapa sawit di Indonesia dan negara penghasil sawit lainnya [4].

Dalam pembuatan lembaran bioplastik terbuat dari beberapa bagian tanaman seperti, limbah dari kulit buah nanas [5], pati umbi gadung [6], tandan kosong sawit [7], pati sagu [8], protein kacang polong [9], sabut kelapa [10] pelepah sawit [11] dan masih banyak lagi. Dari berbagai bahan alami yang pernah digunakan pelepah sawit memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi bioplastik karena kuberlimpahannya di Indonesia. Berdasarkan hasil riset tentang bioplastik, pemerintah membuat suatu program yang membantu para petani dalam melakukan peremajaan tanaman kelapa sawit. Pelepah sawit merupakan bagian yang cukup dominan pada tumbuhan sawit, hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. : (a) Perkembangan Pelepah Sawit (b) Proses Pemotongan Pelepah Sawit (c) Limbah Pelepah Sawit

Pelepah sawit pada gambar 2 diatas merupakan limbah dari hasil panen kelapa sawit yang terdapat kandungan selulosa didalamnya [12]. Selulosa adalah biopolimer yang sangat melimpah di alam, dan memiliki banyak manfaat, juga non toksik dan mudah terurai secara alami oleh mikroorganisme dilingkungan. Struktur dari permukaan nanokristal untuk partikel selulosa pada limbah pelepah sawit telah dianalisis melalui analisis SEM (Scanning Electron Microscopy) dan hasilnya menunjukkan bahwa nanokristal dari selulosa memiliki ukuran 79 nm [13]. Hal ini juga didukung dengan melimpahnya pelepah sawit yang siap untuk diolah. Pelepah sawit yang diolah menjadi serbukkan serat tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin [14]. Selulosa adalah bagian struktural utama pada dinding sel tumbuhan hijau. Kemampuan selulosa mudah terurai disebabkan oleh bakteri boiselulosa atau selulosa mikrobial. Dimana selulosa dan mikroba ini memiliki struktur kimia yang sama, dan dibedakan oleh sifat fisisnya masing-masing. Selulosa merupakan bagian dari biopolimer yang diperoleh dari hasil pengelolaan pertanian. Polimer tersebut memiliki sifat termoplastik jika diaplikasikan pada bahan dasar dari bioplastik, melalui hal ini maka selulosa dari limbah pelepah sawit berpotensi untuk menjadi lembaran kemasan plastik yang ramah lingkungan [15].

Berdasarkan beberapa literatur yang didapatkan, limbah pelepah sawit di teliti sebagai salah satu pendekatan inovatif yang ramah lingkungan, serta merupakan alternatif bahan dasar dari plastik konvensional. Pemanfaatan bioplastik berbasis limbah pelepah sawit menawarkan beberapa keunggulan yaitu limbah pelepah sawit merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki kandungan biomassa tinggi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian literature review dengan pendekatan kualitatif. Penelitian ini merangkum penelitian terdahulu mengenai pengembangan bioplastik dari limbah pelepah sawit. Sumber data berasal dari jurnal-jurnal ilmiah, artikel, buku dan sumber terpercaya lainnya yang diterbitkan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir. Proses pengumpulan data dilakukan dengan penelusuran literatur, seleksi literatur dan analisis literatur. Kajian ini berfokus pada analisis mendalam terhadap berbagai sumber pustaka yang relevan dengan topik bioplastik dari limbah pelepah sawit. Sumber-sumber tersebut meliputi: Jurnal Ilmiah: Artikel-artikel penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal ilmiah terakreditasi nasional dan internasional, yang membahas tentang bioplastik, material ramah lingkungan, pemanfaatan limbah pertanian (khususnya pelepah sawit), ekstraksi selulosa, proses pembuatan bioplastik, karakterisasi material, dan aspek-aspek terkait lainnya. Prosiding Konferensi: Makalah-makalah yang dipresentasikan dalam konferensi ilmiah dan dipublikasikan dalam prosiding, yang memberikan informasi terkini mengenai penelitian dan pengembangan bioplastik. Basis Data Online: Pemanfaatan basis data online seperti Scopus, Web of Science, Google Scholar, dan basis data lainnya untuk mengidentifikasi dan mengakses sumber-sumber literatur yang relevan.

