



Karakteristik Fisik, Mekanik, dan Sensoris Bioplastik Pati Aren dengan Sodium Tripolifosfat

Physical, Mechanical, and Sensory Characteristics of Bioplastic Arenga Starch with Sodium Tripolyphosphate

Muhammad Fawzul Alif Nugroho ^{*,1}, Syahraeni Kadir ¹, Abdul Rahim ¹, Ade Irma Suriyani ¹

¹ Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: muhammad.fawzul23@gmail.com

Abstrak. Penggunaan plastik sebagai bahan kemasan pangan terus meningkat secara global yang dapat menimbulkan dampak lingkungan yang serius. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan mengembangkan biopolimer ramah lingkungan dari sumber terbarukan seperti tumbuhan, hewan, alga dan mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh konsentrasi Pati Aren Terfosforilasi (PAT) yang menghasilkan bioplastik terbaik. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 11 taraf perlakuan konsentrasi PAT (b/v) dan tiga ulangan, sehingga diperoleh 33 unit percobaan. Data dianalisis dengan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) ($p < 0,05$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi PAT sebesar 8% memberikan karakteristik terbaik. Ketebalan bioplastik meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi PAT. Daya serap air dan minyak, laju transmisi uap air, modulus Young, dan kekuatan tarik menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi PAT. Nilai biodegradasi dan perpanjangan bioplastik cenderung stabil dengan meningkatnya konsentrasi pati aren terfosforilasi. Tingkat kesukaan sensoris terhadap warna dan tekstur edible film cenderung meningkat seiring peningkatan konsentrasi PAT.

Kata kunci: Pati aren, Bioplastik, Sodium Tripolifosfat.

Abstract. The use of plastic as food packaging material continues to increase globally, which can lead to serious environmental impacts. One solution to address this issue is to develop environmentally friendly biopolymers from renewable sources such as plants, animals, algae, and microorganisms. This study aims to obtain the concentration of Phosphorylated Arenga Starches (PAS) that produced the best bioplastics. The study used a completely randomized design (CRD) and randomized block design (RBD) with 11 treatment levels of PAS concentrations (b/v) and three replications so that the number of experimental units is 33 units. Research parameters include physical, mechanical, and sensory characteristics. The results indicated that the concentration of 8% PAS gave the best characteristics. The thickness of the bioplastic increased with the increase in the concentration of PAS. Water and oil holding capacity, water vapor transmission rate, Young's modulus, and tensile strength decreased with increasing concentration of PAS. The value of biodegradation and elongation of bioplastics was stable as the concentration of phosphorylated arenga starches increased. The sensory properties of bioplastics tended to rise with the increase in the concentration of phosphorylated arenga starches.

Keywords: Arenga starch, Bioplastic, Sodium Tripolyphosphate.

1. Pendahuluan

Penggunaan plastik sebagai bahan kemasan pada produk pangan bukanlah hal yang asing. Bahan ini ringan, tahan lama, beragam serta mampu mengatasi permasalahan transportasi dan penyimpanan (Springle *et al.*, 2022). Plastik dihasilkan dari material polimer yang menjadi fleksibel pada suhu tinggi tertentu dan akan mengeras kembali setelah didinginkan (Behera *et al.*, 2022). Diperkirakan bahwa produksi plastik dalam dua dekade mendatang akan mengalami lonjakan akibat penggunaannya secara global. Komersialisasi polimer berbasis minyak bumi sangat merugikan lingkungan (Alves *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023). Meningkatnya peluang untuk memanfaatkan bahan biologis merupakan salah satu solusi untuk mengatasi berbagai dampak lingkungan, sekaligus meningkatkan daya saing melalui produksi produk organik baru dengan biaya yang lebih rendah (Buonvino *et al.*, 2023), yang dikenal dengan istilah bioekonomi, yaitu penerapan bioteknologi dalam proses produksi yang berbasis pada konsumsi sumber daya dan yang dapat diperbarui (Rebolledo-Leiva *et al.*, 2023). Para peneliti telah meneliti biopolimer ramah lingkungan dan tidak beracun yang berasal dari sumber terbarukan seperti mikroorganisme, hewan, tumbuhan, dan alga melalui monomer yang diperoleh dari bahan organik, baik melalui proses polimerisasi biokimia maupun secara langsung dari senyawa makromolekul (Lisha *et al.*, 2022). Jenis polimer berbasis hayati yang saat ini tersedia di pasaran antara lain plastik yang berasal dari selulosa, pati dan asam polilaktat (*polylactic acids*/PLA) (Perez-Puyana *et al.*, 2022).

Pati merupakan bahan yang mudah terurai secara alami dan dapat diperoleh dengan mudah dari berbagai jenis tanaman. Sifat-sifat pati akan bervariasi tergantung pada sumber tanamannya, komposisi amilosa/amilopektin, pola kristalisasi, sifat gelatinisasi, viskositas, kekakuan, serta kemampuan mengikat air atau sifat reologisnya (Chen *et al.*, 2022). Oleh karena itu, modifikasi pada pati dapat meningkatkan sifat fungsional penting dalam industri material polimer. Saat ini, pati telah diproduksi dari berbagai sumber nabati seperti kentang, singkong, sagu, aren, dan lainnya. Penggunaan pati, terutama dalam industri pangan seperti pati resisten, dapat meningkatkan kesehatan tubuh dan sebagai bahan bioplastik, dikarenakan oleh kandungan amilosa yang tinggi (Kou *et al.*, 2023).

