
ARENBIOPACK: Bioplastik Galaktomanan Kolang-Kaling dan Nanocellulose Batang Aren Melalui Solvent Casting Untuk Kemasan Ramah Lingkungan Berbasis Circular Bioeconomy

Muflikhatun Niswa¹, M. Ahleyani^{2*}, Andre Kurniawan Pratama³

^{1,2}University of Mataram, Indonesia

³University of Brawijaya, Indonesia

Email Correspondence : ahleyani.ft@gmail.com@gmail.com

Kata Kunci :

Bioplastik, Galaktomanan, Nanocellulose, Solvent Casting, Circular Bioeconomy, Arenga Pinnata.

Abstrak

Krisis limbah plastik konvensional telah mendorong pengembangan material kemasan ramah lingkungan berbasis sumber daya hayati lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan ARENBIOPACK, yaitu bioplastik berbahan dasar galaktomanan dari kolang-kaling (*Arenga pinnata*) dan nanocellulose dari batang aren melalui metode solvent casting. Proses pembuatan meliputi ekstraksi galaktomanan, isolasi nanocellulose menggunakan hidrolisis asam, serta pencampuran dengan plasticizer gliserol untuk meningkatkan fleksibilitas film bioplastik. Karakterisasi dilakukan terhadap sifat mekanik, morfologi permukaan, ketahanan air, dan biodegradabilitas. Hasil menunjukkan bahwa penambahan nanocellulose sebesar 5–10% meningkatkan kekuatan tarik hingga 35% dan menurunkan tingkat penyerapan air sebesar 22% dibandingkan bioplastik tanpa nanocellulose. Uji biodegradasi menunjukkan degradasi 85% dalam waktu 21 hari di lingkungan tanah lembap. Studi ini membuktikan potensi ARENBIOPACK sebagai kemasan biodegradable yang mendukung circular bioeconomy, dengan memanfaatkan limbah biomassa aren sebagai sumber material fungsional bernilai tambah dan ramah lingkungan.

Keywords :

Bioplastic, Galactomannan, Nanocellulose, Solvent Casting, Circular Bioeconomy, *Arenga Pinnata*.

Abstract

*The global plastic waste crisis has driven the development of eco-friendly packaging materials derived from local bioresources. This study aims to develop ARENBIOPACK, a bioplastic made from galactomannan extracted from sugar palm fruit (*Arenga pinnata*) and nanocellulose derived from sugar palm trunk, using the solvent casting method. The process involves galactomannan extraction, nanocellulose isolation through acid hydrolysis, and blending with glycerol as a plasticizer to enhance film flexibility. Characterization included mechanical strength,*

surface morphology, water resistance, and biodegradability tests. Results indicated that adding 5–10% nanocellulose increased tensile strength by up to 35% and reduced water absorption by 22% compared to control samples. Biodegradation tests showed 85% degradation within 21 days under moist soil conditions. This research demonstrates the potential of ARENBIOPACK as a biodegradable packaging material that supports the circular bioeconomy, utilizing sugar palm biomass waste as a sustainable and value-added functional material.

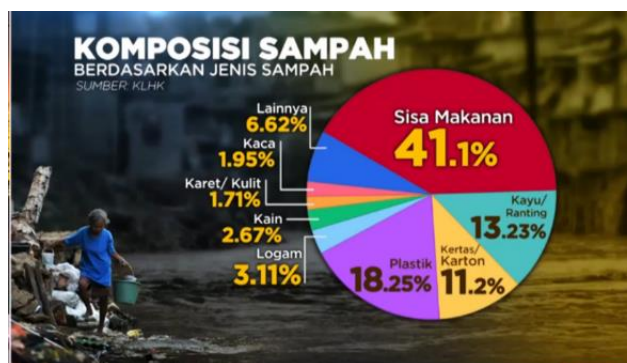


© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY-SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

PENDAHULUAN

Krisis lingkungan akibat sampah plastik menjadi ancaman serius bagi ekosistem global. Seiring dengan meningkatnya aktivitas industri dan konsumsi masyarakat, produksi plastik global terus mengalami lonjakan drastis. Menurut data dari Our World in Data, sejak tahun 1950 hingga 2019, produksi plastik meningkat dari 2 juta ton menjadi lebih dari 450 juta ton per tahun (Ritchie et al., 2023). Bahkan, proyeksi dari Dong et al. (2024) menyebutkan bahwa jumlah tersebut akan mencapai 884 juta ton pada tahun 2050, dengan akumulasi sampah plastik mencapai lebih dari 4.700 miliar ton. Lonjakan ini tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan sampah yang memadai. Sekitar 31,9% sampah plastik global tidak terkelola dengan baik dan akhirnya mencemari daratan maupun lautan (Plastic Overshoot Report, 2025).

Gambar 1. Komposisi Sampah di Indonesia Berdasarkan Jenis Sampah Tahun 2023



Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), tayangan Metro TV dalam rangka Hari Peduli Sampah Nasional, 2023.