Proses pengumpulan data dilakukan dengan penelusuran sistematis terhadap sumber-sumber literatur yang disebutkan di atas, dengan menggunakan kata kunci yang relevan seperti "bioplastik," "limbah pelepah sawit," "selulosa," "material ramah lingkungan," "biodegradable," "karakterisasi bioplastik," dan kombinasi kata kunci lainnya. Analisis data dilakukan secara kualitatif dengan metode analisis isi (content analysis). Tahapan analisis meliputi: Identifikasi dan Seleksi Literatur: Menyeleksi literatur yang relevan dengan topik penelitian berdasarkan judul, abstrak, dan kata kunci. Ekstraksi Data: Mengumpulkan informasi penting dari literatur yang terpilih, seperti konsep teoritis, metode penelitian, hasil penelitian, dan kesimpulan. Sintesis dan Interpretasi: Menganalisis dan menginterpretasi data yang terkumpul untuk mengidentifikasi tren, pola, dan kesenjangan dalam literatur. Penyusunan Tinjauan Literatur: Merangkum dan menyajikan temuan-temuan dari analisis literatur dalam bentuk tinjauan literatur yang komprehensif dan sistematis. Metode penelitian berisi tentang rancangan kegiatan penelitian, ruang lingkup atau objek, bahan dan alat utama, lokasi, teknik pengambilan data, teknik analisis data, definisi operasional variabel penelitian. Ketika menggunakan peralatan

karakterisasi atau alat uji mohon dicantumkan jenis alat/tipe alat/merk alat. Sedangkan jika menggunakan bahan kimia dituliskan asal bahan (jika bahan alam misal: "batu pasir dari Kota Pangkalpinang") atau merk/spesifikasi bahan, misal: HCl 37% (Merck).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bioplastik Limbah Serat Pelepah Sawit

Istilah "berbasis bio" merujuk pada material yang terbuat dari komponen dasar biomassa. Biomassa paling umum digunakan pada bioplastik yaitu, jagung, tebu, serta selulosa [16]. Bioplastik merupakan plastik polimer dengan sifat yang mudah terurai oleh mikroorganisme, bioplastik ini merupakan salah satu biopolimer mampu menjadi alternatif dari plastik konvensional, [16]. Bioplastik atau plastik ramah lingkungan dapat dilihat dari hasil pengolahan pada lembaran polimer yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian Melani (2017) diperoleh lembaran bioplastik dari bahan dasar bagian tumbuhan, yang mana mampu menghasilkan produk lumayan baik, bioplastik membutuhkan pengujian untuk sifat fisik maupun mekanik [17]. serta biodegradabilitas [18]. Sifat mekanik maupun sifat fisis pada bioplastik sangat penting untuk menentukan kualitas dari produk akhir dari lembaran bioplastik [19]. Karakteristik lembaran bioplastik berbahan dasar serat pelepah sawit dengan tambahan pati sagu sebagai polimer pengikat telah membuktikan sifat mekanik, seperti yang terlihat pada tabel 1 [16], bioplastik dengan menggunakan penambahan serat pelepah kelapa sawit menghasilkan kuat tarik sebesar 51,95 MPa. Hal ini membuktikan penggunaan serat pelepah sawit yang menghasilkan kualitas unggul [20].

Menurut Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit ada beragam biomassa dari tumbuhan sawit, termasuk di antaranya tandan buah kosong, serat buah, cangkang, batang pohon, pelepah serta limbah cair kelapa sawit. Dari semua biomassa sawit yang ada, sebanyak 70% merupakan pelepah pohon sawit, sedangkan tandan buah kosong mencapai 10% dan batang sawit mencapai 5%. Limbah pelepah sawit dengan potensi biomassa yang tinggi mendukung pengembangan polimer alami di bumi yang dapat diolah menjadi bioplastik. Selulosa dari pelepah sawit digunakan sebagai bahan baku bioplastik karena sifat mekanisnya yang baik, daya serap air rendah, serta nilai degradasi yang lebih tinggi dibandingkan plastik konvensional [22].