Tanaman aren (*Arenga pinnata* (Wurmb) Merr.) merupakan jenis tanaman palma yang tumbuh di hutan tropis, termasuk di Indonesia. Tanaman ini dapat tumbuh secara liar (Upadhyaya & Sonawane, 2023) dan digolongkan sebagai tanaman serbaguna karena merupakan bahan baku pada berbagai produk industri makanan dan minuman, farmasi, maupun peralatan rumah tangga (Ansar *et al.*, 2021). Pohon aren, terutama pada bagian batangnya, menyimpan pati dalam jumlah besar dan memiliki potensi sebagai bahan dalam pembuat bioplastik. Meskipun dapat digunakan sebagai bahan dasar bioplastik, pati alami umumnya memiliki sifat fisikokimia, mekanik,

fungsional, dan sensori yang kurang baik dibandingkan dengan pati yang telah dimodifikasi (Rahim *et al.*, 2020). Salah satu metode modifikasi adalah metode *cross-linking*. Metode ini merupakan modifikasi pati secara kimia dengan penambahan sodium fosfat. Penambahan fosfat pada pati dapat meningkatkan kekuatan dan stabilitas termal bioplastik (Liutyi *et al.*, 2022; Wang & Ma, 2022), namun informasi mengenai modifikasi pati aren menggunakan fosfat masih terbatas. Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan penelitian mengenai bioplastik yang berbahan dasar pati aren dengan penambahan Sodium Tripolifosfat (STPP) sebagai agen *cross-linking* pada berbagai konsentrasi untuk mengevaluasi karakteristik fisik, mekanik, dan sensoris dari bioplastik yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh konsentrasi Pati Aren Terfosforilasi (PAT) yang menghasilkan bioplastik terbaik.

2. Bahan dan Metode

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari pati aren yang diperoleh dari pohon aren (*Arenga pinnata*). Sodium tripolifosfat (STPP), natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), etanol, gliserol, dan asam asetat yang diperoleh dari Merck (Darmstadt, Jerman). Akuades dan minyak zaitun diperoleh dari Laboratorium Agroindustri, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako, Sulawesi Tengah, Indonesia. Semua bahan kimia yang digunakan untuk analisis bioplastik memiliki tingkat kemurnian analitik (*analytical grade*).

Penelitian ini disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial atau satu faktor, yang terdiri atas sebelas taraf perlakuan dan diulang sebanyak tiga kali, sehingga terdapat 33 satuan percobaan. Taraf perlakuan yang digunakan adalah konsentrasi PAT (Pati Aren Terfosforilasi) yang terdiri atas 6%; 6,5%; 7%; 7,5%; 8%; 8,5%; 9%; 9,5%; 10%; 10,5%; dan 11% (b/v).

Modifikasi pati secara *cross-linking* dilakukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Rahim *et al.* (2020) dengan sedikit modifikasi. Suspensi yang terdiri dari pati aren (50 g) dan akuades (112,5 mL) diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama satu jam pada suhu ruang. Selanjutnya, sebanyak 50 g pati dilarutkan dalam 100 mL akuades pada pH 10 dengan penambahan NaOH 3% (b/v) sambil diteteskan STPP 4%, lalu diaduk menggunakan alat pengaduk (*stirrer*). Proses berikutnya adalah penambahan HCl 0,1 N hingga mencapai pH 5,5. Endapan pati yang diperoleh dicuci dengan air sebanyak 150 mL sebanyak tiga kali. Setelah itu, pati dikeringkan menggunakan oven pengering (*drier cabinet*) pada suhu 50°C selama 12 jam, kemudian digiling dan diayak menggunakan ayakan berukuran 80 mesh.

Pembuatan bioplastik dilakukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh (Rahim *et al.*, 2020) dengan sedikit modifikasi. Pati aren terfosforilasi digunakan dengan 11 taraf konsentrasi, yaitu 6,0%; 6,5%; 7,0%; 7,5%; 8,0%; 8,5%; 9,0%; 9,5%; 10,0%; 10,5%; dan 11% (b/v). Ke dalam

larutan tersebut ditambahkan gliserol sebanyak 0,5% (b/v) dan akuades sebanyak 150 mL. Larutan dipanaskan di atas *hotplate* hingga suhu 85°C sambil terus diaduk, kemudian ditambahkan 1 mL asam asetat. Proses pemanasan dilanjutkan hingga terbentuk gel. Larutan kemudian diaduk selama 10 menit dan dituangkan ke dalam cetakan strip berbahan *stainless steel*, lalu dikeringkan pada suhu ruang selama empat hari. Bioplastik yang diperoleh kemudian dianalisis sifat fisik, mekanik, dan sensorisnya.

Variabel fisik yang diamati meliputi ketebalan bioplastik ([Santana et al., 2018](#)), *Water Holding Capacity* (WHC) dan *Oil Holding Capacity* (OHC) ([Beghetto et al., 2020](#)), *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR) menggunakan metode ASTM International-E96, dan biodegradasi. Variabel mekanis yang diamati meliputi, kekuatan tarik, perpanjangan saat putus (*elongation at break*), dan penentuan modulus Young yang diukur menggunakan *Mechanical Universal Testing Machine* (Model LR30K, LLOYD Instruments Ltd., Hampshire, England) ([ASTM American Standar Testing and Material E96/E96M-16, 2010](#)). Variabel sensoris yang diamati adalah tingkat kesukaan bioplastik terhadap warna, tekstur, aroma dan keseluruhan ([Okokon & Okokon, 2019](#)).

Seluruh data diuji dalam tiga ulangan, dan dianalisis menggunakan analisis ragam satu arah (ANOVA) dengan perangkat lunak SPSS versi 22, yang kemudian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ). Perbedaan dianggap signifikan secara statistik pada taraf kepercayaan $p < 0,05$.

