

Bioplastik Berbasis Pati Sagu dengan Penambahan Filler Microfibrillated Cellulose dan Refuse-Derived Fuel

^{1*} Khairunisa Betariani, ¹ Puji Rahayu, ² Winda Sri Jaman, ³ Mohammad Wirandi

¹ Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten

² Teknologi Mesin Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten

² Teknologi Instrumentasi Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten

¹khairunnisa.betariani@poltek-petrokimia.ac.id, ²puji.rahayu@poltek-petrokimia.ac.id, ³winda.srijaman@gmail.com,

⁴m.wirandi@poltek-petrokimia.ac.id

Article Info

Article history:

Received May 06th, 2025

Revised May 07th, 2025

Accepted May 15th, 2025

Keyword:

Bioplastic

Sago Starch

Microfibrillated Cellulose

Refuse-derived Fuel

ABSTRACT

This study aims to develop starch-based bioplastics using sago starch with the addition of Microfibrillated Cellulose (MFC) and Refuse-Derived Fuel (RDF) fillers to enhance mechanical properties and material sustainability. Sago starch was selected as the base material due to its biodegradability, while MFC derived from empty palm oil fruit bunches served as a structural reinforcement, and RDF was introduced as an additional filler sourced from processed organic and inorganic waste. The bioplastic production process involved starch gelatinization, mixing with MFC and RDF solutions, addition of sorbitol as a plasticizer, casting, and natural drying. Characterization included morphological analysis and mechanical testing. Results showed that the sago starch+MFC bioplastic exhibited a more homogeneous surface morphology and superior mechanical properties, with a maximum tensile strength of 10.6 MPa and elongation at break of 5.7%. The addition of RDF increased material density but reduced homogeneity and toughness, with fracture energy per volume drastically decreasing from 488.28 kJ/m³ to 41.15 kJ/m³. Overall, the combination of sago starch and MFC offered better mechanical performance, while RDF addition requires optimization to maintain structural integrity. This innovation supports waste utilization and promotes circular economy principles in the development of environmentally friendly materials.

Copyright © 2025 Nucleus Journal

All rights reserved.

DOI: <https://doi.org/10.32492/nucleus.v4i1.4105>

Corresponding Author:

Khairunisa Betariani,

Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten

Address. Jl. Raya Karang Bolong, Cikoneng, Kec. Anyar, Kabupaten Serang, Banten

Email: khairunnisa.betariani@poltek-petrokimia.ac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bioplastik berbasis pati sagu dengan penambahan filler berupa Microfibrillated Cellulose (MFC) dan Refuse-Derived Fuel (RDF) guna meningkatkan sifat mekanik dan keberlanjutan material. Pati sagu dipilih sebagai bahan dasar

karena sifat biodegradabelnya, sementara MFC dari tandan kosong kelapa sawit berfungsi sebagai penguat struktural, dan RDF sebagai pengisi tambahan berbasis limbah. Proses pembuatan bioplastik meliputi gelatinisasi pati, pencampuran dengan larutan MFC dan RDF, serta penambahan plastisizer sorbitol sebelum dicetak dan dikeringkan secara alami. Karakterisasi dilakukan melalui uji morfologi dan uji mekanik. Hasil menunjukkan bahwa bioplastik dengan kombinasi pati sagu dan MFC memiliki morfologi permukaan yang lebih homogen dan sifat mekanik lebih baik, dengan tegangan maksimum 10,6 MPa dan elongasi 5,7%. Penambahan RDF meningkatkan densitas tetapi menurunkan homogenitas serta ketangguhan bioplastik, dengan energi patah per volume turun drastis dari 488,28 kJ/m³ menjadi 41,15 kJ/m³. Secara keseluruhan, kombinasi pati sagu dan MFC lebih unggul dalam performa mekanik, sementara penambahan RDF perlu dioptimalkan untuk menjaga integritas struktural. Inovasi ini mendukung pemanfaatan limbah dan prinsip ekonomi sirkular dalam pengembangan material ramah lingkungan.

