



Studi Pembuatan Bioplastik dari Pati Tapioka dengan Pektin Kulit Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*) dan Karagenan

(Study on the Production of Bioplastic from Tapioca Starch with Dragon Fruit Peel Pectin (*Hylocereus polyrhizus*) and Carrageenan)

Baiq Ayu Aprilia Mustariani*, Sulistiyana Sulistiyana, Putri Riska Fauziah, Miftahur Roifah

Program Studi Tadris Kimia, FTK, Universitas Islam Negeri Mataram
 Jalan Gajah Mada No. 100, Jempong Baru, Sekarbela, Kota Mataram, 83166, Indonesia

*Corresponding author: baiqayu.a.m@uinmataram.ac.id

DOI: [10.20961/alchemistry.21.1.94003.121-129](https://doi.org/10.20961/alchemistry.21.1.94003.121-129)

Received 7 October 2024, Revised 8 January 2025, Accepted 22 January 2025, Published 28 March 2025

Kata kunci:

bioplastik;
 pati tapioka;
 pektin kulit buah
 naga;
 karagenan.

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk membuat bioplastik berbasis pati tapioka dengan penambahan pektin dari limbah kulit buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) dan karagenan. Penambahan kedua bahan tersebut untuk meningkatkan sifat fisika dan kimia bioplastik, termasuk ketebalan, opasitas, dan densitas. Uji ketebalan menunjukkan variasi antara 0,076 hingga 0,097 mm, dengan formulasi F2 yaitu bioplastik dengan variasi perbandingan karagenan 0,7 g dan pektin kulit buah naga 0,3 g memiliki ketebalan tertinggi. Pengujian opasitas memperlihatkan bahwa penambahan pektin cenderung meningkatkan opasitas, sementara karagenan menurunkannya. Nilai opasitas berkisar antara 3,020 hingga 5,976 mm⁻¹, dengan F0 memiliki nilai tertinggi. Densitas bioplastik berkisar antara 1,345 hingga 1,897 g/cm³, di mana formulasi F2 juga menunjukkan densitas tertinggi. Perolehan analisis statistik dari pengujian ANOVA bersamaan dengan Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa penambahan pektin dan karagenan memiliki pengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap ketiga parameter tersebut. Penelitian ini menampakkan bahwa kombinasi pektin dan karagenan efektif dalam memperbaiki sifat fisik dan optik bioplastik, menjadikannya kandidat yang potensial untuk aplikasi kemasan berkelanjutan.

Keywords:

bioplastics;
 tapioca starch;
 dragon fruit peel
 pectin;
 carrageenan.

ABSTRACT. This study aims to synthesize tapioca starch-based bioplastics by adding pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*), peel waste, and carrageenan. Adding both materials to improve bioplastics' physical and chemical properties, including thickness, opacity, and density. The thickness test showed a variation between 0.076 to 0.097 mm, with formulation F2 namely bioplastic with a variation in the ratio of carrageenan 0.7 g and dragon fruit skin pectin 0.3 g having the highest thickness. The opacity test showed that adding pectin tended to increase opacity, while carrageenan decreased it. The opacity values ranged from 3.020 to 5.976 mm⁻¹, with F0 having the highest value. The density of bioplastics ranged from 1.345 to 1.897 g/cm³, where formulation F2 also showed the highest density. The statistical analysis results using the ANOVA and Kruskal-Wallis tests showed that adding pectin and carrageenan significantly ($p < 0.05$) affected the three parameters. This study shows that the combination of pectin and carrageenan effectively improves the physical and optical properties of bioplastics, making them potential candidates for sustainable packaging applications.

PENDAHULUAN

Plastik konvensional berbasis minyak bumi telah menjadi penyebab utama permasalahan lingkungan global, terutama dalam hal limbah plastik yang tidak terurai di alam. Peningkatan kesadaran akan dampak lingkungan dari plastik ini telah mendorong perkembangan bioplastik yang berasal dari sumber daya biologis terbarukan. Bioplastik ini menawarkan alternatif yang berkelanjutan karena dapat terurai secara alami, sehingga mengurangi beban pencemaran plastik (Oliveira et al., 2022). Salah satu bahan alami yang sering digunakan untuk produksi bioplastik adalah pati, yang banyak tersedia dan mudah diperbarui (Cinar et al., 2020). Pengembangan bioplastik dari sumber alam, seperti pati, pektin, dan karagenan, terus mendapatkan perhatian karena sifatnya yang dapat terurai secara hayati dan potensinya dalam aplikasi kemasan. Pektin, yang merupakan polisakarida dari dinding sel buah, telah terbukti menghasilkan sifat mekanik yang bagus dari film yang dibentuk (Listyarini et al., 2020;

Cite this as: Mustariani, B. A. A., Sulistiyana, S., Fauziah, P. R., and Roifah, M., 2025. Studi Pembuatan Bioplastik dari Tapioka dengan Pektin Kulit Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*) dan Karagenan. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 21(1), 121-129. <https://dx.doi.org/10.20961/alchemistry.21.1.94003.121-129>.

[Przybyszewska *et al.*, 2023](#)). Di sisi lain, karagenan yang diekstraksi dari rumput laut merah, dikenal memiliki sifat pembentuk gel yang kuat dan digunakan dalam berbagai aplikasi biomedis maupun kemasan makanan ([Elkaliny, 2024](#); [Santana, 2024](#)).

