

Aplikasi Pati Termodifikasi pada Sendok Bioplastik Berbasis Karagenan dari *Eucheuma cottonii* Terhadap Kemampuan Biodegradasi dan Ketahanan Air
Application of Modified Starch on Bioplastic Spoon Based Carrageenan from *Eucheuma cottonii* on Biodegradability and Water Resistance

Muhammad Dzaky¹, Laksmi Sulmartiwi^{2*}, dan Dwi Yuli Pujiastuti³

¹Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

²Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

³Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Article Info

Received: 2022-06-10

Revised: 2022-06-10

Accepted: 2022-06-10

Online: 2022-06-28

Koresponding:

Laksmi Sulmartiwi,
Departemen Kelautan,
Fakultas Perikanan dan
Kelautan Universitas Airlangga,
Surabaya, Jawa Timur,
Indonesia

E-mail:

laksmi-s@fpk.unair.ac.id

Abstrak

Polisakarida seperti karagenan merupakan bahan potensial yang dapat digunakan sebagai bioplastik. Pati termodifikasi merupakan bahan yang dapat menurunkan sifat hidrofilik dan meningkatkan sifat hidrofobik dan mekanik bioplastik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh aplikasi pati termodifikasi pada sendok bioplastik berbasis karagenan dari rumput laut *Eucheuma cottonii* terhadap kemampuan biodegradasi dan ketahanan air, dan mengetahui formulasi sendok bioplastik terbaik yang dapat menghasilkan kemampuan biodegradasi dan ketahanan air paling baik. Metode eksperimen pada penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap. Perlakuan yang diberikan yaitu pada konsentrasi pati termodifikasi (0; 2; 2,5; dan 3 gram). Hasil menunjukkan sendok bioplastik yang memiliki nilai biodegradasi terbaik yaitu P0 63,01% dengan waktu degradasi paling kecil yaitu 47.60 hari. Sedangkan formulasi terbaik untuk ketahanan air yaitu P2 dengan nilai ketahanan air 48,98% pada suhu dingin (4°C), 100,37% pada suhu ruang (25°C) dan 80,05% pada suhu panas (80°C). Formulasi sendok bioplastik terbaik yang dapat dipakai adalah P2 dengan penambahan 2,5 gram pati termodifikasi. Penambahan pati termodifikasi akan memperlambat laju biodegradasi dan memperbaiki sifat ketahanan air, namun menghasilkan nilai yang fluktuatif yang disebabkan oleh berbagai faktor.

Kata kunci: bioplastik, karagenan, pati termodifikasi, biodegradasi, ketahanan air

Abstract

Polysaccharides such as carrageenan are potential materials that can be used as bioplastics. Modified starch is a material that can reduce the hydrophilic properties and increase the hydrophobic and mechanical properties of bioplastics. The purpose of this study was to determine the effect of the application of modified starch on carrageenan-based bioplastic spoons from seaweed *Eucheuma cottonii* on the biodegradability and water resistance, and to determine the best formulation of bioplastic spoons that could produce the best biodegradability and water resistance. The experimental method in this study used a completely randomized design. The treatment given was the concentration of modified starch (0; 2; 2.5; and 3 grams). The results showed that the bioplastic spoon had the best biodegradation value, namely P0 63.01% with the smallest degradation time of 47.60 days. The best formulation for water resistance is P2 with a water resistance value of 48.98% at cold temperatures (4°C), 100.37% at room temperature (25°C) and 80.05% at hot temperatures (80°C). So that the best bioplastic spoon formulation that can be used is P2 with the addition of 2.5 grams of modified starch.