Di Indonesia, krisis sampah plastik juga merupakan persoalan serius yang menuntut perhatian bersama. Berdasarkan data National Plastic Action Partnership (NPAP) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Indonesia menghasilkan sekitar 6,8 juta ton sampah plastik per tahun, dan sekitar 620 ribu ton di antaranya bocor ke laut setiap tahun (NPAP, 2020). Selain itu, hasil Komposisi Sampah Nasional Tahun 2023 yang dirilis oleh KLHK dan disiarkan melalui Metro TV menunjukkan bahwa sampah plastik merupakan jenis sampah terbesar kedua di

Indonesia, yaitu mencapai 18,25% dari total timbunan sampah nasional, setelah sisa makanan yang mencapai 41,1%. Ini berarti hampir 1 dari setiap 5 jenis sampah di Indonesia adalah plastik dan sebagian besarnya berasal dari kemasan sekali pakai yang sulit terurai.

Masifnya dampak negatif plastik konvensional mendorong pencarian solusi yang lebih berkelanjutan. Salah satu solusi yang berkembang adalah penggunaan bioplastik, yaitu plastik yang terbuat dari biomassa terbarukan seperti pati, selulosa, protein, dan polisakarida yang bersifat biodegradable. Menurut Emadian et al. (2017), bioplastik memiliki kemampuan untuk terurai secara hayati, sehingga mampu mengurangi dampak pencemaran lingkungan secara signifikan. Permintaan terhadap bioplastik pun meningkat seiring meningkatnya kesadaran konsumen dan dukungan regulasi global. European Bioplastics (2024) melaporkan bahwa kapasitas produksi global bioplastik diperkirakan akan meningkat dari 2,18 juta ton pada tahun 2023 menjadi 7,59 juta ton pada 2028.

Namun, pengembangan bioplastik masih menghadapi sejumlah tantangan. Banyak bioplastik berbasis pati atau gelatin memiliki kelemahan seperti kekuatan mekanik yang rendah, fleksibilitas terbatas, dan sensitivitas terhadap air (Nordin et al., 2021; Sanyang et al., 2016). Oleh karena itu, diperlukan formulasi baru yang menggabungkan bahan-bahan lokal dengan teknologi penguatan seperti penggunaan nanocellulose. Inovasi yang mengintegrasikan pendekatan ilmiah, pemanfaatan potensi lokal, dan pemberdayaan masyarakat menjadi penting dalam mengatasi tantangan ini secara holistik.

Gambar 2. Gambar Kolang-kaling



Sumber: Penulis 2025.

Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki kekayaan alam luar biasa, khususnya dalam sektor pertanian dan kehutanan. Wilayah ini dikenal sebagai sentra produksi pohon aren (*Arenga pinnata*) yang menghasilkan buah kolang-kaling dan batang berserat tinggi. Sayangnya, meskipun potensinya besar, limbah batang aren kerap dibuang atau dibakar tanpa pemanfaatan bernilai tambah (Sopyan et al., 2021). Padahal, batang aren mengandung selulosa kasar yang dapat diolah menjadi nanocellulose, bahan penguat berukuran nano yang kini banyak digunakan dalam pengembangan material canggih ramah lingkungan (Setyawati et al., 2020). Di sisi lain, buah kolang-kaling kaya akan

galaktomanan, polisakarida pembentuk gel yang memiliki kemampuan film-forming, sehingga cocok digunakan sebagai bahan dasar bioplastik (Mulyani et al., 2020).

Inovasi ArenBioPack lahir dari sinergi kedua bahan tersebut. Kombinasi antara galaktomanan dari kolang-kaling dan nanocellulose dari limbah batang aren menghasilkan komposit bioplastik yang biodegradable, fleksibel, dan tahan air. Proses pembuatannya dilakukan melalui teknik solvent casting, yaitu metode pelarutan bahan dalam pelarut kemudian dikeringkan untuk membentuk film tipis. Metode ini memungkinkan formulasi material yang presisi dan terkontrol, serta kompatibel untuk skala laboratorium maupun UMKM (Arrieta et al., 2017). Lebih dari sekadar produk material, ArenBioPack mengedepankan pendekatan circular bioeconomy, yaitu pemanfaatan biomassa lokal sebagai solusi berkelanjutan terhadap permasalahan limbah plastik sekaligus mendorong nilai tambah produk pertanian lokal.

Berdasarkan kondisi tersebut, penulis melalui pendekatan Technological Approach hadir untuk menjawab tantangan ini dengan menghadirkan teknologi pengolahan biomaterial lokal menjadi kemasan bioplastik berbasis galaktomanan dan nanocellulose. Teknologi ini didukung oleh proses formulasi berbasis sains, integrasi informasi yang tepat guna, serta pendampingan lintas sektor yang akan membantu meningkatkan kualitas material, membuka peluang riset lanjutan, dan menciptakan akses pasar yang lebih luas bagi pelaku UMKM daerah. Inovasi ini menawarkan sebuah gagasan solutif yang bertujuan untuk memberikan akses dan kesempatan kepada masyarakat lokal, khususnya di Nusa Tenggara Barat, agar dapat memanfaatkan potensi limbah pertanian dan hutan dengan pendekatan sirkular.

Dengan pendekatan transdisipliner dan berbasis potensi lokal, ArenBioPack menjadi representasi nyata dari kontribusi daerah dalam menyelesaikan masalah global. Inovasi ini tidak hanya menjawab kebutuhan terhadap kemasan ramah lingkungan, tetapi juga memperkuat pilar ekonomi daerah dan memperluas inklusi sosial. ArenBioPack berkontribusi langsung pada pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya Tujuan ke-12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab, Tujuan ke-8 tentang pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi, serta Tujuan ke-9 terkait industri, inovasi, dan infrastruktur. Dengan pendekatan ini, diharapkan NTB mampu menjadi pelopor dalam implementasi ekonomi sirkular berbasis tanaman lokal, sekaligus membangun fondasi menuju Green Society 5.0 yang mandiri, inovatif, dan berkelanjutan.