Bioplastik menawarkan solusi berkelanjutan untuk pengurangan limbah plastik. Namun, ada beberapa tantangan yang dihadapi terutama adalah sifat mekanik dan fleksibilitasnya yang belum sebanding dengan plastik berbasis minyak bumi. Hal ini terutama terjadi pada bioplastik berbasis pati yang cenderung rapuh dan kurang tahan terhadap kelembapan sehingga membatasi aplikasinya dalam industri kemasan ([Navasingh, 2023](#)). Untuk mengatasi masalah ini, penambahan bahan aditif seperti pektin dan karagenan diusulkan untuk memperbaiki sifat mekanik dan ketahanan bioplastik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pektin dapat meningkatkan sifat pembentukan film dan ketahanan terhadap kelembapan pada bioplastik ([Khairuddin, 2023](#); [Merino *et al.*, 2021](#)). Selain itu, karagenan juga telah terbukti memperbaiki kekuatan mekanik bioplastik serta memberikan sifat penghalang yang lebih baik terhadap kelembapan ([Santana, 2024](#)). Dengan demikian, penggunaan kombinasi pektin dan karagenan berpotensi memberikan solusi umum untuk meningkatkan kualitas bioplastik berbasis pati.

Penambahan pektin yang diekstrak dari limbah kulit buah naga telah menarik perhatian karena tidak hanya mengurangi limbah pertanian, tetapi juga memperbaiki sifat bioplastic ([Henao-Díaz *et al.*, 2021](#); [Khairuddin, 2023](#)). Studi terbaru menunjukkan bahwa pektin yang diambil dari kulit buah dapat memberikan peningkatan kekuatan mekanik dan sifat biodegradasi pada bioplastik berbasis pati ([Przybyszewska *et al.*, 2023](#)). Pemanfaatan pektin sebagai polimer plastik dapat mengurangi kerusakan lingkungan dengan sifat mekanis yang relatif lebih baik ([Kurniawan and Adenia, 2022](#)). Pektin dari buah naga juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan olahan pangan yang dapat mendukung ketahanan pangan ([Marlina *et al.*, 2023](#)). Di sisi lain, karagenan telah dipelajari secara luas sebagai aditif dalam bioplastik karena sifatnya yang pembentuk gel dan kemampuannya untuk meningkatkan ketahanan mekanik serta kelembapan bioplastic ([Rizal *et al.*, 2022](#)). Selain itu, kombinasi karagenan dengan polisakarida lain seperti pati telah terbukti meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan tarik pada bioplastic ([Santana, 2024](#)). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan karagenan dalam formulasi bioplastik dapat memperbaiki sifat fisikokimia yang penting untuk aplikasi kemasan makanan ([Dzaky *et al.*, 2022](#); [Hanry and Surugau, 2023](#); [Wullandari *et al.*, 2021](#)). Penggunaan kombinasi pektin dari kulit buah naga dan karagenan dalam bioplastik pati juga telah diuji dalam beberapa penelitian yang hasilnya menunjukkan bahwa sinergi antara dua bahan alami ini bisa membuat bioplastik dengan sifat mekanik dan penghalang yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan salah satu bahan secara tunggal ([Mellinas *et al.*, 2020](#); [Rizal *et al.*, 2022](#)). Kombinasi ini menawarkan peningkatan yang signifikan dalam hal fleksibilitas, kekuatan tarik, dan ketahanan terhadap kelembapan, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi kemasan.

Studi tentang penggunaan pektin dan karagenan dalam pembuatan bioplastik telah banyak dilakukan, akan tetapi masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian. Penelitian lebih banyak hanya berfokus pada penggunaan pektin dari sumber buah tertentu atau karagenan secara tunggal, tanpa mengeksplorasi secara mendalam kombinasi dari kedua bahan ini dengan pati. Selain itu, penelitian yang mengeksplorasi potensi spesifik dari pektin kulit buah naga masih sangat sedikit, meskipun penggunaan limbah buah sebagai sumber pektin menawarkan solusi berkelanjutan ([Khairuddin, 2023](#)). Di sisi lain, meskipun karagenan telah terbukti memperbaiki sifat mekanik bioplastik, studi yang lebih mendalam tentang rasio optimal antara karagenan dan pektin, serta pengaruh kombinasi ini terhadap sifat fisika-kimia bioplastik, masih terbatas ([Rizal *et al.*, 2022](#)). Penelitian yang lebih mendalam diperlukan untuk memahami interaksi antara kedua bahan ini dan bagaimana kombinasi tersebut dapat memaksimalkan potensi bioplastik dalam aplikasi kemasan.

Penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan pektin dari limbah kulit buah naga dan karagenan terhadap karakteristik fisik dan kimia bioplastik berbasis pati tapioka. Penelitian ini menawarkan kebaruan dalam penggunaan kombinasi dua bahan alami, pektin yang diekstrak pada bagian kulit buah naga dan karagenan, yang belum banyak dikaji dalam literatur. Dengan memanfaatkan limbah kulit buah naga sebagai sumber pektin, penelitian ini juga menawarkan solusi untuk pengelolaan limbah pertanian. Ruang lingkup penelitian mencakup sintesis bioplastik dengan berbagai formulasi pektin dan karagenan, serta uji karakteristik fisik dan kimia untuk menentukan kualitas bioplastik yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan peralatan berupa berbagai alat-alat gelas, cawan petri, spatula, timbangan digital (Kern), *hot plate magnetic stirrer* (Thermo scientific), Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1900i), Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR) (Perkin elmer spectrum two dengan ZnSe ATR), dan

Tensilon TG-1310. Bahan-bahan dalam penelitian ini terdiri dari pati tapioka (Rose Brand), limbah kulit buah naga (*Hylocereus polyrhizus*), dan karagenan (CV. Karagen Indonesia), alkohol 70% (Rofa Laboratorium Centre), alkohol 96% (Rofa Laboratorium Centre), gliserin (Cliger Shop), chitosan (Aldrich), asam asetat (Merck), aquades, HCl (Merck). Karagenan digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat mekanik bioplastik. Semua bahan disimpan dalam wadah tertutup rapat untuk mencegah kontaminasi dan kerusakan selama proses penelitian.