Keywords: bioplastic, carrageenan, modified starch, biodegradation, water resistance

1. Pendahuluan

Plastik merupakan polimer kompleks yaitu memiliki rantai panjang dan berulang, sehingga plastik membutuhkan waktu yang lama untuk terdegradasi (Bhardwaj *et al.*, 2012). Salah satu contoh produk plastik yang berkontribusi terhadap penumpukan sampah plastik adalah sendok plastik. Keberadaan limbah plastik menyebabkan timbulnya berbagai permasalahan lingkungan, seperti penyumbatan air, merusak tanah untuk pertanian dan memberikan dampak negatif pada ekosistem (Usha *et al.*, 2011).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengganti penggunaan sendok plastik konvensional dengan melakukan formulasi bahan-bahan yang dapat terdegradasi secara alami sebagai bahan pembentuk sendok bioplastik. Sendok bioplastik dapat terdegradasi oleh aktivitas mikroorganisme seperti bakteri, alga, jamur dan yang lain (Kumar *et al.*, 2010).

Sintesis bioplastik dapat bersumber dari *marine* polisakarida yaitu karagenan karena bersifat *renewable*, terbentuk dari pengulangan unit disakarida, dan mudah diperoleh (Maryuni *et al.*, 2018). Kelebihan dari penggunaan karagenan rumput laut sebagai bahan bioplastik adalah mampu dihasilkan dalam jumlah yang banyak, harga yang relatif murah, bersifat non toksik, dan dapat menghasilkan bioplastik yang memiliki karakteristik menyerupai plastik

konvensional (Rajendran *et al.*, 2012).

Bahan tambahan lain seperti *plasticizer*, *filler*, atau lainnya perlu ditambahkan pada formulasi plastik *hydrocolloidal*, hal ini dikarenakan bioplastik dari karagenan memiliki kekurangan dibandingkan plastik lainnya, yaitu rendahnya resistensi terhadap air serta memiliki sifat mekanis yang rendah apabila digunakan sendiri atau tanpa adanya bahan tambahan lain (Abdorrezza *et al.*, 2011; Prachayawarakorn and Pomdage, 2014). Sifat tahan terhadap air (hidrofobik) merupakan salah satu sifat yang harus dimiliki bioplastik, oleh karena itu diperlukan adanya tambahan bahan pengisi atau biasa disebut *filler* (Nur *et al.*, 2020). *Filler* berfungsi untuk menguatkan atau mengeraskan material dari suatu komposit. *Filler* yang berasal dari polisakarida dapat berfungsi untuk meningkatkan sifat ketahanan air dari bioplastik (Melani *et al.*, 2017).

Salah satu sumber pati adalah dari pati tapioka. Sifat dari pati tapioka adalah hidrofilik yang akan mempengaruhi penyerapan air pada bioplastik sehingga diperlukan adanya modifikasi pada pati tapioka. Modifikasi pati menyebabkan perubahan karakteristik fisika, kimia, maupun enzimatik pati. Tujuan modifikasi pati adalah untuk menstabilkan granula pati (Onyango, 2016). Modifikasi pati merupakan salah satu metode yang dapat diharapkan memperbaiki sifat fisik, kimia dan fungsional dari pati alami (If'ail *et al.*, 2019).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh aplikasi pati termodifikasi pada sendok bioplastik berbasis karagenan dari rumput laut *E. cottonii* terhadap kemampuan biodegradasi dan ketahanan air, dan mengetahui formulasi sendok bioplastik terbaik yang dapat menghasilkan kemampuan biodegradasi dan ketahanan air paling baik.

2. Material dan Metode

Material

Bahan baku yang digunakan yaitu: karagenan dari PT. Kappa Carageenan Nusantara, Pasuruan, Jawa Timur, pati tapioka, dan tanah. Bahan kimia yang diperlukan untuk uji adalah NaOH, HCl, asam asetat, etanol, dan akuades.

Metode

Pembuatan Pati Termodifikasi

Sebanyak 100 gram tapioka dicampur dengan 225 mL akuades, dihomogenkan pada suhu kamar selama satu jam. Langkah selanjutnya adalah

menambahkan asam asetat 5% sebanyak 16% dari berat pati. Untuk mempertahankan pH suspensi pada pH 8, maka ditambahkan 3% NaOH pada suhu kamar, kemudian dibiarkan selama 50 menit untuk reaksi. Selanjutnya larutan pati ditambah HCl 0,5 N hingga pH 4,5 kemudian dilakukan pengendapan, pencucian dengan akuades dan etanol, dan disaring dengan kertas Whatman. Pati dikeringkan dalam oven selama 20 jam pada suhu 50°C, kemudian digiling dan diayak agar diperoleh pati yang halus.