I. Pendahuluan

Masalah pencemaran lingkungan akibat limbah plastik konvensional telah menjadi isu global yang mendesak. Plastik berbahan dasar minyak bumi memiliki sifat tidak mudah terurai, sehingga akumulasinya di lingkungan mengancam ekosistem dan kesehatan manusia. Dalam upaya mengatasi tantangan ini, bioplastik menjadi alternatif ramah lingkungan karena berasal dari bahan-bahan alami yang dapat terurai secara biologis, seperti pati. Pati adalah polisakarida yang umum ditemukan dalam banyak tanaman dan dapat diubah menjadi material ramah lingkungan untuk pembuatan bioplastik [1]. Di Indonesia, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengeksplorasi pemanfaatan pati sebagai bahan baku bioplastik. Dalam penelitian tersebut, pati dari sumber yang berbeda, seperti pati singkong, kentang, sagu, dan biji durian, telah diteliti untuk mengevaluasi potensi dan karakteristik bioplastik yang dihasilkan.

Pati singkong, misalnya, telah terbukti menjadi pilihan yang baik untuk pembuatan bioplastik. Bioplastik dari pati singkong dipadukan dengan kitosan menunjukkan daya serap air yang bervariasi, tergantung pada konsentrasi larutan kitosan yang digunakan [1]. Hal ini penting mengingat daya serap air dapat mempengaruhi ketahanan dan fungsi bioplastik dalam berbagai aplikasi. Kitosan juga berfungsi sebagai penguat mekanik yang dapat meningkatkan sifat fisik bioplastik tersebut.

Sorgum juga merupakan sumber pati yang menarik untuk pembuatan bioplastik. Sorgum dipadukan dengan selulosa dari ekstraksi rumput laut, menggunakan gliserol sebagai plastisizer. Penelitian ini menunjukkan variasi komposisi massa antara pati sorgum dan selulosa dapat mempengaruhi karakteristik fisik bioplastik, terutama dalam hal kekuatan tarik dan fleksibilitas [2]. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan kombinasi dapat lebih meningkatkan kualitas bioplastik.

Penggunaan pati dari limbah, seperti biji durian dan sagu, juga telah banyak diteliti. Penggunaan pati biji durian, yang merupakan limbah, untuk dicampurkan dengan LDPE (Low-Density Polyethylene) dalam proporsi tertentu. Penelitian ini mengungkapkan bahwa bioplastik yang dihasilkan memiliki sifat mekanik yang dapat bersaing dengan plastik konvensional [3]. Di sisi lain, Kamsiati et al. mengindikasikan bahwa pati sagu memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pembuatan bioplastik biodegradable, yang juga menunjukkan daya saing dari sisi aplikasi dan lingkungan .

Pengembangan dalam pati sagu sebagai bioplastik salahsatunya adalah pemanfaatan mikroserat selulosa (MFC) sebagai filler untuk meningkatkan sifat mekanik dan fungsional bioplastik berbasis pati sagu. MFC merupakan bahan yang berasal dari pemrosesan serat tanaman dengan ukuran yang sangat kecil, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kestabilan bioplastik ketika ditambahkan. Penelitian oleh Syafri et al. menunjukkan bahwa penggunaan MFC dalam komposisi bioplastik dapat memberikan sifat yang lebih baik, dibandingkan dengan penggunaan pati biasa .

Salah satu faktor yang mendongkrak kualitas MFC dalam bioplastik adalah kemampuannya untuk meningkatkan homogenitas dalam matriks pati. Pati sagu, yang memiliki sifat hidrofilik, dapat dengan mudah mengikat air, sehingga membuat produk akhir lebih elastis dan sulit untuk pecah. Dengan menambahkan MFC, yang juga bersifat hidrofilik, interaksi antara MFC dan pati sagu dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi mekanis. Studi oleh Syafri et al. menunjukkan bahwa keberadaan MFC dalam komposit bioplastik berbasis pati menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam sifat mekanik, termasuk kekuatan tarik dan deformabilitas . Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi dari kedua bahan ini dapat menghasilkan bioplastik yang lebih kuat dan lebih tahan lama.