Isolasi Pektin Kulit Buah Naga

Kulit buah naga diisolasi dengan beberapa tahapan (Listyarini *et al.*, 2020; Fadzillah *et al.*, 2019). Kulit buah naga dicuci bersih dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 55 °C selama 24 jam. Kulit buah naga yang telah kering dihaluskan menjadi serbuk menggunakan blender, kemudian disaring menggunakan ayakan dengan ukuran mesh 10 untuk menghasilkan serbuk halus. Serbuk ini disimpan dalam wadah tertutup rapat sebelum dilakukan proses ekstraksi pektin (Listyarini *et al.*, 2020). Proses ekstraksi dilakukan dengan menambahkan 8 g serbuk kulit buah naga ke dalam 250 mL aquades, diikuti dengan penambahan HCl hingga pH 3,5. Campuran dipanaskan pada suhu 70 °C selama 75 menit. Ekstrak yang diperoleh difiltrasi menggunakan sentrifuse selama 10 menit 6000 rpm untuk memisahkan residu dan supernatannya. Supernatan hasil filtrasi ditambahkan etanol 96% dan dibiarkan selama 24 jam untuk mengendapkan pektin. Endapan pektin disaring dan dicuci kembali dengan etanol lalu dikeringkan selama 24 jam pada suhu 55 °C untuk mendapatkan pektin.

Sintesis Bioplastik

Proses pembuatan bioplastik dilakukan dengan metode yang dimodifikasi (Hidayat *et al.*, 2020; Pradana *et al.*, 2017; Tien *et al.*, 2023). Bahan yang tidak divariasikan adalah pati tapioka 4 g, kitosan 2 g, gliserol 1,5 mL. Pektin dan karagenan divariasikan menjadi 5 formulasi yaitu F0, F1, F2, F3, F4 dan F5 secara berurutan yaitu 0:0; 1:0; 0,7:0,3; 0,5:0,5; 0,3:0,7; dan 0:1 (g:g). Campuran pati dan kitosan dipanaskan secara terpisah, kemudian dicampurkan dengan larutan karagenan dan pektin kulit buah naga. Setelah semua bahan tercampur homogen, gliserol ditambahkan sebagai *plasticizer* dan dipanaskan hingga mencapai konsistensi yang diinginkan. Larutan tersebut dituangkan ke dalam cawan petri ukuran 9 mm sebanyak 15 g kemudian didiamkan di suhu ruang selama 24 jam untuk menghilangkan gelembung yang terjebak dalam larutan. Larutan bioplastik dibiarkan mengering di oven disuhu 60 °C dalam waktu 24 jam untuk membentuk bioplastik. Bioplastik yang telah terbentuk dilepas dari cetakan dan disimpan dalam plastik tertutup dengan dibatasi oleh kertas saring.