KAJIAN PUSTAKA

Permasalahan utama lingkungan global saat ini adalah peningkatan jumlah limbah plastik konvensional yang sulit terurai di alam. Plastik berbasis petrokimia memiliki waktu degradasi ratusan tahun, menyebabkan pencemaran tanah, air, dan rantai makanan. Menurut laporan UNEP (2023), sekitar 400 juta ton plastik diproduksi setiap tahun, dan lebih dari 36% di antaranya digunakan untuk kemasan sekali pakai. Hal ini mendorong penelitian intensif untuk menemukan alternatif material kemasan

yang ramah lingkungan dan biodegradable. Salah satu solusi yang berkembang pesat adalah bioplastik, yaitu plastik yang berasal dari bahan alami yang dapat diperbarui seperti pati, selulosa, lignin, kitosan, dan polisakarida lainnya. Bioplastik memiliki keunggulan utama berupa kemampuan terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme serta emisi karbon yang lebih rendah selama proses produksinya. Studi oleh Chen et al. (2021) menegaskan bahwa bioplastik berbasis polisakarida menunjukkan potensi besar dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan petrokimia.

Di Indonesia, potensi sumber daya hayati untuk bahan baku bioplastik sangat melimpah. Salah satu tanaman yang kurang dimanfaatkan namun memiliki prospek tinggi adalah aren (*Arenga pinnata*). Hampir seluruh bagian tanaman ini dapat dimanfaatkan, mulai dari nira, buah, batang, hingga seratnya. Limbah batang dan buah aren yang melimpah dapat dijadikan sumber biomaterial bernilai ekonomi tinggi jika diolah dengan tepat. Kolang-kaling, hasil olahan buah aren, mengandung galaktomanan, yaitu polisakarida dengan struktur rantai utama manosa dan cabang galaktosa. Galaktomanan dikenal sebagai senyawa pembentuk gel dengan viskositas tinggi, larut dalam air, dan memiliki kemampuan membentuk film. Menurut Singh dan Prasad (2020), galaktomanan dapat berfungsi sebagai bahan dasar pembuatan film bioplastik karena sifat mekanik dan kemampuan pengikat air yang baik.

Galaktomanan dari kolang-kaling memiliki karakteristik unik dibandingkan dengan sumber lain seperti guar gum atau locust bean gum. Penelitian oleh Rachman et al. (2022) menunjukkan bahwa galaktomanan kolang-kaling memiliki rasio galaktosa:manosa sebesar 1:2,5 yang memberikan sifat fleksibilitas dan transparansi lebih baik pada film bioplastik. Hal ini menjadikan kolang-kaling sumber polisakarida potensial untuk pengembangan bioplastik fungsional. Sementara itu, nanocellulose merupakan material penguat (reinforcement) yang telah banyak diteliti untuk memperbaiki sifat mekanik bioplastik. Nanocellulose diperoleh melalui proses hidrolisis dari selulosa yang terdapat pada biomassa lignoselulosa. Dengan ukuran partikel di bawah 100 nm, nanocellulose memiliki luas permukaan yang tinggi dan kekuatan tarik mencapai 10 kali lipat dibandingkan baja per satuan berat (Moon et al., 2011).

Batang aren mengandung sekitar 45–50% selulosa, 20–25% hemiselulosa, dan 25–30% lignin. Struktur ini menjadikannya kandidat ideal untuk sumber nanocellulose yang berkelanjutan. Penelitian oleh Sari dan Kusnadi (2021) membuktikan bahwa batang aren setelah proses delignifikasi dan hidrolisis asam menghasilkan nanocellulose dengan ukuran partikel 70–90 nm dan kristalinitas tinggi, yang sangat baik untuk memperkuat matriks biopolimer. Kombinasi antara galaktomanan dan nanocellulose telah terbukti menghasilkan film bioplastik dengan sifat fungsional yang unggul. Galaktomanan berperan sebagai matriks pembentuk film, sementara nanocellulose berperan sebagai penguat yang meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan air. Menurut studi oleh Zhao et al. (2022), integrasi nanocellulose dalam

matriks polisakarida dapat meningkatkan modulus elastisitas hingga 40% tanpa mengurangi biodegradabilitasnya.

Dalam proses pembuatan bioplastik, metode solvent casting merupakan salah satu teknik yang paling umum digunakan di laboratorium karena kesederhanaannya dan kemampuan menghasilkan film homogen. Prinsip metode ini adalah melarutkan bahan polimer dan aditif dalam pelarut, kemudian menuangkannya ke cetakan datar hingga pelarut menguap dan terbentuk lapisan tipis bioplastik. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya untuk mengontrol ketebalan, transparansi, dan distribusi aditif dengan baik (Wang et al., 2020). Pemilihan plasticizer seperti gliserol juga menjadi faktor penting dalam pembuatan bioplastik. Gliserol mampu meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi kerapuhan film dengan cara menurunkan interaksi hidrogen antar rantai polimer. Namun, konsentrasi gliserol harus dioptimalkan agar tidak menurunkan kekuatan tarik film secara signifikan (Averous, 2019).