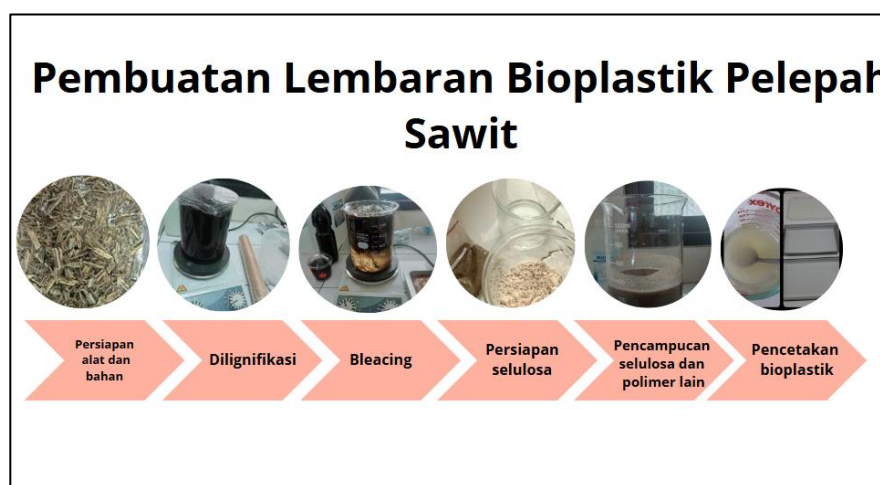
Bioplastik lainnya yang juga memanfaatkan limbah pelepah sawit telah dijelaskan hasil karakteristiknya, dimana dengan selulosa serat pelepah sawit menunjukkan persentase hidrofobisitas sebesar 60%, komposisi 6 gram: 15%. Ini menunjukkan bahwa bioplastik tersebut memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap air, yang penting untuk memperlambat kerusakan dan meningkatkan daya tahan produk. Bioplastik dari selulosa pelepah sawit menunjukkan tingkat degradabilitas sebesar 33%. Hal ini menunjukkan bahwa bioplastik tersebut dapat terurai secara alami dan merupakan salah satu keuntungan utama dibandingkan dengan plastik konvensional yang sulit terurai. Nilai uji kuat tarik menunjukkan bahwa bioplastik nilai kuat tarik terbaik, yaitu sebesar 10,336 MPa. Ini menunjukkan bahwa bioplastik memiliki kekuatan mekanik yang baik. Untuk Spektrum elongasi diperoleh melalui berbagai komposisi pencampuran antara selulosa pelepah sawit dan polimer pengikat yang mempengaruhi sifat elastisitas pada bioplastik, hal ini merupakan faktor penting untuk penggunaan kemasan [23].

Tabel 1. Hasil Uji Bioplastik Berbasis Pelepah Sawit

Bahan dasar bioplastik	Uji Tarik	Metode	Sifat Ramah Lingkung	Referensi
Bioplastik Berbasis Kitosan Pelepah Sawit	51,95 MPa	Pembuatan Pati, Penyediaan Larutan Kitosan, Penyediaan Serat Pelepah Sawit	Terdegradasi	Syafri, rahmadini, et al., 2021.

dan Pembuatan Bioplastik				
Pati Umbi Gadung Dan Pelepah sawit	10,336 MPa	Ekstraksi, Isolasi Selulosa dan Pembuatan Bioplastik	33%	E. Permana et al., 2021
Bioplastik berbasis Pelepah Sawit dan Maizena	8,96 MPa dengan perbandingan 4 : 2 : 1. 7,57 MPa dengan perbandingan 4 : 2 : 3.	Persiapan Bahan Baku, Delignifikasi, Bleaching, Pembuatan Selulosa Asetat dan Sintesis Bioplastik	91 %.	RAMADHAN, Ahmad, et al, 2018