Pembuatan Sendok Bioplastik

Pati termodifikasi sesuai konsentrasi perlakuan dilarutkan ke dalam 100 mL akuades kemudian dipanaskan dan dihomogenkan hingga suhu 85°C. Karagenan ditambahkan ke dalam larutan pati dan dihomogenkan. Sebanyak 5 mL sorbitol ditambahkan ke dalam larutan dan dihomogenkan selama 2 menit dan dipertahankan pada suhu 65°C. Selanjutnya bioplastik tersebut dicetak dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C dengan waktu selama 24 jam.

Tabel 1. Formulasi perlakuan sendok bioplastik

No.	Bahan	Satuan	Perlakuan			
			P0	P1	P2	P3
1.	Karagenan	gram	3	3	3	3
2.	Pati Termodifikasi	gram	0	2	2,5	3
3.	Sorbitol	mL	5	5	5	5
4.	Akuades	mL	100	100	100	100

Keterangan: P0 (tanpa penambahan pati termodifikasi), P1 (penambahan 2 gram pati termodifikasi), P2 (penambahan pati termodifikasi 2,5 gram), P3 (penambahan pati termodifikasi 3 gram)

Uji Biodegradasi

Sampel dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm kemudian ditimbang berat awal, dibanamkan ke dalam tanah sedalam 10 cm dan ditimbang kembali setelah

ditimbun dalam jangka waktu 7 hari (Putra *et al.*, 2017), namun pada penelitian ini menggunakan waktu 30 hari. Nilai yang diperoleh dihitung dengan rumus:

$$(\%) \text{Kehilangan berat} = \frac{W_0 - W}{W_0} \times 100\%$$

$$\text{Waktu degradasi sempurna} = \frac{100\%}{\% \text{Kehilangan berat}} \times \text{Waktu uji}$$

W₀ merupakan berat awal sampel dan W adalah berat akhir sampel.

Uji Ketahanan Air

Sampel dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm, kemudian ditimbang berat awal sampel (W₀). Sampel direndam dengan 30

W₁ adalah berat akhir sampel dan W₀ adalah berat awal sampel.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan ANOVA dan apabila terdapat perbedaan maka dilanjutkan dengan uji beda nyata menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Pengolahan data menggunakan program SPSS.

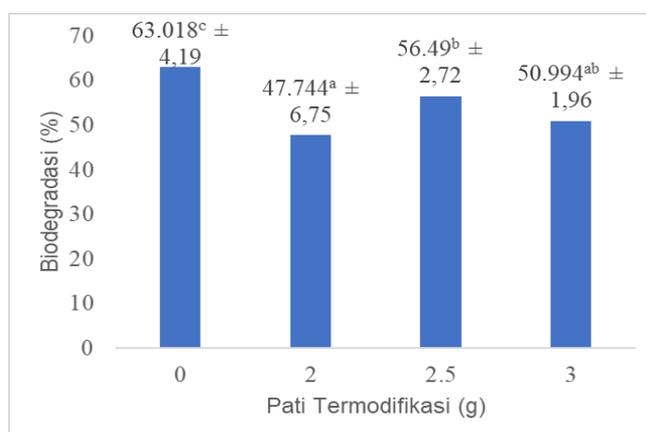
mL akuades selama 3 menit. Sampel diangkat dan dikeringkan menggunakan tisu, lalu ditimbang berat akhir sampel (W₁) (Illing and Satriawan, 2018).

$$\text{Swelling (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%$$

3. Hasil dan Pembahasan

Biodegradasi

Nilai persen biodegradasi menunjukkan seberapa banyak jumlah sampel bioplastik yang terdegradasi. Semakin tinggi persen biodegradasi menunjukkan sampel bioplastik semakin cepat terdegradasi.