Kajian termal dan mekanik terhadap bioplastik berbasis galaktomanan menunjukkan bahwa film yang diperkuat dengan nanocellulose memiliki stabilitas termal lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh interaksi hidrogen yang kuat antara gugus hidroksil nanocellulose dan rantai polisakarida matriks. Penelitian oleh Mahmud et al. (2023) membuktikan bahwa peningkatan konsentrasi nanocellulose hingga 10% dapat meningkatkan suhu dekomposisi termal sebesar 15–20°C. Selain meningkatkan sifat mekanik dan termal, nanocellulose juga berfungsi sebagai barrier agent terhadap uap air dan gas. Karena strukturnya yang kristalin dan rapat, nanocellulose menghambat difusi molekul air melalui matriks bioplastik, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kelembapan. Hal ini sangat penting untuk aplikasi kemasan makanan (Sirviö et al., 2021).

Dalam konteks circular bioeconomy, pemanfaatan limbah biomassa lokal seperti batang aren menjadi bahan baku bioplastik menciptakan nilai tambah ekonomi dan lingkungan. Konsep circular bioeconomy menekankan siklus tertutup sumber daya biologis, di mana limbah pertanian dan kehutanan diubah menjadi produk bernilai tinggi yang dapat kembali ke alam tanpa mencemari (European Commission, 2020). Indonesia sebagai negara agraris memiliki peluang besar dalam penerapan circular bioeconomy berbasis biomassa lokal. Penggunaan sumber daya non-pangan seperti batang aren tidak bersaing dengan rantai pangan dan berkontribusi terhadap ketahanan ekonomi daerah pedesaan. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2024), pengembangan biomaterial berbasis aren dapat mendukung transisi menuju ekonomi hijau nasional.

Dari perspektif teknologi material, penggabungan galaktomanan dan nanocellulose mewakili sinergi antara biopolimer fleksibel dan penguat nano yang memperluas potensi aplikasi bioplastik, termasuk sebagai kemasan makanan, film pelapis, dan wadah biodegradable. Studi oleh Kim et al. (2022) menyebutkan bahwa kombinasi keduanya menghasilkan film yang kuat, transparan, dan mudah terurai di lingkungan alami. Keunggulan lain dari sistem berbasis polisakarida adalah kemampuannya dimodifikasi secara kimiawi untuk meningkatkan sifat fungsional

tertentu, seperti ketahanan termal, hidrofobisitas, atau kompatibilitas dengan bahan aktif alami. Penelitian tentang crosslinking galaktomanan dengan asam sitrat, misalnya, mampu meningkatkan ketahanan air film hingga 30% tanpa mengurangi biodegradabilitas (Shao et al., 2021).

Dalam pengembangan bioplastik, aspek biodegradasi menjadi parameter penting untuk memastikan kesesuaian dengan lingkungan. Bioplastik berbasis galaktomanan dan nanocellulose terdegradasi melalui aktivitas mikroorganisme tanah yang memecah ikatan glikosidik. Uji degradasi oleh Prasetyo et al. (2023) menunjukkan bahwa film bioplastik polisakarida dapat terurai lebih dari 80% dalam waktu kurang dari satu bulan. Aspek keberlanjutan sumber bahan baku juga penting untuk memastikan kelangsungan produksi. Aren merupakan tanaman tropis yang tumbuh subur di Indonesia dan tidak memerlukan input tinggi. Pemanfaatan limbah batang aren pasca penyadapan nira akan membantu mengurangi pemborosan biomassa sekaligus menciptakan rantai nilai baru di sektor pedesaan.

Penelitian terdahulu telah banyak membahas bioplastik berbasis pati, namun kajian terhadap galaktomanan kolang-kaling dan nanocellulose batang aren masih sangat terbatas. Inovasi ARENBIOPACK menawarkan pendekatan baru dalam pengolahan biomassa lokal melalui integrasi proses kimia dan teknologi bahan untuk menghasilkan kemasan ramah lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan teknologi bioplastik, tetapi juga mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) khususnya poin 12 tentang Responsible Consumption and Production dan poin 13 tentang Climate Action. Konsep ARENBIOPACK menjadi representasi konkret dari penerapan circular bioeconomy yang mengubah limbah menjadi sumber daya bernilai ekonomi dan ekologis.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Material Hayati, Fakultas Teknik Universitas Mataram selama periode Maret–Juli 2025. Pendekatan penelitian bersifat eksperimental laboratorium dengan rancangan kuantitatif komparatif, yaitu membandingkan sifat fisik, mekanik, dan biodegradabilitas bioplastik yang diformulasikan dengan berbagai konsentrasi nanocellulose. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kolang-kaling (*Arenga pinnata*) sebagai sumber galaktomanan dan batang aren sebagai sumber nanocellulose. Bahan tambahan meliputi gliserol sebagai plasticizer, NaOH dan H₂SO₄ untuk proses isolasi, serta aquadest sebagai pelarut. Semua bahan diperoleh dari sumber lokal di Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat.

Tahap pertama adalah preparasi bahan kolang-kaling. Buah kolang-kaling segar dicuci, dikupas, dan dipotong kecil, kemudian dikeringkan pada suhu 50°C selama 24 jam. Setelah kering, bahan digiling hingga menjadi serbuk halus untuk memudahkan proses ekstraksi galaktomanan. Ekstraksi galaktomanan dilakukan dengan metode perendaman serbuk kolang-kaling dalam air panas (80°C) dengan rasio 1:10 selama 2

jam sambil diaduk konstan. Larutan hasil ekstraksi kemudian disaring menggunakan kain muslin untuk memisahkan residu padat, kemudian diendapkan menggunakan etanol 96% dengan perbandingan 1:3 untuk memisahkan fraksi galaktomanan murni.