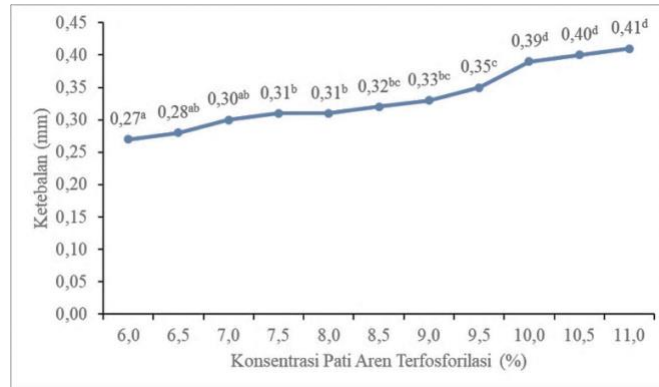
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Ketebalan

Ketebalan merupakan salah satu parameter penting yang memengaruhi kualitas bioplastik. Ketebalan akan memengaruhi kualitas sifat fisik dan mekanik bioplastik dari bioplastik. Hasil ANOVA dan uji BNJ menunjukkan bahwa penggunaan PAT (Pati Aren Terfosforilasi) dengan berbagai konsentrasi yang dimodifikasi menggunakan STPP memberikan perbedaan yang nyata terhadap ketebalan bioplastik ($p < 0,05$). Ketebalan dengan rerata terbesar diperoleh pada perlakuan 11% dengan nilai 0,41 mm, sedangkan rerata ketebalan terkecil terdapat pada perlakuan 6% dengan nilai 0,27 mm. Peningkatan ketebalan bioplastik dipengaruhi oleh meningkatnya kadar pati aren terfosforilasi ([Gambar 1](#)).

Konsentrasi pati termodifikasi menggunakan STPP pada kisaran 6 hingga 7% menghasilkan bioplastik dengan rerata ketebalan 0,27–0,30 mm. Peningkatan ketebalan bioplastik diduga disebabkan oleh reaksi *cross-linking* akibat peningkatan konsentrasi STPP. Menurut [Rahim et al. \(2020\)](#) bahwa STPP berfungsi sebagai agen *cross-linking* yang dapat membentuk jaringan polimer menjadi lebih padat. Pada penelitian yang dilakukan oleh [Marichelvam et al. \(2019\)](#) menunjukkan bahwa ketebalan bioplastik yang dibuat dari pati jagung dan tepung beras adalah 0,25 mm, yang dapat digunakan sebagai kantong plastik *biodegradable*. Sementara itu, penambahan pati talas

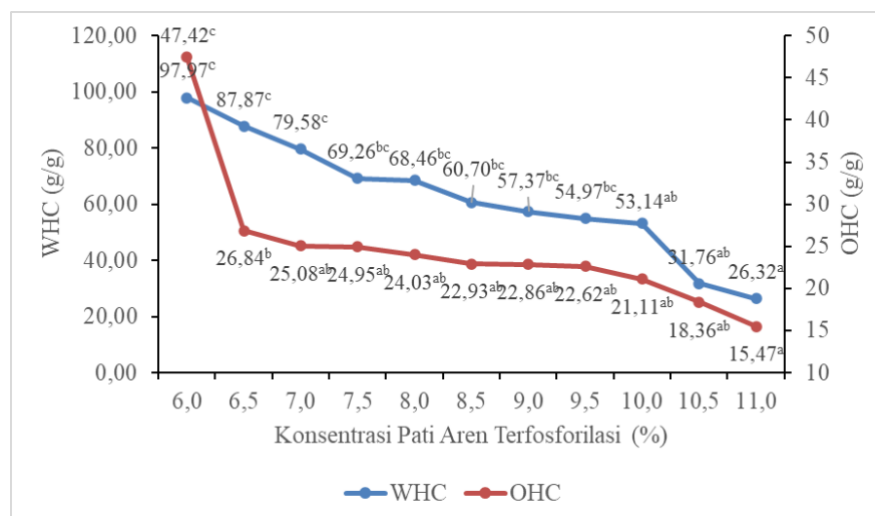
(tannia) dengan komposisi 20% memberikan hasil optimal pada bioplastik dengan ketebalan rata-rata 0,21–0,29 mm ([Christwardana et al., 2021](#)). Menurut [Anggraini et al. \(2017\)](#) ketebalan bioplastik dipengaruhi oleh jumlah total padatan dalam larutan serta luas dan volume larutan dalam cetakan.



Gambar 1. Ketebalan Bioplastik Pada Berbagai Konsentrasi Pati Aren Terfosforilasi

3.2. WHC (*Water Holding Capacity*) dan OHC (*Oil Holding Capacity*)

Berdasarkan grafik rerata *Water Holding Capacity* (WHC) dan *Oil Holding Capacity* (OHC) pada [Gambar 2](#) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi STPP menyebabkan penurunan nilai WHC dan OHC pada bioplastik. Nilai WHC terendah pada perlakuan 11% sebesar 26,32 dan tertinggi pada perlakuan 6% sebesar 97,97. Hal serupa terjadi pada nilai OHC dengan terendah pada perlakuan 11% yaitu sebesar 15,47 dan tertinggi pada perlakuan 6% yaitu sebesar 47,42. Hal tersebut sejalan dengan penelitian [Abel et al. \(2021\)](#) yang menunjukkan bahwa nilai WHC pada bioplastik pati anhidrida masing-masing sebesar 14,67%, 8,34%, 6,06%, dan 4,98%, di mana semakin tinggi konsentrasi pati anhidrida asetat, maka semakin rendah daya serap airnya (WHC). Fenomena ini membuktikan bahwa kemampuan penyerapan air pada setiap jenis bioplastik dipengaruhi oleh sifat hidrofobik atau hidrofiliknya selama perendaman ([Nazarian et al., 2019](#)).