Berdasarkan hasil analisis dari rangkuman beberapa penelitian pelepah sawit menghasilkan fermentasi ditinjau dari produksinya, dengan penambahan pelepah sawit menunjukkan sifat yang dapat meningkatkan kinerja mikroba dalam penguraian bahan. Plastik berbahan dasar serat pelepah sawit memiliki kerapatan berkisar 0,75 – 0,82 g/cm³, yang menunjukkan jenis komposit plastik baik. Keunggulan dari pelepah sawit juga memiliki nilai daya serap yang baik. Lembaran bioplastik yang berbahan dasar serat pelepah sawit membutuhkan pengikat yang dapat meningkatkan sifat mekanik dari lembaran bioplastik [14].



Gambar 3. Tahap pembuatan lembaran bioplastik dari pelepah sawit

Dalam pembuatan bioplastik Berbagai metode pengolahan, seperti ekstraksi, modifikasi, dan proses pencampuran dengan polimer lain. Sesuai dengan yang diilustrasikan pada gambar 3, dalam menghasilkan produk bioplastik maka ada 6 tahapan yang dilalui dalam pengolahan limbah pelepah sawit menjadi lembaran bioplastik diantaranya, persiapan bahan baku (limbah pelepah sawit), ketersediaan bahan baku ini dapat ditemukan dilingkungan sekitar sesuai yang dijelaskan sebelumnya bahwa tumbuhan sawit mengalami peningkatan dan salah satu yang menjadi bagian dominan dari tanaman tersebut adalah pelepah yang dihasilkan. Kemudian tahap delignifikasi, pada tahap ini memiliki tujuan untuk menghilangkan kandungan lignin pada limbah pelepah sawit agar mudah terurai jika telah menjadi lembaran kemasan bioplastik yang siap digunakan. Kemudian tahap bleaching, dalam proses pembuatan bioplastik dari pelepah kelapa sawit, terdapat tahap yang juga merupakan tahapan memutihkan dan menghilangkan kandungan lignin maupun kotoran lainnya yang ada pada limbah pelepah sawit, sehingga menghasilkan selulosa yang lebih murni, berkualitas dan dijadikan sebagai bahan

sintesis bioplastik. Selulosa yang telah dibersihkan kemudian melalui tahap pencampuran dengan polimer lain seperti pati yang dijadikan sebagai bahan perekat dalam pembuatan bioplastik. Kemudian proses pencetakan dimana, hasil pencampuran dari selulosa dan perekat akan dicetak pada cetakan *flekxi glass* dan dibiarkan dalam suhu ruang hingga menghasilkan lembaran bioplastik. Setelah proses pencetakan selesai, bioplastik yang dihasilkan diuji untuk mengevaluasi sifat fisik maupun mekanik yang ada pada bioplastik [18].

Selain dari proses pengolahan limbah pelepah sawit potensi peluang dari pemanfaatan limbah pelepah sawit ini, juga di tunjukkan pada hasil analisis gugus fungsi melalui tahap pengujian FTIR. Analisis FTIR pada kandungan selulosa pelepah sawit telah dilakukan oleh Nelson (2019), hasil dari Isolasi serat pelepah sawit telah berhasil dilakukan dan menghasilkan kadar α -Selulosa tertinggi 28,93% dan 90,23%. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan spektrum struktur α -selulosa [23] yang memiliki beberapa keuntungan yang signifikan untuk produk bioplastik[24], dengan menjadikannya bahan yang menarik dalam pengembangan bahan ramah lingkungan. Penggunaan bahan ini membantu mengurangi ketergantungan pada plastik berbasis fosil [25].