Gambar 1. Rata-rata persentase biodegradasi sendok bioplastik

Keterangan : Notasi huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbandingan antar perlakuan terdapat perbedaan yang nyata ($p < 0.05$). Namun, huruf *superscript* yang sama menunjukkan bahwa antar perlakuan tidak berbeda nyata ($p > 0.05$).

Tabel 2. Waktu degradasi sempurna dari sendok bioplastik

Perlakuan	Waktu Degradasi Sempurna (hari)
P0	47,60
P1	62,83
P2	53,10
P3	58,88

Waktu degradasi sempurna sendok bioplastik berkisar antara 47,60-62,83 hari (Tabel 2). Waktu degradasi terendah (47,60 hari) terdapat pada perlakuan tanpa penambahan pati termodifikasi dengan rata-rata 60,018% biodegradasi yang berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan perlakuan lainnya (Gambar 1). Sedangkan waktu degradasi tertinggi

(62,83 hari) terdapat pada P2 (penambahan pati termodifikasi 2 gram) dengan rata-rata 47,744% biodegradasi yang tidak berbeda nyata ($p > 0,05$) dengan P3 (penambahan pati termodifikasi 3 gram).

Berdasarkan standar ASTM D-6002, biodegradasi *film* bioplastik membutuhkan waktu 60 hari untuk

terdegradasi hingga seluruhnya (100%). Hal ini menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan oleh sendok bioplastik untuk terurai telah mendekati standar. Kecepatan proses biodegradasi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah kelembaban, jenis mikroorganisme, temperatur, pH, jenis polimer, dan ketebalan polimer (Sumarsono, 2011).

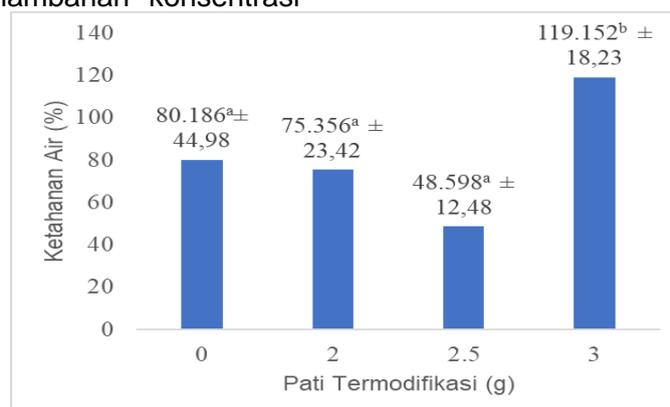
Proses pemecahan senyawa bioplastik saat biodegradasi dibantu oleh mikroorganisme, proses kimia, dan proses fisik (Wardah dan Erna, 2015). Hasil pemecahannya menjadi zat yang aman dan tidak berbahaya untuk lingkungan (Aripin *et al.*, 2017). Pada uji biodegradasi ini menggunakan tanah dengan pH 6,9. Menurut Marianah (2013) pH 6-8 merupakan pH optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme. Pada umumnya proses degradasi terjadi karena senyawa tersebut dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhannya (Sumarsono, 2011). Menurut Webb (2013), proses biodegradasi menyebabkan bioplastik menjadi rapuh dan pecah dan menjadi bagian yang lebih kecil hingga rantai polimer bioplastik memiliki berat molekul yang cukup rendah untuk dimetabolisme oleh mikroorganisme.