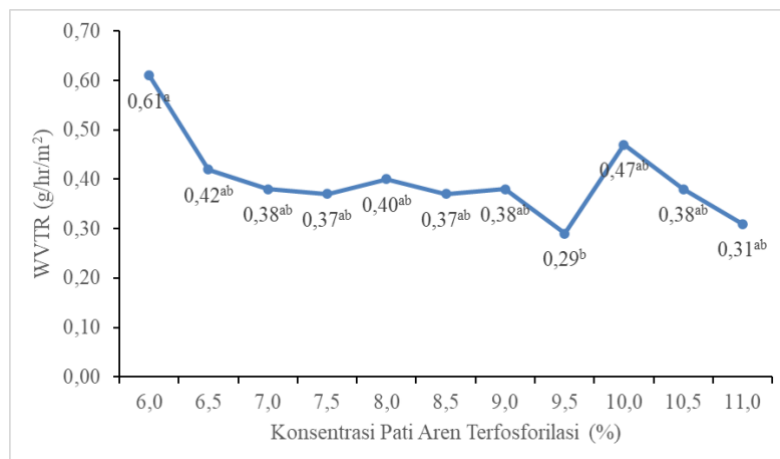


Gambar 2. Rata-Rata WHC dan OHC Bioplastik Pada Berbagai Konsentrasi Pati Aren Terfosforilasi

Penggunaan STPP sebagai bahan aditif bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik bioplastik. Menurut [Hong et al. \(2021\)](#), penguatan sifat mekanik, ketahanan panas, dan sifat penghalang (*barrier*) pada bioplastik diperoleh melalui proses *cross-linking* dengan menggunakan beberapa bahan aditif potensial. Laju polikondensasi yang lebih tinggi menunjukkan adanya gugus polar yang lebih rendah, seperti gugus karboksil dan hidroksil, yang menyebabkan penurunan sifat hidrofobik ([Benítez et al., 2023](#)). Pada kemasan berbusa dari pati kentang, peningkatan konsentrasi PAEAPS-co-PDMS sebagai agen *cross-linking* menyebabkan penurunan sifat hidrofilik kemasan tersebut ([Hassan & Fowler, 2022](#)).

3.3. Laju Transmisi Uap Air (*Water Vapor Transmission Rate*)

Parameter WVTR menunjukkan kemampuan bioplastik mampu menahan kelembaban dari lingkungan. Berdasarkan hasil ANOVA dan uji BNJ, diketahui bahwa nilai WVTR bioplastik pati aren menurun secara signifikan seiring dengan peningkatan konsentrasi STPP dari 6% hingga 11%. Hasil analisis data menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap laju transmisi uap air pada bioplastik pati aren yang difosforilasi, di mana nilai WVTR terendah sebesar 0,29 g/jam/m² diperoleh pada konsentrasi STPP 9,5%, yang berbeda nyata dibandingkan dengan konsentrasi 6% STPP. Grafik rerata WVTR ([Gambar 3](#)) menunjukkan bahwa penurunan WVTR terjadi seiring meningkatnya konsentrasi agen *cross-linking*. Hasil yang sama juga ditemukan oleh [Rahim et al. \(2020\)](#) dimana WVTR bioplastik pati aren yang dimodifikasi dengan penambahan STPP/STMP memberikan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan bioplastik pati aren alami.



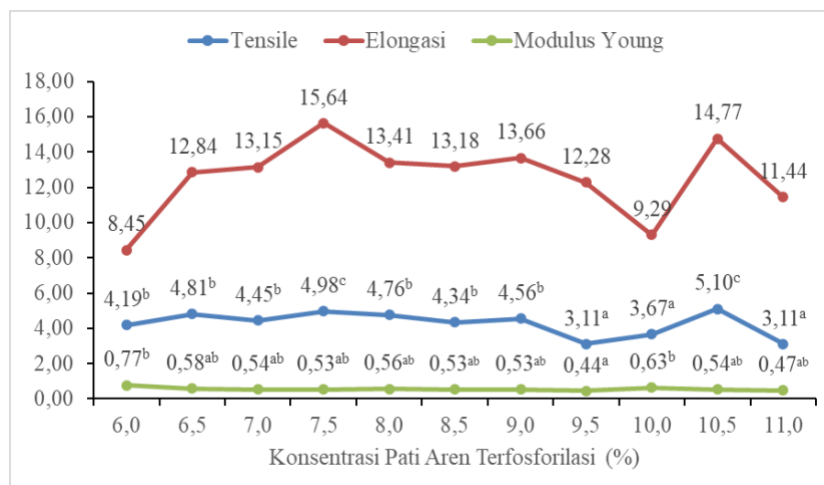
Gambar 3. WVTR Bioplastik Pada Berbagai Konsentrasi Pati Aren Terfosforilasi

WVTR berkorelasi negatif secara erat dengan densitas substrat dan sebagian besar tidak tergantung pada kelembaban relatif (RH) ([Semple et al., 2022](#)). *Cross-linking* pada matriks alginat secara efisien meningkatkan tingkat kekusutan (*tortuosity*) dan menurunkan difusi oksigen, memperkuat ikatan hidrogen antarmuka antara alginat dan agen *cross-linking*, membatasi mobilitas rantai polimer, serta mengurangi volume bebas yang tersedia bagi molekul oksigen

untuk berdifusi, sehingga waktu tinggal (*residence time*) molekul oksigen yang menembus film komposit alginat menjadi lebih singkat (Mohammed *et al.*, 2023).