Tantangan Dalam Pengembangan Bioplastik dari Limbah Pelelepah Sawit

Pengembangan bioplastik dari limbah pelepah kelapa sawit menawarkan solusi ramah lingkungan untuk mengurangi ketergantungan pada plastik konvensional. Namun, terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam proses pengembangannya. Tantangan utama adalah biaya produksi yang masih relatif tinggi dibandingkan dengan plastik berbasis bahan bakar fosil. Ekstraksi selulosa dan pengolahan lignin membutuhkan teknologi yang canggih dan bahan kimia tertentu sehingga menyebabkan harga bioplastik mahal [24]. Pelepah sawit kaya akan selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioplastik. Namun, proses isolasi, pemurnian, dan modifikasi selulosa dari pelepah sawit memerlukan teknik yang tepat untuk menghasilkan bahan berkualitas tinggi [27].

Bioplastik yang dihasilkan harus memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan tarik dan elastisitas, serta sifat fisik seperti ketahanan terhadap air dan kemampuan biodegradasi. Penelitian yang mengkombinasikan pati umbi gadung dengan mikrofibril selulosa dari pelepah sawit menunjukkan bahwa komposisi tertentu dapat menghasilkan bioplastik dengan hidrofobisitas sebesar 60% dan tingkat degradasi 33% [26]. Meskipun penelitian laboratorium menunjukkan hasil yang menjanjikan, tantangan berikutnya adalah mengembangkan proses produksi dalam skala industri yang efisien dan ekonomis. Komersialisasi bioplastik menjadi semakin mendesak mengingat akumulasi sampah plastik yang terus meningkat dan dorongan untuk mengurangi penggunaan plastik konvensional [27].

untuk menurunkan biaya produksi dan meningkatkan skala ekonomi. Selain itu, variabilitas bahan baku juga menjadi kendala. Limbah pelepah sawit memiliki komposisi kimia yang bervariasi tergantung pada kondisi geografis, iklim, dan metode pengolahan. Variasi ini dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanis bioplastik yang dihasilkan, sehingga menimbulkan tantangan dalam memastikan kualitas yang baik. Tantangan lainnya adalah rendahnya tingkat kesadaran pemasaran dan kurangnya regulasi yang mendukung bioplastik. Meskipun masyarakat sadar akan pentingnya material ramah lingkungan, namun adopsi bioplastik secara luas masih sangat terbatas, terutama pada negara berkembang yang menjadikan biaya dan penyediaan material menjadi pertimbangan utama.

KESIMPULAN

Tinjauan ini menggambarkan limbah pelepah sawit merupakan produk sampingan dari industri kelapa sawit dan memiliki kandungan selulosa, non-toksik, dan mudah terurai, menjadikannya bahan yang ideal untuk bahan dasar dari bioplastik. Karakteristik Bioplastik yang dihasilkan dari limbah pelepah sawit memiliki sifat mekanik dan fisik yang penting untuk kualitas produk. Sifat-sifat ini dapat ditingkatkan melalui berbagai metode pengolahan, seperti

ekstraksi dan modifikasi. Komponen utama dari bioplastik pada tinjauan ini yaitu limbah pelepah sawit beserta dengan selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