Selanjutnya, modifikasi fisik dan kimia terhadap pati sagu juga telah diteliti untuk meningkatkan karakteristik umur simpan bioplastik yang dihasilkan. Penambahan zat aditif tertentu, seperti sodium trimetaphosfat, dapat meningkatkan karakteristik fisikokimia pati sagu serta kemampuannya

untuk digunakan dalam pembuatan bioplastik yang lebih bersih dan lebih aman untuk digunakan dalam makanan [1]. Modifikasi ini penting karena meningkatkan daya tahan serta mengurangi tingkat kelembapan, yang pada akhirnya mengurangi risiko pembusukan dan kerusakan produk akhir.

Dalam konteks peningkatan nilai tambah dan efisiensi pemanfaatan limbah, penelitian ini mengembangkan inovasi lebih lanjut dengan menambahkan *Refuse-Derived Fuel* (RDF) sebagai *filler reinforced* tambahan pada campuran MFC[1],[2]. RDF merupakan hasil pengolahan limbah padat anorganik dan organik, yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan aditif pada material polimer, termasuk bioplastik. Penggunaan RDF menjadi strategi untuk mengurangi volume limbah industri dan mengarah pada prinsip ekonomi sirkular.

II. Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan proses persiapan bahan utama, yaitu pati sagu sebagai sumber bioplastik, *Microfibrillated Cellulose* (MFC) dari tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan penguat, serta *Refuse-Derived Fuel* (RDF) pellet sebagai bahan pengisi tambahan (*reinforced filler*)[3],[4]. Tahapan diawali dengan pembuatan Larutan Pati, yaitu dengan melarutkan 25 gram pati sagu ke dalam 250 mL aquades pada suhu ruang, kemudian diaduk menggunakan stirrer magnetik hingga larut sempurna tanpa adanya gumpalan[5]. Selanjutnya, dilakukan pembuatan Larutan Selulosa Mikro, dengan mencampurkan 25 gram *Microfibrillated Cellulose* (MFC) dari tandan kosong kelapa sawit ke dalam 100 mL aquades[6][7].

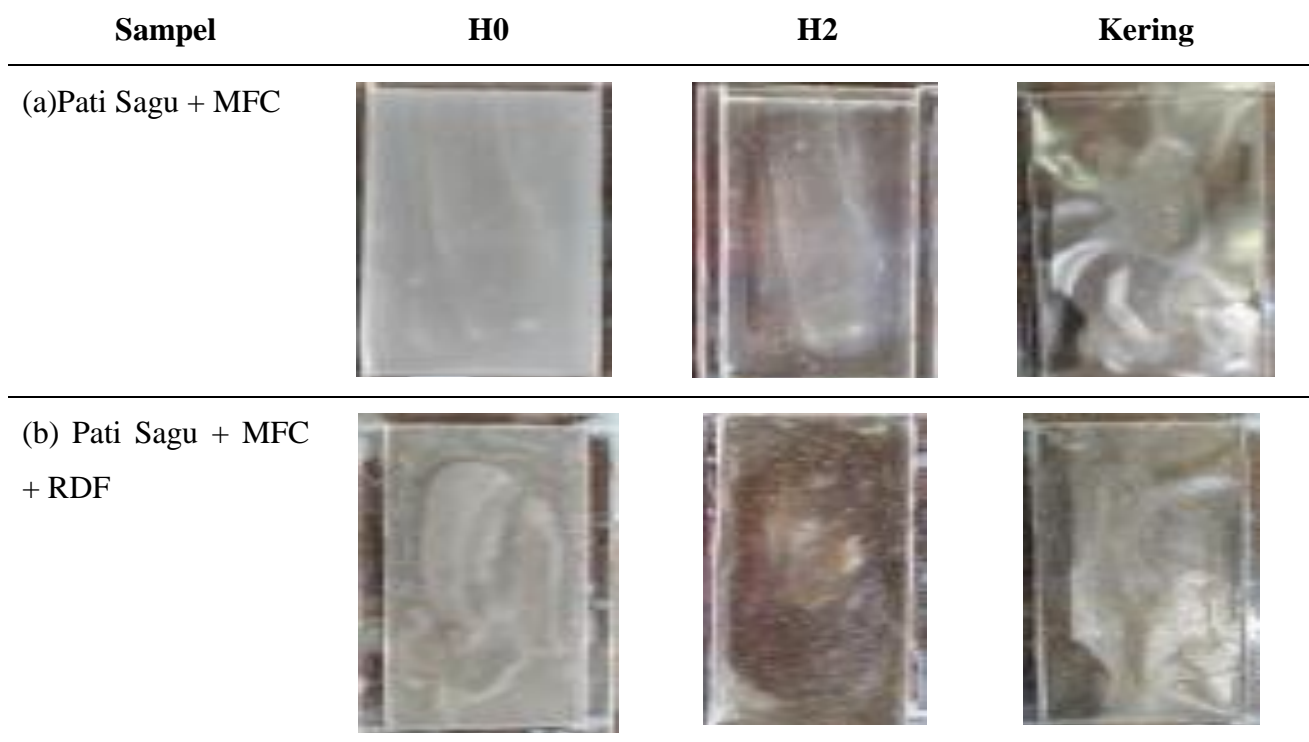
Untuk meningkatkan kestabilan larutan, dibuat Larutan KCl dengan melarutkan 10 gram Kalium Klorida (KCl) ke dalam 100 mL aquades. Larutan Selulosa Mikro dan Larutan KCl kemudian dicampurkan untuk membentuk Larutan Filler, dengan total volume 30 mL. Campuran ini kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu 75°C sambil diaduk secara kontinu untuk memastikan proses gelatinisasi berlangsung optimal. Setelah tercampur merata dan mulai mengental, ditambahkan 1 mL sorbitol sebagai plastisizer, lalu campuran diaduk kembali selama 15 menit. Larutan bioplastik yang telah siap kemudian dicetak ke dalam cetakan berbahan akrilik, dan didiamkan selama tiga hari pada suhu ruang untuk proses pengeringan alami hingga terbentuk film bioplastik yang padat.