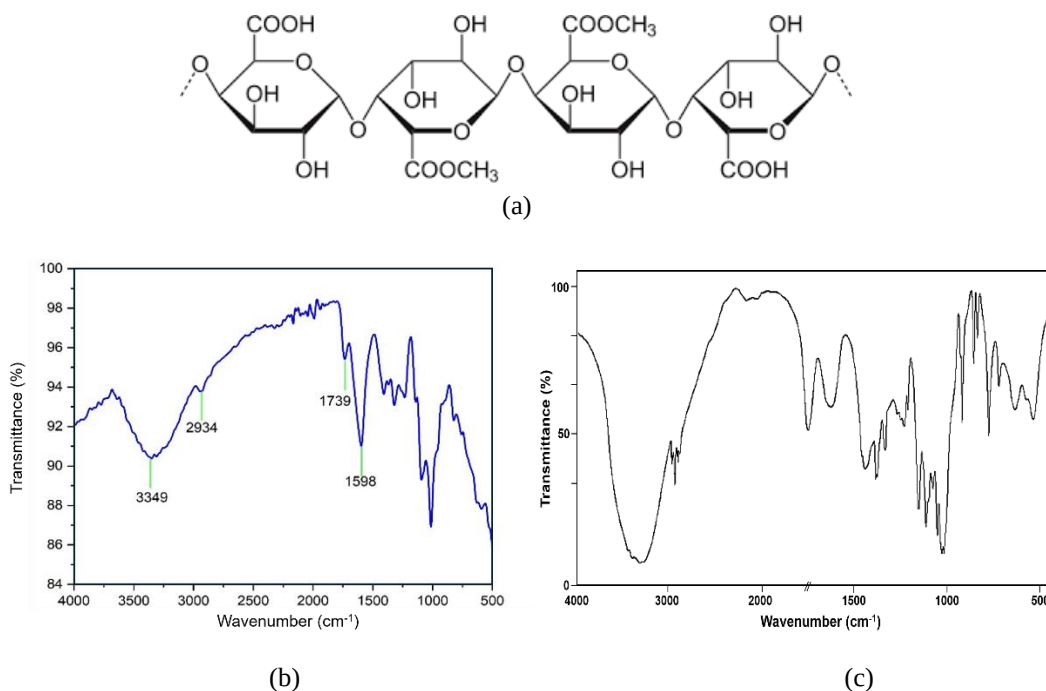
Parameter Uji

Parameter pengujian di dalam riset ini meliputi % *yield*, gugus fungsi pektin, nilai derajat esterifikasi pektin, ketebalan bioplastik, densitas bioplastik, dan opasitas bioplastik. Mikrometer digunakan untuk mengukur ketebalan dengan mengatur presisi pada 0,01 mm pada lima titik berbeda dengan cara menghitung nilai rata-rata hasil pengukuran (Faradilla, 2023). Gugus fungsi dianalisis menggunakan Spektrofotometer FTIR untuk mengetahui komposisi kimia bioplastik (Imoisili and Jen, 2023). Sementara itu, pengukuran opasitas menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada bilangan gelombang 600 nm (Oluwasina *et al.*, 2019).

Uji One Way ANOVA digunakan untuk analisis statistik dalam menilai adanya pengaruh dari penambahan pektin dan karagenan terhadap sifat fisika dan kimia bioplastik, seperti ketebalan, densitas, dan opasitas. Nilai signifikansi ditetapkan pada $p < 0,05$ untuk menentukan adanya perbedaan signifikan antar formulasi (Fadzillah *et al.*, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pektin dari kulit buah naga yang telah diekstrak menghasilkan %*yield* sebesar 14,60%. Nilai %*yield* yang lebih tinggi diperoleh pada penelitian ini daripada %*yield* yang dihasilkan oleh Listyarini *et al.*, (2020), yaitu 11%, tetapi lebih rendah daripada penelitian Fadzillah *et al.*, (2019) yang menghasilkan pektin dengan %*yield* hingga 33%. Hal ini dimungkinkan karena pada proses ekstraksi yang dilakukan oleh Fadzillah *et al.* (2019) menggunakan sentrifuse hingga 10.000 rpm, sedangkan dalam penelitian ini hanya menggunakan sentrifuse dengan kecepatan 6.000 rpm. Semakin tinggi kecepatan sentrifugasi maka meningkatkan gaya sentrifugal dalam campuran sehingga pemisahan senyawa pektin dari padatan kulit buah naga semakin efektif (Priyanto and Hendrawati, 2018). Struktur pektin ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil pektin yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer FTIR yang terlihat pada Gambar 1b.



Gambar 1. (a) Struktur pektin (Kitir *et al.*, 2018), (b) Spektra Inframerah pektin kulit buah naga hasil ekstraksi dan (c) Spektra Inframerah pektin standar (SDBS).

Gambar 1b menunjukkan spektra FTIR pektin dari kulit buah naga hasil ekstraksi, sedangkan **Gambar 1c** menampilkan spektra FTIR pektin dari kulit jeruk standar (SDBS). Bilangan gelombang pada spektra FTIR pektin kulit buah naga seperti pada **Tabel 1** memiliki kesamaan dengan pektin kulit jeruk standar, terutama pada puncak serapan gugus metil ester dan karboksilat. Hal ini menunjukkan bahwa pektin yang dihasilkan dari kulit buah naga memiliki gugus fungsional yang mirip dengan pektin standar, yang mengindikasikan kualitas pektin yang baik untuk aplikasi lebih lanjut.

Tabel 1. Perbandingan bilangan gelombang pektin kulit buah naga hasil ekstraksi dengan pektin kulit jeruk standar.

Bilangan gelombang FTIR (cm ⁻¹)		Gugus fungsional
Pektin kulit buah naga	Pektin standar kulit jeruk	
3349	3389	Gugus OH
2945	2940	Gugus CH stretching
1735	1753	C–O dari gugus metil karboksilat teresterifikasi
1597	1585	Gugus karboksilat bebas

Hasil spektra FTIR pada **Gambar 1b** dan **1c** menunjukkan bahwa pektin kulit buah naga hasil ekstraksi memiliki kemiripan dalam bilangan gelombang serapan gugus fungsional dengan pektin kulit jeruk standar. Hal ini sesuai dengan riset terdahulu yang mengungkapkan bahwa pektin yang diekstraksi dari limbah buah dapat menghasilkan karakteristik yang serupa dengan pektin komersial (Khairuddin, 2023; Przybyszewska *et al.*, 2023). Pektin dari kulit buah naga menunjukkan puncak serapan pada bilangan gelombang 1730 cm⁻¹ untuk gugus metil ester dan 1600 cm⁻¹ untuk gugus karboksilat, yang juga sesuai dengan literatur terkait ekstraksi pektin dari sumber buah lainnya (Merino *et al.*, 2021). Hasil perhitungan nilai derajat esterifikasi pektin kulit buah naga hasil ekstraksi ditunjukkan oleh **Tabel 2**.

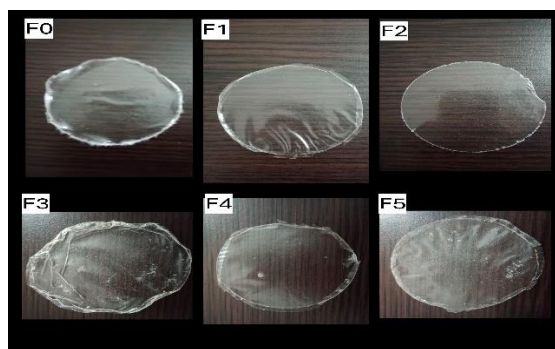
Tabel 2. Hasil perhitungan nilai derajat esterifikasi pektin kulit buah naga hasil ekstraksi.