Masing-masing komponen ini berkontribusi terhadap performa dan biodegradabilitas bioplastik. Tantangan pada pembuatan bioplastik ini meskipun memiliki potensi besar, pengembangan bioplastik dari limbah pelepah sawit menghadapi tantangan, termasuk proses pengolahan dan peningkatan sifat mekanik. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan memaksimalkan potensi bioplastik. Sehingga mampu menjadikan limbah pelepah sawit sebagai alternatif yang berkelanjutan untuk plastik konvensional, dan pengembangan bioplastik berbasis limbah ini dapat membantu mengurangi masalah pencemaran plastik di dunia. Tinjauan ini memberikan wawasan tentang bagaimana limbah pertanian dapat dimanfaatkan untuk menciptakan material yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Bioplastik dari limbah pelepah sawit menawarkan solusi potensial untuk mengatasi masalah polusi plastik dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Meskipun banyak telah dikembangkan, seperti penggunaan komposit dan nanokomposit, tantangan terkait biaya produksi, variabilitas material, dan penerimaan pasar masih perlu diatasi. Dengan perkembangan teknologi yang berkelanjutan dan dukungan regulasi yang lebih baik, bioplastik dari limbah pelepah sawit dapat menjadi alternatif yang berkelanjutan untuk plastik konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Badan Pengelola Dana Pekebunan Kelapa Sawit yang telah memberikan penulis berbagai informasi mengenai kandungan pelepah sawit serta penulis juga mengucapkan terima kasih kepada ibu dosen yang telah membimbing dalam penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Coppola, M. T. Gaudio, C. G. Lopresto, V. Calabro, S. Curcio, and S. Chakraborty, "Bioplastic from Renewable Biomass: A Facile Solution for a Greener Environment," *Earth Syst. Environ.*, vol. 5, no. 2, pp. 231–251, Jun. 2021, doi: 10.1007/s41748-021-00208-7.
- [2] Y. Brahmana, M. H. Ginting, and I. U. P. Rangkuti, "Bioplastik Bersumber Bahan Selulosa Tandan Kosong (Tkks) Dan Pelepah Kelapa Sawit (Pks)," *J. Agro Fabr.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [3] F. Firdaus and C. Anwar, "Potensi Limbah Padat-cair Industri Tepung Tapioka sebagai Bahan Baku Film Plastik Biodegradabel," *Logika*, vol. 1, Feb. 2004, doi: 10.20885/logika.vol1.iss2.art4.
- [4] H. Hernando *et al.*, "Impact of glycerol on oil palm trunk starch bioplastics enhanced with citric-acid epoxidized palm oil oligomers," *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 10, p. 100839, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.cscee.2024.100839.
- [5] H. Y. Sriyana, L. H. Rahayu, and M. E. Febriana, "Bioplastik Dari Limbah Kulit Buah Nanas Dengan Modifikasi Gliserol Dan Kitosan," *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 8, no. 1, p. 40, Feb. 2023, doi: 10.31942/inteka.v18i1.8094.
- [6] E. Permana, D. R. Gusti, I. L. Tarigan, Y. Andika, and A. C. Nirwana, "Sifat Fisik Bioplastik Dari Pati Umbi Gadung Dan Pelepah Sawit," *Sci. Tech J. Ilmu Pengetah. Dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 45–54, Jan. 2021, doi: 10.30738/jst.v7i1.9253.
- [7] R. Dewi, R. Rahmi, and N. Nasrun, "Perbaikan Sifat Mekanik Dan Laju Transmisi Uap Air Edible Film Bioplastik Menggunakan Minyak Sawit Dan Plasticizer Gliserol Berbasis Pati Sagu," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 8, no. 1, p. 61, Jun. 2021, doi: 10.29103/jtku.v10i1.4177.
- [8] S. P. Ayu and A. S. Ningsih, "Pemanfaatan Sisa Bahan Pangan Dalam Pembuatan Bioplastik," vol. 11, no. 01, 2020.