Pati yang dimodifikasi akan mengalami peningkatan karakteristik yaitu sifat hidrofobik (Yuliasih and Titi, 2014). Hal ini berarti penambahan konsentrasi

pati termodifikasi pada bioplastik akan menyebabkan bioplastik semakin sulit terurai karena jumlah air yang diikat oleh pati termodifikasi sedikit. Menurut Hendrawati *et al.*, (2015), sifat hidrofobik akan mempengaruhi kecepatan degradasi bioplastik. Aktivitas mikroorganisme pendegradasi bioplastik akan terhambat akibat mikroorganisme membutuhkan air untuk metabolisme saat mendegradasi bioplastik di tanah. Berdasarkan hasil uji biodegradasi pada penelitian ini dapat dilihat bahwa gambar grafik menunjukkan fluktuasi nilai biodegradasi dengan nilai paling kecil yaitu 47,744%. Kecepatan biodegradasi yang berbeda dapat dipengaruhi berbagai faktor. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah kelembaban, jenis mikroorganisme, temperatur, pH, jenis polimer, dan ketebalan polimer (Sumarsono, 2011). Menurut Agnihotri *et al.*, (2020) kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban dan intensitas cahaya matahari adalah faktor eksternal yang dapat mempengaruhi degradasi. Cahaya matahari berpengaruh pada pertumbuhan mikroorganisme, kelembaban dan suhu pada media biodegradasi. Cahaya yang minim akan menjadikan tanah sedikit lebih basah dan menjadikan sampel bioplastik basah (Suriani *et al.*, 2013).

Ketahanan Air

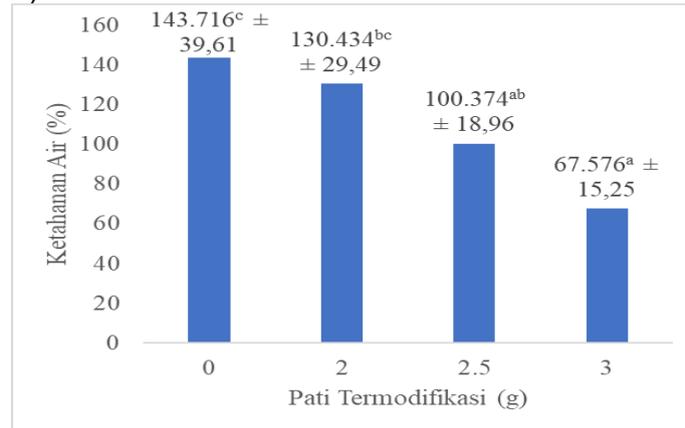
a. Suhu Dingin (4°C)



Gambar 2. Grafik persentase ketahanan air sendok bioplastik pada suhu dingin

Keterangan : Notasi huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbandingan antar perlakuan terdapat perbedaan yang nyata ($p < 0.05$). Namun, huruf *superscript* yang sama menunjukkan bahwa antar perlakuan tidak berbeda nyata ($p > 0.05$).

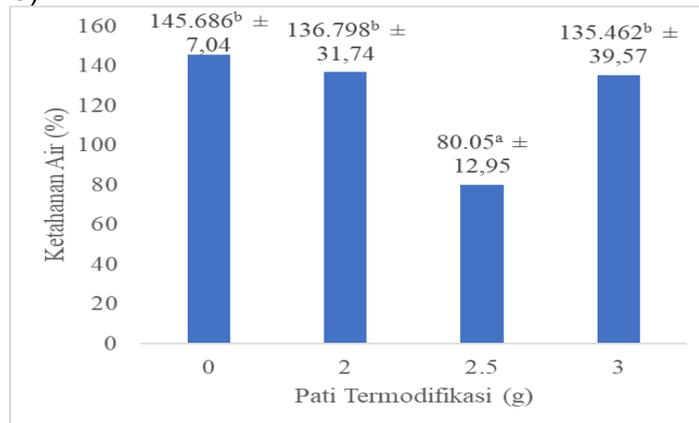
b. Suhu Ruang (25°C)



Gambar 3. Grafik persentase ketahanan air sendok bioplastik pada suhu ruang

Keterangan : Notasi huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbandingan antar perlakuan terdapat perbedaan yang nyata ($p < 0.05$). Namun, huruf *superscript* yang sama menunjukkan bahwa antar perlakuan tidak berbeda nyata ($p > 0.05$).

c. Suhu Panas (80°C)



Gambar 4. Grafik persentase ketahanan air sendok bioplastik pada suhu panas

Keterangan : Notasi huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbandingan antar perlakuan terdapat perbedaan yang nyata ($p < 0.05$). Namun, huruf *superscript* yang sama menunjukkan bahwa antar perlakuan tidak berbeda nyata ($p > 0.05$).