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	%T	T	A
1735	95,41	0,954	0,020
1597	91,02	0,910	0,041
Derajat esterifikasi (%)			33,306

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan derajat esterifikasi (DE) pektin kulit buah naga sebesar 33,306%. Pektin dari kulit buah naga termasuk dalam kategori pektin rendah metoksil, di mana kurang dari 50% gugus karboksil teresterifikasi. Pektin dengan DE rendah ini cenderung bersifat hidrofilik karena memiliki lebih banyak gugus karboksil bebas yang dapat berinteraksi dengan air melalui ikatan hidrogen. Nilai derajat esterifikasi pektin kulit buah naga yang kurang dari 50% menunjukkan bahwa pektin ini termasuk dalam kategori rendah metoksil (LM). Pektin LM biasanya lebih cocok digunakan dalam aplikasi bioplastik karena kemampuannya membentuk gel dalam berbagai kondisi tanpa memerlukan kadar gula tinggi, berbeda dengan pektin tinggi metoksil (HM) yang lebih cocok untuk produk makanan tinggi gula ([Chang et al., 2012](#)). Hal ini menunjukkan bahwa pektin dari kulit buah naga dapat memiliki aplikasi yang lebih luas, baik dalam industri makanan rendah gula maupun aplikasi non-makanan seperti bioplastik ([Przybyszewska et al., 2023](#)). Dalam konteks bioplastik, pektin dengan DE rendah memiliki potensi yang besar karena sifatnya yang lebih hidrofilik dan kemampuannya untuk membentuk film dengan sifat mekanik yang baik. Pektin ini dapat dikombinasikan dengan bahan alami lainnya, seperti pati atau karagenan untuk menghasilkan bioplastik yang lebih kuat dan tahan terhadap kelembapan ([Arooj, 2023](#)).

Pembuatan Bioplastik Pati Tapioka-Karagenan-Pektin Kulit Buah Naga

Bioplastik berhasil dibuat dengan menggunakan berbagai komposisi pati tapioka, kitosan, gliserol, karagenan, dan pektin dari kulit buah naga. Kombinasi ini menghasilkan variasi formula yang berbeda, setiap formula menunjukkan karakteristik yang hampir sama. Bioplastik yang dihasilkan menyerupai plastik konvensional, dengan sifat transparan, elastis, tidak kaku, dan tidak mudah robek yang terlihat jelas pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. F0 bioplastik tanpa pektin-karagenan; F1 bioplastik dengan karagenan 1 g; F2 bioplastik dengan karagenan 0,7 g dan pektin 0,3 g; F3 bioplastik dengan karagenan 0,5 g dan pektin 0,5 g; F4 bioplastik dengan karagenan 0,3 g dan pektin 0,7 g; F5 bioplastik dengan pektin 1 g.

Data Uji Karakterisasi Bioplastik

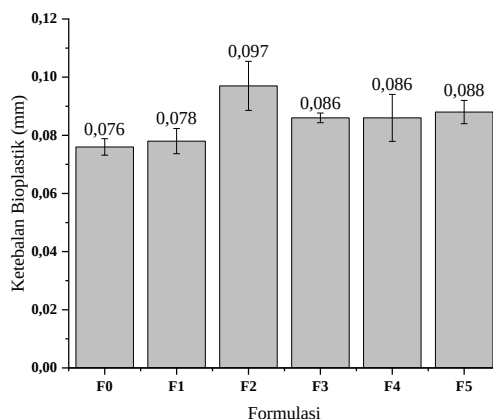
Data hasil karakterisasi bioplastik pati tapioka dengan karagenan dan pektin kulit buah naga meliputi uji ketebalan, opasitas, dan densitas bioplastik. Data dapat dilihat pada [Tabel 3](#).

Tabel 3. Data hasil semua uji bioplastik pati tapioka-karagenan-pektin kulit buah naga.

Karakteristik	Formula					
	F0	F1	F2	F3	F4	F5
Ketebalan	0,076	0,078	0,097	0,086	0,086	0,088
Opasitas	5,976	3,154	3,112	3,020	3,201	4,104
Densitas (g/mL)	1,345	1,596	1,897	1,715	1,552	1,451

Ketebalan Bioplastik

Diagram ketebalan bioplastik pati tapioka-karagenan-pektin dari kulit buah naga dapat diamati pada [Gambar 3](#), yang menampilkan variasi ketebalan bioplastik dari berbagai formulasi, dengan nilai berkisar antara 0,076 mm hingga 0,097 mm. Formulasi F2 menunjukkan ketebalan tertinggi sebesar 0,097 mm, sementara formulasi F0 memiliki ketebalan terendah sebesar 0,076 mm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan pektin dan karagenan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan bioplastik yang dihasilkan. Hasil uji one-way ANOVA, memperlihatkan nilai signifikan ($p = 0,002$), yang mengindikasikan adanya perbedaan signifikan dalam ketebalan antara formulasi bioplastik yang diuji.



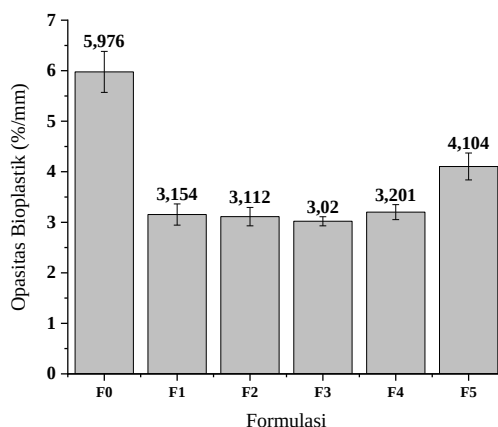
Gambar 3. Grafik ketebalan bioplastik pati tapioka karagenan pektin kulit buah naga.