3.4. Sifat Mekanik Bioplastik (Kekuatan Tarik, Elongasi dan Modulus Young)

Sifat mekanik merupakan parameter yang menunjukkan seberapa kuat sifat mekanik bioplastik. Hasil analisis terhadap nilai kekuatan tarik bioplastik (Gambar 4) menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi PAT (pati aren terfosforilasi) memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) dengan rerata nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 5,10 MPa pada perlakuan dengan konsentrasi 10,5%. Dalam penelitian serupa, tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari penambahan CESO (*citric acid epoxidized soybean oil oligomers*) sebanyak 4 wt% dan 8 wt% terhadap kekuatan tarik film (Yang *et al.*, 2022). Penambahan 0,48 g CESO ke dalam larutan pati jagung, gliserol, dan mikrokristal selulosa menghasilkan kekuatan tarik bioplastik sebesar 5,62 MPa. Nilai kekuatan tarik yang lebih rendah disebabkan oleh buruknya interaksi antara CESO dan pati. Peningkatan konsentrasi STPP hingga 10,5% menyebabkan peningkatan kekuatan tarik bioplastik, namun pada konsentrasi 11% terjadi penurunan kekuatan (Gambar 4), yang disebabkan oleh penggunaan gliserol sebagai *plastisizer* yang tidak memadai karena jumlahnya tetap sama pada semua taraf konsentrasi STPP. Pati sangat sensitif terhadap kelembapan dan memiliki kekuatan mekanik yang lemah, oleh karena itu sebelum memproduksi bioplastik berbasis pati, sangat penting untuk memahami sifat fisikokimia dan mekaniknya, termasuk kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan perpanjangan maksimum (Babaremu *et al.*, 2023).

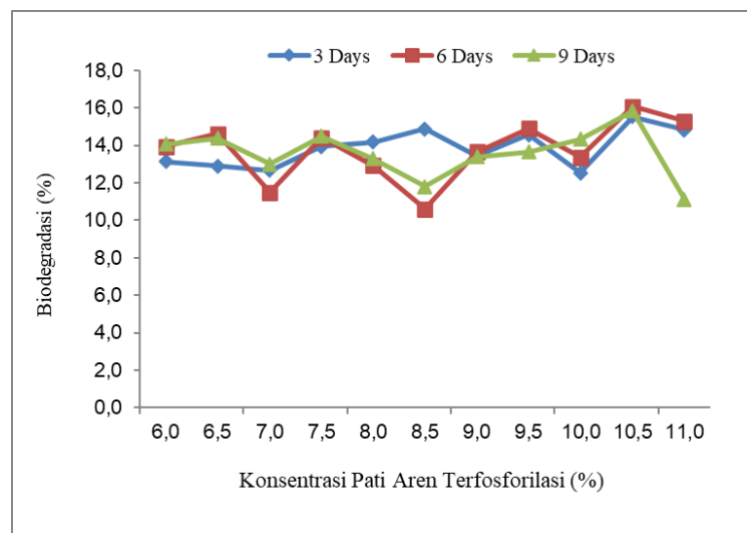


Gambar 4. Kekuatan Tarik (*Tensile*), Elongasi dan Modulus Young Bioplastik Pada Berbagai Konsentrasi Pati Aren Terfosforilasi

Hasil analisis terhadap nilai elongasi bioplastik (Gambar 4) menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi PAT memberikan pengaruh yang tidak signifikan ($p > 0,05$), yang berarti bahwa setiap konsentrasi cenderung memberikan hasil yang relatif sama terhadap nilai elongasi, yaitu berkisar antara 8,45 hingga 15,64% pada konsentrasi STPP 6 hingga 11%. Terdapat penurunan drastis pada

nilai perpanjangan bioplastik berbasis pati akibat penambahan seng oksida (ZnO) (Marichelvam *et al.*, 2022). Sebaliknya, perpanjangan pada biofilm NS (pati asli) + DS (pati dialdehida) meningkat sehingga sifat mekaniknya menjadi lebih fleksibel (Bajer & Burkowska-But, 2022).

Hasil analisis terhadap nilai modulus Young bioplastik (Gambar 4) menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi PAT memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$). Nilai modulus Young bioplastik yang diperoleh berkisar antara 0,44 hingga 0,77 GPa. Pemanfaatan biomassa dari tiga jenis jamur (*Grifola frondosa*, *Lentinula edodes*, dan *Pleurotus ostreatus*) dari limbah industri telah berhasil mengekstrak β -glukan untuk produksi film berbasis biologis dan *biodegradable* (Pérez-Bassart *et al.*, 2023). Karakteristik mekanik dari film *biodegradable* hasil penelitian tersebut meliputi modulus Young (398–4494 MPa), kekuatan tarik (4,64–33,59 MPa), dan elongasi saat putus (0,90–20,53%). Sifat fleksibilitas ini diduga berasal dari tingginya sifat hidrofilik dan efek plastisasi dari komponen polisakarida, yang dipengaruhi oleh struktur organisasi β -glukan yang berbeda. Produksi bioplastik Poly 3-hydroxybutyrate (P3HB) oleh mikroba pada media agar laut menghasilkan material yang kaku dengan kekuatan tarik sebesar $17 \pm 0,3$ MPa dan modulus Young sebesar $0,4 \pm 0,1$ GPa, serta elongasi rendah saat putus (18%) (Esposito *et al.*, 2023). Oleh karena itu, disarankan untuk menambahkan bahan baku lain atau material polimerik yang dapat meningkatkan sifat dari P3HB adalah dengan memfokuskan pada kelemahan utamanya melalui pencampuran bahan alami atau biopolimer lain dengan aditif khusus seperti plastisizer, agen nukleasi, pelumas, dan *chain extenders*.