Ketahanan air untuk sendok plastik diuji dengan tiga macam suhu air yaitu suhu dingin 4°C, suhu ruang 25°C, dan suhu panas 80°C. Hasil uji ketahanan air suhu 25°C menunjukkan penurunan nilai (Gambar 3). Hal ini disebabkan oleh penambahan pati termodifikasi yang bersifat hidrofobik, dimana dengan adanya peningkatan konsentrasi pati termodifikasi dapat menghambat penyerapan air pada sampel bioplastik. Pada suhu uji 4°C dan 80°C grafik menunjukkan nilai fluktuatif (Gambar 2 dan Gambar 4). Perbedaan ketebalan dari

sampel kemungkinan dapat mempengaruhi kecepatan penyerapan air pada sampel. Selain itu suhu yang semakin meningkat dari suhu awal 4°C dan suhu yang semakin menurun dari suhu awal 80°C juga dapat mempengaruhi daya serap air pada sampel bioplastik. Nilai ketahanan air 48,598% (suhu 4°C) pada P2 (penambahan pati termodifikasi 2,5 gram) dan 67,576% (suhu 25°C) pada P3 (penambahan pati termodifikasi 3 gram) telah memenuhi standard *Japanese Industrial Standard* (JIS) yaitu $\leq 70\%$. Namun terlihat pada suhu panas 80°C,

nilai ketahanan air untuk semua perlakuan belum memenuhi standar JIS.

Uji ketahanan air merupakan suatu pengujian untuk mengetahui bioplastik yang dihasilkan apakah dapat larut air atau tidak dalam jangka waktu dan suhu tertentu. Uji ini digunakan untuk mengetahui terjadinya ikatan pada polimer serta tingkatan atau keteraturan ikatan pada polimer yang ditentukan dari presentase penambahan berat polimer setelah mengalami pengembangan (Iling and Satriawan, 2018). Sifat ketahanan air *film* bioplastik ditentukan dengan seberapa banyak *film* bioplastik menyerap air atau persentase pengembangan *film* bioplastik dengan adanya air yang masuk, semakin rendah nilai penyerapan air maka sifat *film* bioplastik akan semakin baik sedangkan sebaliknya, semakin tinggi nilai penyerapan air maka bioplastik tersebut akan mudah hancur. Hal ini ditandai dengan *film* bioplastik yang tampak lembek dan kemudian hancur (Coniwanti, 2014).

Kation dan gugus sulfat dari karagenan berikatan dengan air sehingga mempunyai sifat hidrofilik (Campo *et al.*, 2009). Selain itu, karagenan mempunyai gugus hidroksil bebas (OH-) yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan H₂O sehingga menyebabkan karagenan memiliki kemampuan untuk mengikat air (Sulistyo *et al.*, 2018). Selain itu sorbitol juga memiliki sifat hidrofilik (Firmansyah *et al.*, 2018). Bahan-bahan pembentuk bioplastik tersebut menyebabkan ketahanan air dari bioplastik menjadi rendah karena memiliki daya serap air yang tinggi. Penambahan pati termodifikasi dapat meningkatkan ketahanan air bioplastik karena bersifat hidrofobik. Sifat hidrofobik pati tapioka termodifikasi karena pati modifikasi dengan cara asetilasi. Penambahan gugus asetil pada proses asetilasi dapat mempengaruhi sifat fisikokimia pati (Rizkiana, 2015). Modifikasi pati dengan cara asetilasi menghidrolisis pati dan menghasilkan rantai-rantai lurus yang lebih banyak, hal ini akan meningkatkan kestabilan pati karena berkurangnya gugus OH. Ikatan hidrogen akan

berkurang dengan berkurangnya gugus OH yang terjadi antara gugus OH dan molekul air (Cahyaningtyas *et al.*, 2019). Modifikasi pati dengan cara asetilasi akan menggantikan gugus hidroksil (OH) oleh gugus asetil dari asam asetat (Azzahra, 2019). Berkurangnya gugus hidroksil pada pati modifikasi menyebabkan air yang terikat lebih sedikit.