Hasil uji ketebalan pada penelitian ini selaras dengan studi terdahulu yang membuktikan bahwa penambahan bahan terlarut, seperti pektin dan karagenan, dapat meningkatkan ketebalan film bioplastik (Przybyszewska *et al.*, 2023; Santana, 2024). Ketebalan bioplastik dalam penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan bioplastik berbasis kitosan-karagenan yang dilaporkan oleh (Rizal *et al.*, 2022), namun lebih tipis dibandingkan dengan bioplastik berbahan tepung kentang-pektin (Khairuddin, 2023). Faktor utama yang mempengaruhi ketebalan ini adalah jumlah padatan terlarut dalam campuran formulasi, yang memungkinkan pembentukan matriks bioplastik yang lebih padat dan tebal.

Ketebalan bioplastik merupakan parameter karakteristik fisika bioplastik penting yang mempengaruhi sifat mekanik dan ketahanan terhadap kelembapan, yang keduanya sangat penting dalam aplikasi kemasan (Pokhrel *et al.*, 2022). Ketebalan yang lebih tinggi, seperti yang terlihat pada formulasi F2, dapat memberikan ketahanan mekanik yang lebih baik, yang berarti bioplastik ini lebih tahan terhadap tekanan dan tarikan selama penggunaan. Namun, bioplastik yang terlalu tebal juga dapat meningkatkan kekakuan, yang berpotensi mengurangi fleksibilitasnya (Favian, 2023). Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi lebih lanjut untuk menyeimbangkan ketebalan dengan sifat fleksibilitas yang dibutuhkan dalam aplikasi tertentu, seperti kemasan makanan yang membutuhkan kekuatan dan kelenturan.

Opasitas Bioplastik

Data opasitas bioplastic pati tapioka karagenan pektin kulit buah naga ditunjukkan oleh Gambar 4, yang menunjukkan variasi nilai opasitas dari berbagai formulasi bioplastik yang diuji, dengan rentang nilai antara 3,020 mm⁻¹ hingga 5,976 mm⁻¹. Formulasi F0, yang tidak mengandung penambahan pektin maupun karagenan, memiliki nilai opasitas tertinggi sebesar 5,976 mm⁻¹, sementara formulasi F3 memiliki nilai opasitas terendah sebesar 3,020 mm⁻¹. Berdasarkan pengujian Kruskal-Wallis, diperoleh nilai p sebesar 0,037, menunjukkan bahwa penambahan pektin dan karagenan memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai opasitas bioplastik ($p < 0,05$).



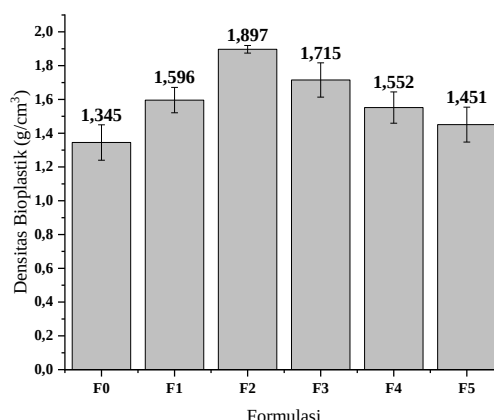
Gambar 4. Grafik opasitas bioplastik pati tapioka karagenan pektin kulit buah naga.

Penurunan nilai opasitas yang diamati pada formulasi dengan penambahan karagenan dan pektin sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan bahan seperti karagenan dapat mengurangi opasitas bioplastik karena meningkatkan homogenitas campuran (Rizal *et al.*, 2022). Bioplastik yang lebih homogen memungkinkan lebih banyak cahaya melewati material, yang menyebabkan penurunan opasitas (Santana, 2024). Sebaliknya, penambahan pektin, terutama pektin dengan derajat esterifikasi rendah, cenderung meningkatkan opasitas karena interaksi yang lebih kuat antara gugus karboksil bebas dengan matriks bioplastik (Przybyszewska *et al.*, 2023).

Nilai opasitas yang tinggi, seperti yang ditemukan pada formulasi F0, menunjukkan potensi aplikasi bioplastik tersebut dalam industri yang memerlukan penghalang cahaya yang baik, misalnya untuk kemasan makanan yang rentan terhadap kerusakan oleh sinar UV (Wortman *et al.*, 2016). Di sisi lain, opasitas yang lebih rendah pada formulasi F3 dan formulasi lainnya menunjukkan bahwa bioplastik ini dapat digunakan untuk aplikasi di mana transparansi lebih diinginkan, seperti kemasan produk segar yang memerlukan visibilitas produk (Adhitama *et al.*, 2023).

Densitas Bioplastik

Data grafik hasil uji densitas karagenan pektin kulit buah naga dapat dilihat pada Gambar 5, yang menampilkan nilai densitas bioplastik dari berbagai formulasi yang diuji, dengan kisaran antara 1,345 g/cm³ hingga 1,897 g/cm³. Formulasi F2 memiliki densitas tertinggi sebesar 1,897 g/cm³, sementara formulasi F0 menunjukkan densitas terendah sebesar 1,345 g/cm³. Analisis statistik One Way ANOVA mengindikasikan bahwa penambahan pektin kulit buah naga dan karagenan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap densitas bioplastik ($p = 0,005$), dengan $F = 6,072$.



Gambar 5. Grafik densitas bioplastik pati tapioka karagenan pektin kulit buah naga.