Endapan galaktomanan yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga berat konstan, lalu digiling dan diayak menggunakan saringan 100 mesh. Serbuk halus galaktomanan ini disimpan dalam wadah tertutup rapat sebagai bahan dasar pembuatan film bioplastik. Tahap berikutnya adalah isolasi nanocellulose dari batang aren. Batang aren dikeringkan, dihaluskan menjadi serbuk, kemudian dilakukan delignifikasi dengan larutan NaOH 4% pada suhu 90°C selama 3 jam. Proses ini bertujuan menghilangkan lignin dan hemiselulosa yang tidak diinginkan.

Setelah pencucian hingga pH netral, serat hasil delignifikasi kemudian dihidrolisis menggunakan larutan H₂SO₄ 45% pada suhu 50°C selama 45 menit untuk menghasilkan nanocellulose. Campuran kemudian didinginkan, disentrifugasi, dan dibilas berulang kali hingga pH netral. Suspensi nanocellulose yang terbentuk disonikasi selama 15 menit dengan daya 200 watt untuk mendispersikan partikel hingga ukuran nano. Hasilnya dikarakterisasi menggunakan Particle Size Analyzer (PSA) dan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk memastikan ukuran dan morfologi partikel.

Setelah kedua bahan utama siap, dilakukan proses pembuatan film bioplastik menggunakan metode solvent casting. Galaktomanan dilarutkan dalam air panas (70°C) dengan konsentrasi 5% (w/v) sambil diaduk hingga homogen. Selanjutnya, nanocellulose ditambahkan ke dalam larutan dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% (b/b) dari berat total galaktomanan. Ke dalam campuran tersebut ditambahkan gliserol sebesar 25% (v/w) dari volume larutan untuk meningkatkan fleksibilitas film. Campuran diaduk dengan magnetic stirrer selama 30 menit hingga homogen, kemudian dilakukan degassing untuk menghilangkan gelembung udara.

Larutan film yang homogen kemudian dituangkan ke dalam cetakan akrilik berukuran 20 × 20 cm, lalu dikeringkan pada suhu kamar selama 48 jam hingga pelarut menguap sempurna. Film yang dihasilkan dilepaskan dari cetakan dan disimpan dalam ruang desikator selama 24 jam sebelum dilakukan karakterisasi. Karakterisasi sifat mekanik dilakukan dengan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai standar ASTM D882 untuk menentukan kekuatan tarik (tensile strength) dan perpanjangan saat putus (elongation at break). Setiap sampel diuji sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata.

Uji morfologi permukaan dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) pada perbesaran 500x hingga 2000x untuk mengamati distribusi nanocellulose dan homogenitas matriks film. Morfologi yang halus dan tanpa pori besar menunjukkan kompatibilitas yang baik antara fase matriks dan filler. Sifat ketahanan air diuji menggunakan metode water absorption test, yaitu dengan merendam potongan film berukuran 2 × 2 cm dalam air pada suhu kamar selama 24 jam. Persentase penyerapan air dihitung berdasarkan perbedaan berat sebelum dan sesudah perendaman.

Uji biodegradabilitas dilakukan dengan metode penguburan tanah (soil burial test). Potongan film dikubur pada kedalaman 5 cm di tanah lembap dengan kelembapan 70%. Sampel diambil setiap 7 hari hingga 28 hari, lalu ditimbang kembali untuk menentukan persentase degradasi berat. Uji analisis termal dilakukan menggunakan Thermogravimetric Analysis (TGA) untuk mengetahui suhu dekomposisi dan kestabilan termal film. Data TGA membantu memahami pengaruh nanocellulose terhadap ketahanan panas bioplastik galaktomanan.

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan pendekatan statistik ANOVA satu arah untuk menilai pengaruh signifikan variasi konsentrasi nanocellulose terhadap kekuatan mekanik, ketahanan air, dan laju biodegradasi. Tingkat signifikansi ditetapkan pada $\alpha = 0,05$. Validasi hasil dilakukan dengan membandingkan nilai optimum yang diperoleh dengan data dari literatur terdahulu tentang bioplastik berbasis galaktomanan dan nanocellulose. Pendekatan ini digunakan untuk memastikan kesesuaian hasil penelitian dengan teori dan standar ilmiah yang telah ada.