4. Kesimpulan

Pati termodifikasi berpengaruh terhadap kemampuan biodegradasi dan ketahanan air sendok bioplastik. Penambahan pati termodifikasi memiliki sifat hidrofobik tersebut akan menghambat proses biodegradasi sehingga tingkat degradasi bioplastik menjadi lebih rendah. Pati termodifikasi juga berpengaruh dalam memperlambat dan menurunkan nilai pembengkakan bioplastik dikarenakan sifat hidrofobik pada pati Formulasi sendok bioplastik terbaik yang dapat dipakai adalah perlakuan penambahan 2,5 gram pati termodifikasi. termodifikasi.

Daftar Pustaka

- Abdorreza, M. N., Cheng, L. H., & Karim, A. A. (2011). Effects of plasticizer on thermal properties and heat sealability of sago starch films. *Food Hydrocolloids*, 25:56-60.
- Agnihotri, S., Shukla, S., & Pilla, S. (2020). Sustainability issues in bioplastics. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 5:249-273.
- Aripin, S., Saing, B., & Kustyah E. (2017). Studi pembuatan bahan alternatif plastik *biodegradable* dari pati ubi jalar dengan *plasticizer* gliserol dengan metode *Melt Intercalation*. *Jurnal Teknik Mesin*, 6:18-23.
- Azzahra, A. F. (2019). Modifikasi pati garut (*Maranta arundinacea*) dengan metode asetilasi-oksidasi dan aplikasinya sebagai pengganti gelatin pada *marshmallow cream*. *Indonesian Journal of Materials*

- Chemistry*, 2(1):31-34.
- Bhardwaj, H., Gupta, R., & Tiwari, A. (2012). Microbial population associated with plastic degradation. India: School of Biotechnology, Rajiv Gandhi Proudyogiki Vishwavidyalaya, Bhopal.
- Cahyaningtyas, A. A., Ermawati, R., Supeni, G., Syamani, F. A., Masruchin, N., Kusumaningrum, W. B., Pramasari, D. A., Darmawan, T., Ismadi, Wibowo, E. S., Triwibowo, D., & Kusumah, S. S. (2019). Modifikasi dan karakterisasi pati batang kelapa sawit secara hidrolisis sebagai bahan baku bioplastik. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 4(1):37-44.
- Campo, V. L., Kawano, D. F., da Silva Jr, D. B., & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A Review. *Carbohydrate Polymers*, 77(2):167-180.
- Coniwanti, P., Laila, L., & Alfira, M. R. (2014). Pembuatan film plastik biodegradabel dari pati jagung dengan penambahan kitosan dan pemlastis gliserol. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(4): 22-30.
- Hendrawati, N., Anna, R. S., & Ilmi, N. W. (2015). Pengaruh penambahan magnesium stearat dan jenis protein pada pembuatan biodegradable foam dengan metode baking process. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 4(2):34-39.
- Firmansyah, G., Fahry, P., Lia, M., & Wahyu, R. (2018). Pengaruh penambahan gliserol dan sorbitol terhadap sifat ketahanan air dan biodegradabilitas bioplastik berbahan pati biji durian. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*, 1(3):17-20.
- If'all., Hasanuddin, A., Rahim, A., & Kadir, S. (2019). Modifikasi pati secara asetilasi terhadap gugus fungsi asetil dan kristanilitas pati ubi banggai asetat. *Journal of Science and Technology*, 12(2):135-140.
- Illing, I., & Satriawan, M. B. (2018). Uji Ketahanan air bioplastik dari limbah ampas sagu dengan penambahan variasi konsentrasi gelatin. *Prosiding Seminar Nasional*, 3(1):182-189.
- Kumar, M., Mohanty, S., Nayak, S. K., & Rahail, P. M. (2010). Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites. *Bioresource Technology*, 101:8406-8415.
- Marianah, L. (2013). Analisis pemberian *Trichoderma* sp terhadap pertumbuhan kedelai. Jambi: Balai Pelatihan Pertanian Jambi.
- Maryuni, A. E., Sepriani, M., & Dewi, W. K. (2018). Karakterisasi bioplastik dari karaginan dari rumput laut merah asal kabupaten biak yang dibuat dengan metode blending menggunakan pemlastis sorbitol. *Avogadro Jurnal Kimia*, 2(1):1-9.
- Melani, A., Netty, H., & Fajri, A. K. (2017). Bioplastik pati umbi talas melalui proses melt intercalation (Kajian pengaruh jenis filler, konsentrasi filler dan jenis plasticizer). *Distilasi*, 2(2):53-67.
- Nur, R. A., Nazir, N., & Taib, G. (2020). Karakteristik bioplastik dari pati biji durian dan pati singkong yang menggunakan bahan pengisi MCC (microcrystalline cellulose) dari kulit kakao. *Gema Agro*, 25(1):1-10.
- Onyango, C. (2016). Starch and modified starch in bread making: A Review. *African Journal of Food Science*, 10(12):344-51.
- Prachayawarakorn, J., & Pomdage, W.