Gambar 5. Rata-Rata Biodegradasi Bioplastik Pada Berbagai Konsentrasi Pati Aren Terfosforilasi

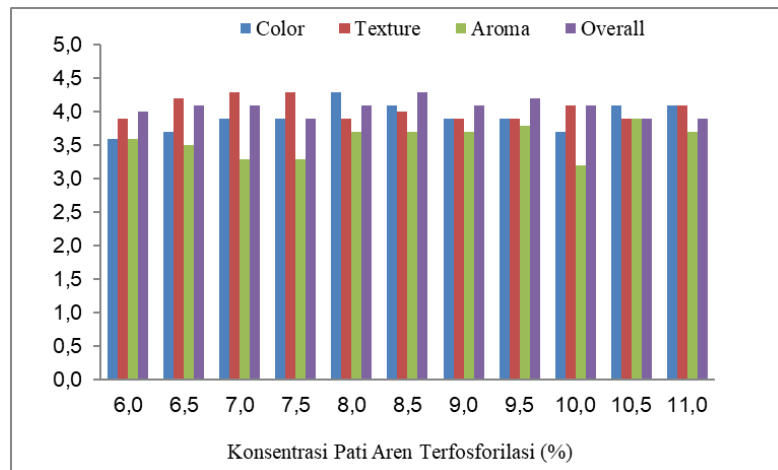
3.5. Biodegradasi

Biodegradasi merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan bioplastik dapat terurai secara alami di lingkungan. Parameter ini menguji seberapa cepat plastik dapat terurai melalui pengamatan persen biodegradasi pada hari ke-3, ke-6 dan ke-9. Hasil analisis terhadap kemampuan

biodegradasi bioplastik ([Gambar 5](#)) menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi PAT memberikan pengaruh yang tidak signifikan ($p > 0,05$). Peningkatan berat molekul bioplastik akibat proses *cross-linking* antara pati aren dan STPP diduga menyebabkan waktu biodegradasi yang lebih lambat. Laju degradasi polimer akan menurun seiring dengan meningkatnya berat molekul ([Cui et al., 2022](#)). Penggunaan bioplastik memang tidak dapat sepenuhnya menyelesaikan permasalahan limbah plastik, namun memiliki keunggulan karena berasal dari bahan yang dapat diperbarui ([Kalita & Hakkarainen, 2023](#)).

3.6. Karakteristik Sensoris

Berdasarkan data komponen sensoris, bioplastik dari pati aren termodifikasi dengan STPP sebagai agen *cross-linking* tidak memberikan pengaruh terhadap warna, tekstur, aroma, dan kesukaan keseluruhan oleh 20 panelis ([Gambar 6](#)). Skala numerik yang digunakan merupakan modifikasi dari skala Likert. Rentang nilai preferensi berkisar dari 1 hingga 5, mulai dari “sangat tidak suka” hingga “sangat suka” untuk setiap komponen sensoris bioplastik yang dinilai.



Gambar 6. Karakteristik Sensoris Bioplastik Pada Berbagai Konsentrasi Pati Aren Terfosforilasi

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan pati aren terfosforilasi (PAT) dengan berbagai konsentrasi STPP tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap warna organoleptik bioplastik ([Gambar 6](#)). Rata-rata skor yang diberikan oleh panelis pada konsentrasi pati aren terfosforilasi 6% hingga 11% berada pada rentang 3,6–4,87; yang menunjukkan bahwa panelis memberikan penilaian “suka” pada pengisian kuesioner. Film atau *edible film* yang dibuat dari kitosan dan metilselulosa yang telah dimodifikasi melalui *cross-linking* menggunakan sodium fosfat memiliki warna film yang transparan dan tekstur yang halus karena tersusun dari molekul pati yang padat ([Wang et al., 2019](#)).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan PAT dengan berbagai konsentrasi STPP tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap tekstur organoleptik bioplastik ([Gambar 6](#)). Perlakuan penggunaan fosfat pada konsentrasi 6% hingga 11% menghasilkan nilai tekstur

berkisar antara 3,3 hingga 4,3, yang berarti berada dalam kategori penilaian “netral” hingga “suka”. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan PAT dengan berbagai konsentrasi STPP tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap aroma organoleptik bioplastik ([Gambar 6](#)). Rentang nilai yang diberikan oleh panelis berada antara 3,9 hingga 4,3, yang termasuk dalam kategori “suka”. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan PAT dengan berbagai konsentrasi STPP tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap kesukaan keseluruhan organoleptik bioplastik ([Gambar 6](#)). Panelis memberikan nilai untuk kesukaan keseluruhan dalam rentang 3,9 hingga 4,3, yang sejalan dengan nilai untuk aroma dari bioplastik yang mengalami *cross-linking*.

4. Kesimpulan

Penggunaan konsentrasi PAT sebesar 7,5% menghasilkan bioplastik terbaik berdasarkan analisis dengan ketebalan sebesar 0,31 mm, daya serap air sebesar 69,26%, daya serap minyak sebesar 24,95%, laju transmisi uap air (WVTR) sebesar 0,37 g/m²/jam, kekuatan tarik sebesar 4,98 MPa, perpanjangan saat putus sebesar 15,64%, modulus Young sebesar 0,53 GPa, dengan tingkat degradasi bioplastik sebesar 14,5% pada hari kesembilan. Sifat sensoris seperti warna, aroma, tekstur, dan kesukaan keseluruhan berada dalam kategori “suka”.