Bioplastik yang dihasilkan selanjutnya diuji karakteristiknya melalui uji mekanik seperti kuat tarik (*tensile strength*) dan daya regang (*elongation*). Selain itu, dilakukan juga analisis morfologi permukaan menggunakan Microscope.

III. Hasil dan Pembahasan

1. Uji Morfologi Bioplastik



Setelah dilakukan proses pembuatan bioplastik dari bahan dasar pati sagu yang dikombinasikan dengan Microfibrillated Cellulose (MFC), serta variasi tambahan berupa Refused-Derived Fuel (RDF), langkah awal yang dilakukan adalah pengamatan morfologi visual bioplastik secara makroskopis. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui perubahan fisik dan stabilitas visual bioplastik terhadap waktu dan kondisi lingkungan, yang menjadi indikasi awal dari kualitas pencampuran serta homogenitas material yang terbentuk. Berikut adalah hasil observasi visual bioplastik yang diamati pada hari ke-0 (H0), hari ke-2 (H2), dan setelah dalam kondisi kering.

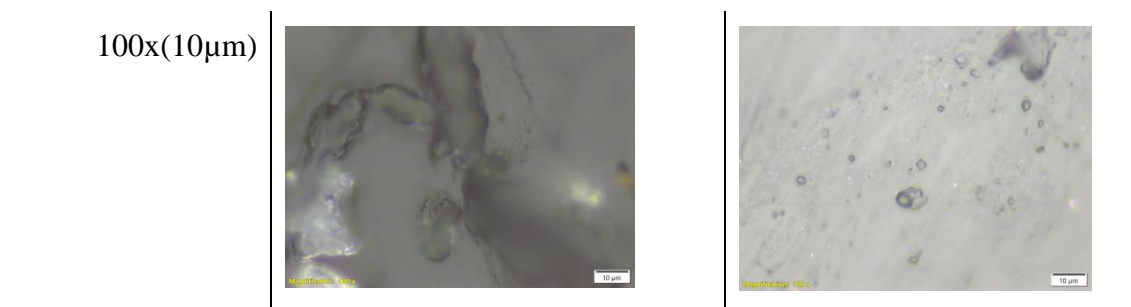


Gambar 1. Bioplastik dengan variasi (a) Pati Sagu + MFC & (b) Pati Sagu + MFC + RDF