- [9] Y. Yustinah *et al.*, "Pengaruh Jumlah Kitosan dalam Pembuatan Plastik Biodegradabel dari Selulosa Sabut Kelapa dengan Pemplastik Gliserol," *JRST J. Ris. Sains Dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, p. 143, Sep. 2023, doi: 10.30595/jrst.v7i2.15598.
- [10] R. Syafri *et al.*, "Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu-Kitosan Berisi Pelepah Sawit dan Plastizier Gliserol," *Photon J. Nat. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Nov. 2021, doi: 10.37859/jp.v12i1.3359.
- [11] N. Silitonga, N. Tarigan, and G. Saragih, "Pengaruh Kosentrasi Naoh Pada Karakterisasi α -".
- [12] N. W. Sumartono, F. Handayani, R. Desiriana, and W. Novitasari, "Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Alang-Alang (*Imperata Cylindrica*(L.)) Dengan Penambahan Kitosan, Gliserol, Dan Asam Oleat," 2015.
- [13] S. Maulina and F. S. Putri, "Pengaruh Suhu, Waktu, Dan Kadar Air Bahan Baku Terhadap Pirolisis Serbuk Pelepah Kelapa Sawit," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2017, doi: 10.32734/jtk.v6i2.1581.
- [14] Y. A. Harahap, A. C. K. Fitri, and Y. E. Fajarwati, "Analisis Kelarutan Bioplastik dari Pati Kulit Singkong dengan Penambahan Variasi Gliserol, Selulosa Jerami Padi, dan Kitosan," vol. 6, 2023.
- [15] Y. E. Agustin and K. S. Padmawijaya, "Sintesis Bioplastik Dari Kitosan-Pati Kulit Pisang Kepok Dengan Penambahan Zat Aditif," vol. 10.
- [16] A. Melani, N. Herawati, and A. F. Kurniawan, "Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt," vol. 2, no. 2, 2017.
- [17] A. Purbasari, A. A. Wulandari, and F. M. Marasabessy, "Sifat Mekanis Dan Fisis Bioplastik Dari Limbah Kulit Pisang: Pengaruh Jenis Dan Konsentrasi Pemplastis," *J. Kim. Dan Kemasan*, vol. 42, no. 2, p. 66, Oct. 2020, doi: 10.24817/jkk.v42i2.5872.
- [18] V. Perez-Puyana, P. Cuartero, M. Jiménez-Rosado, I. Martínez, and A. Romero, "Physical crosslinking of pea protein-based bioplastics: Effect of heat and UV treatments," *Food Packag. Shelf Life*, vol. 32, p. 100836, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.fpsl.2022.100836.
- [19] R. Syafri *et al.*, "Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu-Kitosan Berisi Pelepah Sawit dan Plastizier Gliserol," *Photon J. Sain Dan Kesehat.*, vol. 12, no. 1, pp. 84–90, 2021.
- [20] Department of Mechanical Engineering, University of Lagos, Lagos, Nigeria Sunday A. Oke, I. T. Abiola, S. A. Oke, and Department of Mechanical Engineering, University of Lagos, Lagos, "A Fuzzy Analytic Hierarchy Model To Appraise Water Absorption Process Parameters In Cocoa Pod Husk Composite," *Kufa J. Eng.*, vol. 12, no. 2, pp. 99–118, Apr. 2021, doi: 10.30572/2018/kje/120207.
- [21] L. Wardani, M. Y. Massijaya, and M. F. Machdie, "Pemanfaatan limbah pelepah sawit dan plastik daur ulang (rpp) sebagai papan komposit plastik," *J. Hutan Trop.*, vol. 1, no. 1, 2013, Accessed: Oct. 23, 2024. [Online]. Available: <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/jht/article/view/1483>
- [22] N. Silitonga, N. Tarigan, and G. Saragih, "Pengaruh kosentrasi NaOH pada karakterisasi α selulosa dari pelepah kelapa sawit," *Ready Star*, vol. 2, no. 1, pp. 103–108, 2019.
- [23] C. Pujiastuti, D. A. A. Dewandana, and F. R. Dzakwan, "Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Kentang Hitam Dan Selulosa Mikrokristalin Terhadap Sifat Mekanik Dan Hidrofobisitas".
- [24] "Sumartono et al. - 2015 - Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Ala.pdf."
- [25] R. Sumirat, S. Rosalinda, E. Mardawati, D. Nurliasari, and R. Kastaman, "Tahapan Proses Produksi Dan Karakterisasi Bioplastik Dari Limbah Tongkol Jagung," *J. Penelit. Pertan. Terap.*, vol. 23, no. 4, pp. 479–488, Dec. 2023, doi: 10.25181/jppt.v23i4.2691.
- [26] S. Sutini, Y. R. Widiastuty, and A. N. Ramadhani, "Hidrolisis Lignoselulosa dari Agricultural Waste Sebagai Optimasi Produksi Fermentable Sugar," *Equilib. J. Chem. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 59–68, 2019.

- [27] antaranews.com, "PPBBI ciptakan plastik ramah lingkungan dari limbah sawit," Antara News. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.antaranews.com/berita/2792069/ppbbi-ciptakan-plastik-ramah-lingkungan-dari-limbah-sawit>".