Singkatan yang Digunakan

STPP	Sodium Tripolifosfat
PAT	Pati Aren Terfosforilasi
WHC	Water Holding Capacity
OHC	Oil Holding Capacity
WVTR	Water Vapor Transmission Rate
RH	Relative Humidity

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Muhammad Fawzul Alif Nugroho: penulisan draft artikel, analisis formal dan penyunting akhir. **Syahraeni Kadir:** analisis data, kurasi data, penulisan draft awal, investigasi dan validasi. **Abdul Rahim:** konseptualisasi, metodologi, kurasi data, dan analisis data. **Ade Irma Suriyani:** investigasi, validasi, dan penyuntingan.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan finansial yang bersaing atau hubungan pribadi yang dapat memengaruhi penelitian dalam naskah ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas dukungan dana inti melalui Skema Riset Pelaksanaan.

Daftar Pustaka

- Abel, O. M., Ifeanyi, E. G., Chinelo, A. S., Agbajor, G. K., & Imanah, J. E. (2021). Surface Hydrophobicity of Starch Acetate for Enhanced Bioplastic Properties. *J. Mater. Environ. Sci.*, 12(4), 497–510. https://www.researchgate.net/publication/350725812_Surface_Hydrophobicity_of_Starch_Acetate_for_Enhanced_Bioplastic_Properties/link/606f522f92851c8a7bb2d68c/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVsbH19
- Alves, Z., Ferreira, N. M., Ferreira, P., & Nunes, C. (2022). Design of heat sealable starch-chitosan bioplastics reinforced with reduced graphene oxide for active food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119517. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119517>
- Angraini, T., Ulfimarjan, Azima, F., & Yenrina, R. (2017). The effect of chitosan concentration on the characteristics of sago (metrotylon sp) starch bioplastics. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, 8(1), 1339–1351. [http://www.rjpbcs.com/pdf/2017_8\(1\)/%5B169%5D.pdf](http://www.rjpbcs.com/pdf/2017_8(1)/%5B169%5D.pdf)
- Ansar, Nazaruddin, Azis, A. D., & Fudholi, A. (2021). Enhancement of bioethanol production from palm sap (Arenga pinnata (Wurmb) Merr) through optimization of *Saccharomyces cerevisiae* as an inoculum. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 548–554. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.085>
- ASTM American Standar Testing and Material E96/E96M-16. (2010, October 1). *Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International. https://doi.org/10.1520/E0096_E0096M-10
- Babaremu, K., Oladijo, O. P., & Akinlabi, E. (2023). Biopolymers: A suitable replacement for plastics in product packaging. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 6(4), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.01.001>
- Bajer, D., & Burkowska-But, A. (2022). Innovative and environmentally safe composites based on starch modified with dialdehyde starch, caffeine, or ascorbic acid for applications in the food packaging industry. *Food Chemistry*, 374, 131639. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131639>
- Beghetto, V., Gatto, V., Conca, S., Bardella, N., Buranello, C., Gasparetto, G., & Sole, R. (2020). Development of 4-(4, 6-dimethoxy-1, 3, 5-triazin-2-yl)-4-methyl-morpholinium chloride cross-linked carboxymethyl cellulose films. *Carbohydrate Polymers*, 249, 116810. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116810>
- Behera, L., Mohanta, M., & Thirugnanam, A. (2022). Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102180. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102180>
- Benítez, J. J., Ramírez-Pozo, M. C., Durán-Barrantes, M. M., Heredia, A., Tedeschi, G., Ceseracciu, L., ..., & Amato, A. (2023). Bio-based lacquers from industrially processed tomato pomace for sustainable metal food packaging. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135836>
- Buonvino, S., Ciocci, M., Nanni, F., Cacciotti, I., & Melino, S. (2023). New vegetable-waste biomaterials by *Lupinus albus* L. as cellular scaffolds for applications in biomedicine and food. *Biomaterials*, 293, 121984. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121984>