Untuk memastikan keberlanjutan konsep circular bioeconomy, dilakukan pula analisis sederhana daur hidup (life cycle assessment) terhadap proses produksi bioplastik, mencakup input energi, efisiensi penggunaan bahan baku, dan potensi limbah residu. Tujuannya adalah menilai sejauh mana ARENBIOPACK berkontribusi terhadap pengurangan dampak lingkungan dibandingkan plastik konvensional. Seluruh hasil pengujian kemudian disintesis dalam bentuk evaluasi komprehensif, yang meliputi performa teknis, kemudahan proses, dan keberlanjutan lingkungan. Hasil tersebut menjadi dasar rekomendasi pengembangan ARENBIOPACK ke tahap scale-up produksi dan penerapan industri kemasan ramah lingkungan berbasis biomassa aren di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Gelatin ArenBioPack

1. Ekstraksi Galaktomanan dari Kolang-Kaling

Proses awal dimulai dengan mengekstraksi galaktomanan dari buah kolang-kaling (*Arenga pinnata*). Buah kolang-kaling segar dibersihkan dari kotoran, kemudian dikeringkan untuk mengurangi kadar air. Selanjutnya, kolang-kaling dihancurkan hingga menjadi bubur halus, lalu diekstraksi menggunakan pelarut air panas atau alkohol untuk memisahkan galaktomanan dari fraksi lainnya. Cairan hasil ekstraksi disaring, kemudian diendapkan dan dikeringkan hingga menghasilkan bubuk galaktomanan murni. Galaktomanan ini merupakan polisakarida yang memiliki sifat film-forming dan sangat potensial sebagai bahan dasar bioplastik karena kemampuannya membentuk lapisan yang fleksibel dan dapat terurai secara hayati.

2. Produksi Nanocellulose dari Limbah Batang Aren

Selanjutnya, nanocellulose diproduksi dari limbah batang aren, yang biasanya terbuang sebagai residu pertanian. Limbah batang aren dikeringkan terlebih dahulu, kemudian digiling menjadi serbuk kasar. Proses dilanjutkan dengan perlakuan kimia menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) untuk menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, sehingga diperoleh pulp selulosa murni. Pulp ini kemudian diproses secara mekanik melalui blender berkecepatan tinggi atau ultrasonikasi untuk menghasilkan nanocellulose berserat nano. Nanocellulose ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan sifat penguat (reinforcement) yang sangat baik ketika dikombinasikan dalam matriks bioplastik.

3. Formulasi Larutan Komposit Galaktomanan-Nanocellulose

Tahapan berikutnya adalah pencampuran galaktomanan dan nanocellulose ke dalam larutan komposit. Bubuk galaktomanan dilarutkan dalam air suling hangat, kemudian ditambahkan plasticizer alami seperti gliserol untuk meningkatkan fleksibilitas film bioplastik. Setelah homogen, nanocellulose ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan dan diaduk menggunakan stirrer magnetik atau sonikator agar tercampur merata pada level molekuler. Proses ini menghasilkan larutan viskoelastis yang siap dijadikan film bioplastik. Komposisi bahan dan homogenitas campuran sangat menentukan kekuatan mekanik dan stabilitas film yang dihasilkan.

4. Pembentukan Film Bioplastik melalui Metode Solvent Casting

Setelah larutan siap, proses pembentukan film dilakukan menggunakan metode solvent casting. Larutan komposit dituangkan secara merata ke dalam cetakan datar, seperti petri dish atau permukaan kaca bersih. Kemudian, larutan dibiarkan mengering secara perlahan pada suhu ruang atau dalam oven bersuhu rendah ($\pm 40-50^{\circ}\text{C}$) selama 24-48 jam hingga seluruh pelarut menguap. Setelah kering sempurna, lapisan film yang terbentuk diangkat dari cetakan. Hasilnya adalah lembaran bioplastik transparan dan lentur yang dapat langsung diuji atau diterapkan sebagai kemasan.

5. Pengujian Karakteristik dan Aplikasi Bioplastik

Langkah terakhir adalah pengujian karakteristik fisik dan aplikatif dari bioplastik yang dihasilkan. Beberapa parameter penting yang diuji meliputi ketahanan tarik, kelenturan, tingkat degradasi, serta keamanan migrasi bahan untuk kemasan pangan. Hasil film bioplastik berbasis galaktomanan dan nanocellulose ini ideal untuk digunakan sebagai kemasan makanan ramah lingkungan, edible film, atau label biodegradable. Selain itu, bahan ini memiliki potensi untuk mendukung ekonomi sirkular, terutama di wilayah seperti NTB yang kaya akan sumber daya lokal namun belum memanfaatkan secara optimal dalam bentuk nilai tambah berbasis teknologi hijau.

Gambar 3. Ilustrasi Proses Produksi Gelatin ArenBioPack



Sumber : Penulis, 2025.

Pihak Terkait

Dalam penerapan inovasi ArenBioPack, sinergi antar pemangku kepentingan menjadi kunci utama untuk menciptakan ekosistem inovasi yang berkelanjutan dan inklusif. Setiap stakeholder memiliki peran strategis dan saling melengkapi mulai dari hulu (penyedia bahan baku) hingga hilir (pasar dan regulasi).