Gambar 1 menunjukkan visual dari dua jenis bioplastik berbasis pati sagu yang dikombinasikan dengan MFC (Microfibrillated Cellulose), serta satu di antaranya juga ditambahkan RDF (Refused-Derived Fuel). Kedua jenis sampel diamati pada tiga kondisi: H0 (hari ke-0 atau saat baru dibuat), H2 (hari ke-2), dan dalam kondisi kering. Pada kondisi H0, bioplastik berbahan pati sagu dan MFC tampak transparan dan homogen, menandakan pencampuran yang baik antara pati dan MFC. Sebaliknya, sampel dengan tambahan RDF terlihat lebih keruh dan tidak homogen, hal ini disebabkan partikel RDF yang tidak terdispersi sempurna dalam matriks pati. Memasuki H2, kedua sampel mengalami perubahan visual; warna menjadi lebih gelap dan permukaan tampak lebih padat. Hal ini menunjukkan adanya interaksi dengan kelembapan atau awal dari proses degradasi.

Perbedaan lebih mencolok terlihat pada kondisi kering. Sampel tanpa RDF mengalami kerutan yang cukup signifikan dan kehilangan bentuk aslinya, mengindikasikan adanya penyusutan material selama proses pengeringan. Sedangkan sampel dengan RDF tampak lebih padat dan tidak setransparan sampel pertama, meskipun juga menunjukkan kerutan. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan RDF membantu menahan struktur lebih lama, namun mengorbankan homogenitas dan estetika. Secara keseluruhan, sampel bioplastik dengan komposisi pati sagu dan MFC lebih unggul dari segi kejernihan dan tampilan awal, tetapi kurang stabil setelah pengeringan. Sementara penambahan RDF memperkuat struktur secara visual namun mengurangi kualitas visual dan homogenitas. Penelitian oleh Purba et al. menunjukkan bahwa penambahan filler dapat meningkatkan densitas dan tampilan material, meskipun dapat mengorbankan transparansi dan estetika bioplastik.

Perbesaran	Pati Sagu + MFC	Pati Sagu + MFC + RDF
20x (50µm)		



Gambar 2. Morfologi Bioplastik dibawah Microscope

Gambar 2 menunjukkan morfologi permukaan bioplastik berbasis pati sagu yang dikombinasikan dengan MFC, serta kombinasi MFC dan RDF, di bawah mikroskop dengan dua tingkat perbesaran: $20\times$ ($50\ \mu\text{m}$) dan $100\times$ ($10\ \mu\text{m}$). Pada perbesaran $20\times$, permukaan bioplastik pati sagu + MFC tampak memiliki alur dan goresan halus yang relatif merata, menunjukkan struktur yang homogen, meskipun terdapat sedikit ketidakraturan. Sebaliknya, permukaan bioplastik pati sagu + MFC + RDF tampak lebih kasar dan tidak merata, dengan tekstur permukaan yang menunjukkan adanya agregat atau partikel RDF yang tidak sepenuhnya terdispersi dalam matriks.

Pada perbesaran $100\times$, perbedaan morfologi menjadi lebih jelas. Sampel pati sagu + MFC menunjukkan struktur permukaan yang lebih halus dan konsisten, meskipun terdapat pori-pori kecil yang terbentuk akibat penguapan air atau pelepasan uap selama proses pemrosesan. Sementara itu, sampel dengan penambahan RDF menunjukkan adanya titik-titik atau pori yang lebih banyak dan tidak beraturan, serta indikasi adanya partikel asing yang terjebak di dalam matriks. Hal ini menunjukkan bahwa RDF tidak hanya memengaruhi penampilan visual secara makro, tetapi juga menyebabkan ketidakhomogenan pada struktur mikro bioplastik. Morfologi mikroskopis ini mendukung pengamatan visual sebelumnya yaitu penambahan RDF cenderung memperburuk homogenitas dan keterpaduan material dalam bioplastik.