- (2014). Effect of carrageenan on properties of biodegradable thermoplastic cassava starch/low-density polyethylene composites reinforced by cotton fibers. *Materials & Design*, 61:264-269.
- Putra, A. D., Johan, V. S., & Efendi, R. (2017). Penambahan sorbitol sebagai *plasticizer* dalam pembuatan *edible film* pati sukun. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*, 4(2):1-15.
- Rajendran, N., Puppala, S., Raj M. S., Angeeleena, B. R., & Rajam, C. (2012). Seaweeds can be a new source for bioplastics. *Journal of Pharmacy Research*, 5(3):1476-1479.
- Rizkiana, W. (2015). Produksi pati tapioka nanokristalin terasetilasi. Skripsi. Bogor: Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Sulistyo, F. T., Utomo, A. R., & Setijawati, E. (2018). Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap karakteristik fisikokimia *edible film* berbasis gelatin. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi*, 17(2):75-80.
- Sumarsono, T. (2011). Efektivitas jenis dan konsentrasi nutrisi dalam bioremediasi tanah tercemar minyak mentah yang diaugmentasi dengan konsorsium bakteri. Skripsi. Surabaya: Departemen Biologi FSAINTEK Universitas Airlangga.
- Suriani, S., Soemarno, & Suharjono. (2013). Pengaruh suhu dan pH terhadap laju pertumbuhan lima isolat bakteri anggota genus *Pseudomonas* yang diisolasi dari ekosistem sungai tercemar deterjen di sekitar kampus Universitas Brawijaya. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*, 3(2):58-62
- Usha, R., Sangeetha, T., & Muthusamy, P. (2011). Screening of polyethylene degrading microorganisms from garbage soil. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, 2(4):200-204.
- Wardah, I., & Hastuti, E. (2015). Pengaruh variasi komposisi gliserol dengan pati dari bonggol pisang, tongkol jagung, dan eceng gondok terhadap sifat fisis dan mekanis plastik biodegradable. *Jurnal Neutrino*, 7(2):77-85.
- Webb, H., Arnott, J., Crawford, R., & Ivanova, E. (2013). Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate). *Polymers*, 5(1):1-18.
- Yuliasih, I., & Sunarti, T. C. (2014, Oktober). Pati sagu termodifikasi sebagai bahan *starch-based plastics*. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik Ke-3: Penelitian dan Pengembangan Kulit, Karet, dan Plastik Dalam Mendukung Hilirisasi Industri*. Yogyakarta: Balai Sesar Kulit, Karet, dan Plastik.