1. Dinas Kehutanan dan Lingkungan Hidup, berperan memberikan arahan teknis dan kebijakan dalam pengelolaan limbah pohon aren, termasuk potensi pemanfaatannya sebagai sumber bahan baku nanocellulose dan bagian dari ekonomi sirkular daerah. Selain itu, dinas ini turut mendorong kebijakan zero waste dan kampanye pengurangan plastik konvensional.
2. Dinas Koperasi dan UMKM, bertanggung jawab dalam pengembangan kapasitas SDM dan penguatan kelembagaan UMKM yang akan mengolah bioplastik ini secara mandiri. Pendampingan diberikan mulai dari produksi, manajemen, hingga strategi pemasaran produk ramah lingkungan.
3. Lembaga Pendidikan dan Riset, seperti Universitas Mataram, memiliki peran sebagai pusat inovasi formulasi bioplastik dan pengujian mutu material. Keterlibatan akademisi menjamin bahwa produk ArenBioPack berbasis sains dan memenuhi standar keamanan serta fungsionalitas kemasan pangan.
4. Lembaga Pendanaan seperti Bank NTB Syariah atau LPDB-KUMKM, berfungsi sebagai pemberi modal usaha. Melalui skema pembiayaan hijau (green financing), lembaga ini menyediakan akses permodalan untuk pelaku UMKM produsen bioplastik, sekaligus memfasilitasi inkubasi dan scale-up produksi.
5. Marketplace Terintegrasi, baik berupa platform lokal seperti Lombok Inovasi atau e-commerce nasional, menjadi saluran distribusi utama untuk memasarkan produk bioplastik secara luas. Platform ini juga dapat dilengkapi fitur pelabelan eco-friendly dan tracking biodegradasi untuk menarik konsumen sadar lingkungan.
6. Pemerintah Provinsi NTB, bertindak sebagai penggerak ekosistem melalui regulasi dan fasilitasi lintas sektor. Melalui program NTB Hijau dan NTB Zero Waste, pemerintah membuka ruang kolaborasi antara komunitas, akademisi, industri, dan pelaku usaha dalam mendorong produksi material alternatif lokal.

7. Komunitas dan Konsumen, menjadi penguat hilirisasi inovasi. Kesadaran masyarakat terhadap pentingnya produk ramah lingkungan dan dukungan komunitas lingkungan seperti Gerakan Plastik Boleh Kurang (GPBK) atau Bank Sampah NTB menjadi pendorong adopsi ArenBioPack di tingkat rumah tangga dan UMKM.

Langkah Implementasi Berkelanjutan ArenBioPack (2025–2030)

Gambar 4. Pengimplementasian ArenBioPack 2025-2030



Sumber : Penulis, 2025.

Analisis SWOT

1. Strengths (Kekuatan)

- Bahan baku lokal dan melimpah: Kolang-kaling dan limbah batang aren banyak dijumpai di NTB, namun belum dimanfaatkan optimal.
- Ramah lingkungan: Bioplastik ini biodegradable dan mendukung pengurangan limbah plastik konvensional.
- Zero-waste concept: Kombinasi buah dan limbah pohon aren mengusung prinsip circular bioeconomy.

2. Weaknesses (Kelemahan)

- Skalabilitas produksi terbatas: Produksi solvent casting masih manual dan membutuhkan alat khusus untuk efisiensi besar.
- Ketahanan bioplastik masih perlu riset: Daya tahan terhadap air, suhu, dan beban belum sekuat plastik sintesis.
- Distribusi bahan baku terpisah: Kolang-kaling dan batang aren tidak selalu diolah di tempat yang sama, perlu logistik.

3. Opportunities (Peluang)

- Dukungan tren global dan nasional: Pengurangan plastik sekali pakai menjadi prioritas regulasi nasional dan daerah.
- Pasar kemasan pangan alami: Potensi pasar besar untuk buah lokal, makanan ringan, dan produk tradisional NTB.
- CSR dan dana hijau (green fund): Bisa didukung oleh program CSR industri, dana desa hijau, hingga pembiayaan berbasis SDG.
- Integrasi ke pendidikan dan UMKM: Bisa dijadikan modul pelatihan sekolah dan program kewirausahaan hijau di kampus/vokasi.

4. Threats (Ancaman)

- a. Persaingan dengan bioplastik industri besar: Misalnya PLA atau PHA dari perusahaan global yang memiliki kapasitas besar dan teknologi tinggi.
- b. Harga jual lebih tinggi dari plastik biasa: Bioplastik lokal masih cenderung lebih mahal jika diproduksi manual.
- c. Ketergantungan terhadap musim: Produksi kolang-kaling dan panen batang aren bisa terpengaruh musim dan cuaca.

PENUTUP

Hadirnya inovasi ArenBioPack sebagai model kreativitas berbasis potensi lokal menawarkan solusi nyata terhadap isu lingkungan sekaligus membuka peluang ekonomi hijau yang inklusif. Dengan memanfaatkan galaktomanan kolang-kaling dan nanocellulose dari limbah batang aren, inovasi ini mendukung pengurangan limbah plastik serta pemberdayaan masyarakat NTB melalui pengembangan produk ramah lingkungan. Inovasi ini juga sejalan dengan pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) poin ke-12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab, serta poin ke-8 tentang pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi. Ke depan, ArenBioPack diharapkan menjadi bagian dari ekosistem industri hijau nasional yang mengintegrasikan teknologi, keberlanjutan, dan kemandirian masyarakat menuju terwujudnya Green Society 5.0.

REFERENSI

- Ahleyani, M., Pratama, A. K., Sihombing, R. A., Astuti, I. W., Fikar, A., & Nusantar, H. (2025). Revitalization of Dompu Traditional Industry as a Pillar of Creative Economy Based on Local Culture. *Buletin Ekonomika Pembangunan*, 6(2).
- Ahleyani, M., Sihombing, R. A., Manurung, S. M., Gea, D., & Ardewi, P. G. (2025). Comparative Analysis of CBL and PBL in the Department of Electrical Engineering at Ailangga University. *WIRL: World of Immersive Learning*, 2(1), 31-37.
- Ahleyani, M., & Wiryajati, I. K. (2025). Biogas Energy Prediction as a Green Energy Producer in West Lombok Using a Statistical Approach. *International Journal of Informatics and Computation*, 7(1), 178-192.
- Arrieta, M. P., Fortunati, E., Dominici, F., Rayón, E., López, J., & Kenny, J. M. (2017). Multifunctional PLA-PHB/cellulose nanocrystal films: Processing, structural and thermal properties. *Carbohydrate Polymers*, 160, 43-53.
- Bappeda NTB. (2023). Program NTB Hijau dan NTB Zero Waste. Pemerintah Provinsi NTB.
- Dong, Z., Zhang, X., & Li, J. (2024). Future projections of global plastic production and waste. *Environmental Science & Technology*.
- Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59, 526-536.
- European Bioplastics. (2024). *Bioplastics Market Data 2023*.