Peningkatan densitas pada formulasi yang mengandung karagenan dan pektin, seperti terlihat pada formulasi F2, dapat dijelaskan oleh fakta bahwa karagenan memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pektin atau pati (Przybyszewska *et al.*, 2023; Santana, 2024). Temuan ini sejalan dengan penelitian yang mengungkap bahwa penambahan bahan pengisi seperti karagenan cenderung meningkatkan densitas bioplastik karena peningkatan massa jenis materialnya (Santana, 2024). Selain itu, penambahan pektin dari limbah kulit buah naga, yang memiliki sifat fisikokimia kompleks, juga berkontribusi terhadap peningkatan densitas pada beberapa formulasi (Przybyszewska *et al.*, 2023).

KESIMPULAN

Penambahan karagenan dapat meningkatkan densitas bioplastik, sedangkan penambahan pektin cenderung meningkatkan opasitas. Formulasi 2 (F2) sintesis bioplastik dengan modifikasi penambahan 0,3 g pektin limbah kulit buah naga dan 0,7 g karagenan merupakan formulasi terbaik dengan nilai ketebalan sebesar 0,097 mm dan nilai densitas sebesar 1,897 gr/cm³. Secara keseluruhan, penggunaan kombinasi pektin dan karagenan terbukti efektif dalam memperbaiki karakteristik bioplastik, terutama dalam meningkatkan kekuatan mekanik dan penghalang cahaya.

KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini.

KONTRIBUSI PENULIS

BAAM: Metodologi, Konseptualisasi, Penulisan Draf Manuskrip; SS: Analisis Data, Software, Telaah dan Penyuntingan Manuskrip; PRF: Pengambilan Data; MR: Pengambilan Data.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhitama, R., Setiawan, J.V., Sukweenadhi, J., Goeltom, M.T., 2023. Utilization of Breadfruit (*Artocarpus altilis*) Peel Waste and Blood Clam Shell Waste (*Anadara granosa*) as Raw Materials for Glycerol-Plasticized Degradable Bioplastic Production. *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 7, 12–21. <https://doi.org/10.47007/ijobb.v7i1.167>.
- Arooj, A., 2023. Starch/Pectin as Emerging Renewable Materials for Fabrication of Sustainable Bioplastics for Food Packaging Applications. *Research Square*, 1–17. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3160443/v1>.
- Chang, Y., McLandsborough, L., McClements, D.J., 2012. Cationic Antimicrobial (E-Polylysine)–Anionic Polysaccharide (Pectin) Interactions: Influence of Polymer Charge on Physical Stability and Antimicrobial Efficacy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 1837–1844. <https://doi.org/10.1021/jf204384s>.
- Cinar, S.Ö., Chong, Z.K., Küçüker, M.A., Wieczorek, N., Cengiz, U., Kuchta, K., 2020. Bioplastic Production From Microalgae: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 3842. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113842>.
- Dzaky, M., Sulmartiwi, L., Pujiastuti, D.Y., 2022. Application of Modified Starch on Bioplastic Spoon Based Carrageenan from *Eucheuma cottonii* on Biodegradability and Water Resistance. *Journal of Marine and Coastal Science*, 11, 40–48. <https://doi.org/10.20473/jmcs.v11i2.30488>.
- Elkaliny, N.E., 2024. Macroalgae Bioplastics: A Sustainable Shift to Mitigate the Ecological Impact of Petroleum-Based Plastics. *Polymers*, 16, 1246. <https://doi.org/10.3390/polym16091246>.
- Faradilla, R.F., 2023. Pengaruh Formulasi Kitosan Udang Windu dan Karagenan Terhadap Sifat Bioplastik dengan Pemlastis Polietilen Glikol. *Journal Sains dan Inovasi Perikanan*, 7, 50–62. <https://doi.org/10.33772/jsipi.v7i1.214>.
- Favian, E., 2023. Effect of carrageenan addition on the characteristic of chitosan-based bioplastic. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1289, 012039. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1289/1/012039>.
- Hanry, E.L., Surugau, N., 2023. Optimization of Biomass-to-Water Ratio and Glycerol Content to Develop Bioplastics from Whole Seaweed, *Kappaphycus alvarezii*. *Research Square*, 1–17. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2757261/v1>.
- Henao-Díaz, L.S., Cadena-Casanova, C.L., López, G.I.B., Véleva, L., Azamar-Barrios, J.A., Hernández-Villegas, M.M., Córdova-Sánchez, S., 2021. Obtaining and Characterization Films of a Bioplastic Obtained from Passion Fruit Waste (*Passiflora edulis*). *Agro Productividad*, 14, 1–9. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i7.2010>.
- Hidayat, F., Syaubari, S., Salima, R., 2020. Pemanfaatan pati tapioka dan kitosan dalam pembuatan plastik biodegradable dengan penambahan gliserol sebagai plasticizer. *Jurnal Litbang Industri*, 10, 33–38. <https://doi.org/10.24960/jli.v10i1.5970.33-38>.
- Imoisili, P.E., Jen, T.-C., 2023. Synthesis and characterization of bioplastic films from potato peel starch; effect of glycerol as plasticizer. *Materials Today: Proceedings*, 105:1–5. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.565>.
- Khairuddin, N., 2023. Physico-Chemical Characteristics of Crosslinked-Biofilm Made From *Passiflora Edulis* Waste. *Malaysian Applied Biology*, 52, 29–34. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v52i5.cp18>.
- Kitir, N., Yildirim, E., Şahin, Ü., Turan, M., Ekinci, M., Ors, S., Kul, R., Ünlü, Hüsnü, Ünlü, Halime, 2018. *Peat Use in Horticulture*. Peat. InTech (Chapter 5). <https://doi.org/10.5772/intechopen.79171>.
- Kurniawan, M.F., Adenia, Z., 2022. Ekstraksi Pektin Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) dengan Pelarut Asam Sitrat dan Aplikasinya sebagai Polimer Plastik Biodegradable. *Al-Kimiya*, 9, 10–18. <https://doi.org/10.15575/ak.v9i1.17425>.
- Listyarini, R.V., Susilawati, P.R., Nukung, E.N., Yua, M.A.T., 2020. Bioplastic From Pectin of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 23, 203–208. <https://doi.org/10.14710/jksa.23.6.203-208>.