2. Uji Mekanik

Elongasi adalah ukuran kemampuan suatu material plastik untuk memanjang atau meregang sebelum mengalami patah saat dikenai gaya tarik. Dalam konteks uji tarik (tensile test), elongasi dinyatakan sebagai persentase perubahan panjang terhadap panjang awal specimen sedangkan kuat tarik atau Tensile Strength merupakan pengujian ketahanan terhadap tekanan sebelum terputus (robek) menggunakan alat tensile strength. Pada uji mekanik dilakukan pengukuran ketahanan

bioplastik terhadap retakan dengan pemberian beban tarik. Pengujian menggunakan peralatan Zwick/Roell dengan ASTM D 882.

Tabel 1. Hasil Uji Mekanik Bioplastik

Parameter	Simbol	Sample		Satuan	Keterangan
		Pati Sagu+ MFC	PatiSagu+ MFC + RDF		
Tegangan Maksimum	σ_M	10,6	9,62	MPa	Tegangan tertinggi selama uji tarik
Regangan pada σ_M	ϵ_M	2,1	0,78	%	Regangan saat mencapai σ_M
Regangan terkoreksi pada σ_M	ϵ_M (corr.)	2,1	0,77	%	Versi terkoreksi dari ϵ_M
Tegangan Patah	σ_B	7,59	9,62	MPa	Tegangan saat spesimen putus
Regangan saat Patah	ϵ_B	5,7	0,78	%	Regangan saat spesimen putus
Regangan terkoreksi saat Patah	ϵ_B (corr.)	5,7	0,77	%	Versi terkoreksi dari ϵ_B
Energi Patah	WB	117,19	9,87	N·mm	Energi total hingga spesimen putus
Energi Patah per Volume	WB / V	488,28	41,15	kJ/m ³	Ketangguhan material

Tabel 1 menyajikan parameter hasil uji mekanik terhadap dua jenis bioplastik, yakni Pati Sagu + MFC dan Pati Sagu + MFC + RDF, untuk mengetahui sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kelenturan, dan ketangguhan material. Parameter yang diukur meliputi tegangan maksimum (σ_M) — yaitu gaya tarik tertinggi yang mampu ditahan material; regangan (ϵ_M dan ϵ_B) — seberapa besar perubahan panjang yang terjadi sebelum dan saat patah; serta energi patah (WB) dan energi patah per volume (WB/V) — sebagai indikator ketangguhan material dalam menyerap energi sebelum putus. Dari hasil pengujian, bioplastik Pati Sagu + MFC menunjukkan tegangan maksimum sebesar 10,6 MPa, dengan regangan saat patah mencapai 5,7%, dan energi patah sebesar 117,19 N·mm. Angka-angka ini mengindikasikan bahwa material tersebut memiliki kekuatan dan kelenturan yang baik, serta mampu menyerap energi cukup besar sebelum patah. Energi patah per volume sebesar 488,28 kJ/m³ menunjukkan bahwa bioplastik ini tangguh dan tidak mudah rapuh. Sebaliknya, sampel dengan penambahan RDF (Pati Sagu + MFC + RDF) mengalami penurunan signifikan pada hampir seluruh parameter. Meskipun tegangan patah (σ_B) meningkat ke 9,62 MPa, regangan hanya mencapai 0,78%, menunjukkan material lebih kaku dan rapuh. Energi patahnya turun drastis menjadi hanya 9,87 N·mm, dan energi per volumenya hanya 41,15 kJ/m³, menandakan bahwa material ini tidak mampu menyerap energi dengan baik sebelum patah.

IV. Kesimpulan

1. Bioplastik berbasis pati sagu dengan penambahan Microfibrillated Cellulose (MFC) menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan yang ditambahkan Refuse-Derived Fuel (RDF), ditunjukkan oleh tegangan maksimum 10,6 MPa dan elongasi hingga 5,7%. Dapat pula menyertakan saran ataupun rencana keberlanjutan dari penelitian ini.
2. Penambahan RDF cenderung menurunkan homogenitas dan kekompakan struktur bioplastik, serta secara signifikan mengurangi energi patah dan ketangguhan material.
3. Penggunaan MFC dari limbah tandan kosong kelapa sawit terbukti efektif sebagai bahan penguat alami, sedangkan RDF memerlukan optimasi lebih lanjut dalam komposisi dan penyebaran partikel dalam matriks.