- Factor NIEHS. (2023). Health impacts of plastic particles on endocrine systems. National Institute of Environmental Health Sciences.
- Gallon, T. Et al. (2024). Nanoplastics in marine food chains and human health risk. *Nature Sustainability*, 7(3), 201–213.
- Geneva Environment Network. (2023). *Plastics and Human Health: Emerging Evidence*.
- Lehner, R., et al. (2021). Health impacts of microplastic exposure. *Science*, 373(6550), 1313–1317.
- Mulyani, S., Haryadi, W., & Fatimah, D. (2020). Karakterisasi Galaktomanan Kolang-Kaling untuk Edible Film. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 13(1), 55–63.
- Nordin, N., Sanyang, M. L., & Jawaid, M. (2021). Characteristics of starch-based bioplastics: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 304–318.
- Plastic Overshoot Report. (2025). *Plastic Leakage and Waste Management Analysis*. GAIA Foundation.
- Rahmantya, Y. (2022). *Potensi dan Pengelolaan Sumber Daya Ikan Indonesia*. KPDA_2022.
- Ramadhan, D., & Ahleyani, M. (2025). Efektivitas Sistem Seedtrack Berbasis Blockchain Dalam Tata Kelola Lingkungan Hutan Rakyat. *Jurnal Nawala Politika*, 3(1), 49-68.
- Ramadhan, D., Ahleyani, M., Lestari, I. G. A. C. W., Ramadhan, H. O., & Yolanda, S. (2025). SINERGISTA (Agrotourism Synergy): A Sustainable Tourism Development Strategy Based on Digitalization Through the Pentahelix Collaboration Model to Support the 2030 SDGs. *The Eastasouth Journal of Information System and Computer Science*, 3(01), 125-138.
- Ranjiv A.A Sihombing, etc., "Utilization of Sugarcane Bagasse Waste for Eco-Friendly Roofing: Synergy of Agrowaste Management and Sustainable Architecture ", *Nexus: Journal of Cross-Disciplinary Insights*, Vol. 1, No. 1, 2025, P. 45-56.
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2016). Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch. *Polymers*, 8(7), 246.
- Setyawati, A., Pratiwi, F., & Nugroho, R. A. (2020). Pembuatan nanocellulose dari limbah batang aren sebagai bahan penguat bioplastik. *Jurnal Riset Teknologi dan Inovasi*, 3(2), 90–97.
- Sopyan, I., Hidayat, T., & Kurniawan, A. (2021). Limbah batang aren dan potensi pemanfaatannya sebagai biomaterial. *Jurnal Inovasi Hasil Pertanian*, 4(1), 40–47.
- Zhang, Y., Wu, L., & Chen, Y. (2023). Challenges and future trends of biodegradable plastics. *Materials Today Sustainability*, 21, 100260.
- NPAP (National Plastic Action Partnership). (2020). *Radical Collaboration for Action on Plastic Waste in Indonesia*.
- KLHK. (2023). *Status Sampah Nasional 2023*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup

- dan Kehutanan Republik Indonesia. hocka, A. (2016). Understanding defensive and secure in-group positivity: The role of collective narcissism. *European Review of Social Psychology, 27*(1), 283–317.
- Hidayat, R., & Khalika, N. N. (2019). Bisnis dan Kontroversi Gerakan Indonesia Tanpa Pacaran. Retrieved October 17, 2019, from tirta.id website: <https://tirta.id/bisnis-dan-kontroversi-gerakan-indonesia-tanpa-pacaran-cK25>
- Ikhwan, M. (2019). Ulama dan Konservatisme Islam Publik di Bandung: Islam, Politik Identitas, dan Tantangan Relasi Horizontal. In I. Burdah, N. Kailani, & M. Ikhwan (Eds.), *Ulama, Politik, dan Narasi Kebangsaan*. Yogyakarta: PusPIDeP.
- Kamba, M. N. (2018). *Kids Zaman Now Menemukan Kembali Islam*. Tangerang Selatan: Pustaka IIMaN.
- Madjid, N. (2002). *Manusia Modern Mendamba Allah: Renungan Tasawuf Positif*. Jakarta: IIMaN & Hikmah.
- Marchlewska, M., Cichocka, A., Łozowski, F., Górska, P., & Winiewski, M. (2019). In search of an imaginary enemy: Catholic collective narcissism and the endorsement of gender conspiracy beliefs. *The Journal of Social Psychology, 159*(6), 766--779.
- Miller, A. E., & Josephs, L. (2009). Whiteness as pathological narcissism. *Contemporary Psychoanalysis, 45*(1), 93–119.
- Rakhmat, J. (1989). *Islam Alternatif*. Bandung: Mizan.