- Marlina, L., Indriani, R., Wulandari, R.R., Kimia, T., 2023. Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Naga Super Merah (*Hylocereus polyrhizus*) Menjadi Permen Jelly dengan Variasi Rasa Jahe Merah (*Zingiber officinale* Var. Rubrum). *TEDC Jurnal Ilmiah Berkala*, 17, 93–102.
- Mellinas, C., Ramos, M., Jiménez, A., Garrigós, M.C., 2020. Recent Trends in the Use of Pectin from Agro-Waste Residues as a Natural-Based Biopolymer for Food Packaging Applications. *Materials*, 13, 673. <https://doi.org/10.3390/ma13030673>.
- Merino, D., Bertolacci, L., Paul, U.C., Simonutti, R., Athanassiou, A., 2021. Avocado Peels and Seeds: Processing Strategies for the Development of Highly Antioxidant Bioplastic Films. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13, 38688–38699. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c09433>.
- Navasingh, R.J.H., 2023. Sustainable Bioplastics for Food Packaging Produced from Renewable Natural Sources. *Polymers*, 15, 3760. <https://doi.org/10.3390/polym15183760>.
- Fadzillah, N.A., Othman, R., Hassan, N.M., Muhammad, N.W.F., Bakar, A.E.A., Noh, N.H., Mahmad, N., 2019. Hot Acid Extraction, Characterisation and Scavenging Activity of Pectin from *Hylocereus polyrhizus*. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*, 9, 276–282. <https://doi.org/10.29169/1927-5951.2019.09.05.6>.
- Oliveira, J., Almeida, P.L., Lourenço, N.D., Gaudêncio, S.P., 2022. Marine-Derived Actinomycetes: Biodegradation of Plastics and Formation of PHA Bioplastics—A Circular Bioeconomy Approach. *Marine Drugs*, 20, 760. <https://doi.org/10.3390/md20120760>.
- Oluwasina, Olugbenga O., Olaleye, F.K., Olusegun, S.J., Oluwasina, Olayinka O., Mohallem, N.D.S., 2019. Influence of oxidized starch on physicochemical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 282–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.150>.
- Pokhrel, S., Limbu, S.K., Subedi, S., 2022. Jackfruit Starch Based Blends With Polyvinylpyrrolidone: Preparation, Structural Characterization, and Biodegradable Properties. *Macromolecular Symposia*, 403. <https://doi.org/10.1002/masy.202200063>.
- Pradana, G.W., Jacob, A.M., Suwandi, R., 2017. Karakteristik Tepung Pati dan Pektin Buah Pepada Serta Aplikasinya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Edible Film. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20, 609–619. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i3.19818>.
- Priyanto, A., Hendrawati, T.Y., 2018. Pengaruh kecepatan sentrifugasi terhadap karakteristik ekstrak aloe chinensis baker. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 17 Oktober 2018, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Indonesia, pp. 1–8.
- Przybyszewska, A., Barbosa, C.H., Pires, F., Pires, J.R.A., Rodrigues, C., Galus, S., Alves, M.M., Santos, C., Coelho, I.M., Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando, 2023. Packaging of Fresh Poultry Meat with Innovative and Sustainable ZnO/Pectin Bionanocomposite Films—A Contribution to the Bio and Circular Economy. *Coatings*, 13, 1208. <https://doi.org/10.3390/coatings13071208>.
- Rizal, S., Alfatah, T., H. P. S. Abdul Khalil, Yahya, E.B., Abdullah, C.K., Mistar, E.M., Ikramullah, I., Kurniawan, R., Bairwan, R., 2022. Enhanced Functional Properties of Bioplastic Films Using Lignin Nanoparticles from Oil Palm-Processing Residue. *Polymers*, 14, 5126. <https://doi.org/10.3390/polym14235126>.
- Santana, I., 2024. Seaweed as Basis of Eco-Sustainable Plastic Materials: Focus on Alginate. *Polymers*, 16, 1662. <https://doi.org/10.3390/polym16121662>.
- Tien, N.N.T., Nguyen, H.T., Le, N.L., Khoi, T.T., Richel, A., 2023. Biodegradable films from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel pectin and potato starches crosslinked with glutaraldehyde. *Food Packaging and Shelf Life*, 37, 101084. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101084>.
- Wortman, S.E., Kadoma, I., Crandall, M., 2016. Biodegradable Plastic and Fabric Mulch Performance in Field and High Tunnel Cucumber Production. *Horttechnology*, 26, 148–155. <https://doi.org/10.21273/horttech.26.2.148>.
- Wulandari, P., Sedayu, B.B., Novianto, T.D., Prasetyo, A.W., 2021. Characteristic of semi refined and refined carrageenan flours used in the making of biofilm (bioplastic). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733, 012112. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012112>.