4. Untuk penelitian lanjutan, disarankan mengevaluasi metode modifikasi permukaan RDF atau kombinasi dengan aditif dispersan guna meningkatkan homogenitas dan stabilitas material.

V. Daftar Pustaka

- [1] H. T. N. Kuan, M. Y. Tan, Y. Shen, and M. Y. Yahya, "Mechanical properties of particulate organic natural filler-reinforced polymer composite: A review," *Compos. Adv. Mater.*, vol. 30, p. 263498332110075, 2021, doi: 10.1177/26349833211007502.
- [2] G. Cheng, H. Wang, and J. Wu, "Designing mechanically reinforced filler network for thin and robust composite polymer electrolyte," 2023. doi: 10.1002/bte2.20230037.
- [3] A. N. Nakagaito, A. Fujimura, T. Sakai, Y. Hama, and H. Yano, "Production of microfibrillated cellulose (MFC)-reinforced polylactic acid (PLA) nanocomposites from sheets obtained by a papermaking-like process," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 69, no. 7–8, pp. 1293–1297, 2009, doi: 10.1016/j.compscitech.2009.03.004.
- [4] A. M. L. Násner *et al.*, "Refuse Derived Fuel (RDF) production and gasification in a pilot plant integrated with an Otto cycle ICE through Aspen plusTM modelling: Thermodynamic and economic viability," 2017. doi: 10.1016/j.wasman.2017.08.006.
- [5] M. Sakka, T. Kimura, and K. Sakka, "Comparison of microbial consortia in refuse-derived fuel (RDF) preparations between Japan and Germany," *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 70, no. 12, pp. 2868–2873, 2006, doi: 10.1271/bbb.60261.
- [6] C. A. Cozzolino, G. Cerri, A. Brundu, and S. Farris, "Microfibrillated cellulose (MFC): pullulan bionanocomposite films," *Cellulose*, vol. 21, no. 6, pp. 4323–4335, 2014, doi: 10.1007/s10570-014-0433-x.
- [7] J. Su, W. K. J. Mosse, S. Sharman, W. J. Batchelor, and G. Garnier, "Effect of tethered and free microfibrillated cellulose (MFC) on the properties of paper composites," *Cellulose*, vol. 20, no. 4, pp. 1925–1935, 2013, doi: 10.1007/s10570-013-9955-x.
- [8] E. Kamsiati, H. Herawati, And E. Y. Purwani, "Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu Dan Ubikayu Di Indonesia / The Development Potential Of Sago And Cassava Starch-Based Biodegradable Plastic In Indonesia," *Jurnal Penelitian*

Dan Pengembangan Pertanian, Vol. 36, No. 2, P. 67, Dec. 2017, Doi: 10.21082/Jp3.V36n2.2017.P67-76.

- [9] S. Aripin, B. Saing, And E. Kustiyah, “Studi Pembuatan Bahan Alternatif Plastik Biodegradable Dari Pati Ubi Jalar Dengan Plasticizer Gliserol Dengan Metode Melt Intercalation,” *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 6, No. 2, P. 18, Mar. 2017, Doi: 10.22441/Jtm.V6i2.1185.
- [10] E. Syafri, A. Kasim, H. Abral, A. Asben, And S. Sudirman, “Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Bioplastik Berbasis Filler Cellulose Micro Fibers Rami,” *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 19, No. 2, P. 66, Jan. 2018, Doi: 10.17146/Jsmi.2018.19.2.4146.
- [11] D. M. Purba, B. A. Harsojuwono, And A. Hartiati, “Pengaruh Jenis Dan Konsentrasi Plasticizer Terhadap Karakteristik Bioplastik Maizena,” *Iptekma*, P. 67, Aug. 2019, Doi: 10.24843/Iptekma.2019.V08.I02.P02.