- Chen, N., Wang, Q., Wang, M.-X., Li, N., Briones, A. V., Cassani, L., ... Gu, C.-M. (2022). Characterization of the physicochemical, thermal and rheological properties of cashew kernel starch. *Food Chemistry: X*, 15, 100432. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100432>
- Christwardana, M., Ismojo, I., & Marsudi, S. (2021). Physical, Thermal Stability, and Mechanical Characteristics of New Bioplastic Elastomer from Blends Cassava and Tannia Starches as Green Material. *Molekul*, 16(1), 46–56. <http://dx.doi.org/10.20884/1.jm.2021.16.1.671>
- Cui, L., Wang, X., Szarka, G., Hegyesi, N., Wang, Y., Sui, X., & Pukánszky, B. (2022). Quantitative analysis of factors determining the enzymatic degradation of poly (lactic acid). *International Journal of Biological Macromolecules*, 209, 1703–1709. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.121>
- Esposito, F. P., Vecchiato, V., Buonocore, C., Tedesco, P., Noble, B., Basnett, P., & de Pascale, D. (2023). Enhanced production of biobased, biodegradable, Poly (3-hydroxybutyrate) using an unexplored marine bacterium *Pseudohalocynthiibacter aestuariivivens*, isolated from highly polluted coastal environment. *Bioresource Technology*, 368, 128287. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128287>
- Hassan, M. M., & Fowler, I. J. (2022). Thermal, mechanical, and rheological properties of microfibrillated cellulose-reinforced starch foams crosslinked with polysiloxane-based crosslinking agents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 205, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.017>
- Hong, L. G., Yuhana, N. Y., & Zawawi, E. Z. E. (2021). Review of bioplastics as food packaging materials. *AIMS Materials Science*, 8(2), 166–184. <http://dx.doi.org/10.3934/matensci.2021012>
- Kalita, N. K., & Hakkarainen, M. (2023). Integrating biodegradable polyesters in a circular economy. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 40, 100751. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100751>
- Kou, T., Faisal, M., Song, J., & Blennow, A. (2023). Stabilization of emulsions by high-amylose-based 3D nanosystem. *Food Hydrocolloids*, 135, 108171. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108171>
- Lisha, V. S., Kothale, R. S., Sidharth, S., & Kandasubramanian, B. (2022). A critical review on employing algae as a feed for polycarbohydrate synthesis. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 4, 100242. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100242>
- Liutyi, R., Petryk, I., Tyshkovets, M., Myslyvchenko, O., Liuta, D., & Fyodorov, M. (2022). Investigating sodium phosphate binders for foundry production. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4, 100082. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100082>
- Marichelvam, M. K., Jawaid, M., & Asim, M. (2019). Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials. *Fibers*, 7(4), 32. <https://doi.org/10.3390/fib7040032>
- Marichelvam, M. K., Manimaran, P., Sanjay, M. R., Siengchin, S., Geetha, M., Kandakodeeswaran, K., ..., & Gorbatyuk, S. (2022). Extraction and development of starch-based bioplastics from *Prosopis Juliflora* Plant: Eco-friendly and sustainability aspects. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100296. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100296>
- Mohammed, A., Gaduan, A., Chaitram, P., Pooran, A., Lee, K.-Y., & Ward, K. (2023). Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 135, 108192. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108192>
- Nazarian, M., Mansourizadeh, A., & Abbasi, M. (2019). Preparation of blend hydrophilic polyetherimide-cellulose acetate hollow fiber membrane for oily wastewater treatment. *Journal of Applied Membrane Science & Technology*, 23(3). <http://dx.doi.org/10.11113/amst.v23n3.159>
- Okokon, E. J., & Okokon, E. O. (2019). Proximate analysis and sensory evaluation of freshly produced apple fruit juice stored at different temperatures and treated with natural and

- artificial preservatives. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 25(1), 31–37. <https://doi.org/10.4314/gjpas.v25i1.5>
- Pérez-Bassart, Z., Martínez-Abad, A., Reyes, A., López-Rubio, A., & Fabra, M. J. (2023). Ultrasound-treatment as a promising strategy to develop biodegradable films obtained from mushroom waste biomass. *Food Hydrocolloids*, 135, 108174. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108174>
- Perez-Puyana, V., Cuartero, P., Jiménez-Rosado, M., Martínez, I., & Romero, A. (2022). Physical crosslinking of pea protein-based bioplastics: Effect of heat and UV treatments. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, 100836. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100836>
- Rahim, A., Dombus, S., Kadir, S., Hasanuddin, M., Laude, S., Aditya, J., & Karouw, S. (2020). Physical, physicochemical, mechanical, and sensory properties of bioplastics from phosphate acetylated arenga starches. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(3). <https://doi.org/10.31883/pjfn/120183>
- Rebolledo-Leiva, R., Moreira, M. T., & González-García, S. (2023). Progress of social assessment in the framework of bioeconomy under a life cycle perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 175, 113162. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113162>
- Santana, R. F., Bonomo, R. C. F., Gandolfi, O. R. R., Rodrigues, L. B., Santos, L. S., dos Santos Pires, A. C., ..., & Veloso, C. M. (2018). Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 278–286. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2936-6>
- Semple, K. E., Zhou, C., Rojas, O. J., Nkeuwa, W. N., & Dai, C. (2022). Moulded pulp fibers for disposable food packaging: A state-of-the-art review. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100908. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100908>
- Springle, N., Li, B., Soma, T., & Shulman, T. (2022). The complex role of single-use compostable bioplastic food packaging and foodservice ware in a circular economy: Findings from a social innovation lab. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 664–673. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.006>
- Upadhyaya, A., & Sonawane, S. K. (2023). Palmyrah palm and its products (neera, jaggery and candy)—a review on chemistry and technology. *Applied Food Research*, 3(1), 100256. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100256>
- Wang, H., Liao, Y., Wu, A., Li, B., Qian, J., & Ding, F. (2019). Effect of sodium trimetaphosphate on chitosan-methylcellulose composite films: Physicochemical properties and food packaging application. *Polymers*, 11(2), 368. <https://doi.org/10.3390/polym11020368>
- Wang, Q., & Ma, Y. (2022). Characterization of calcium phosphate nanoparticles sequestered by phosphopeptides in response to heat treatment. *LWT*, 167, 113816. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113816>
- Wang, Z.-Y., Zhang, X.-W., Ding, Y.-W., Ren, Z.-W., & Wei, D.-X. (2023). Natural biopolyester microspheres with diverse structures and surface topologies as micro-devices for biomedical applications. *Smart Materials in Medicine*, 4, 15–36. <https://doi.org/10.1016/j.smaim.2022.07.004>
- Yang, J., Dong, X., Wang, J., Ching, Y. C., Liu, J., Li, C., ..., & Xu, S. (2022). Synthesis and properties of bioplastics from corn starch and citric acid-epoxidized soybean oil oligomers. *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.119>