

Karakteristik Komposit Bioplastik pada Perlakuan Rasio Campuran Karagenan-Glukomanan dan Suhu Gelatinisasi
Characteristics of Bioplastic Composites in the Treatment of Caragenan-Glucomannan Mixture Ratio and Gelatinization Temperature

Timothy Ich Sudanton Sitorus, Bambang Admadi Harsojuwono*, Ni Putu Suwariani
PS Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus Bukit
Jimbaran, Badung, Kode pos : 80361; Telp/Fax : (0361) 701801

Diterima 29 Desember 2021 / Disetujui 31 Januari 2022

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of the carrageenan-glucomannan mixture ratio and gelatinization temperature and their interaction on the characteristics of the carrageenan-glucomannan bioplastic composite and also to determine the carrageenan-glucomannan bioplastic composite on the ratio and gelatinization temperature that produces the best characteristics. This study used a factorial randomized experimental group design. The first factor is the ratio of carrageenan-glucomannan which consists of 6 levels, namely 65:35, 70:30, 75:25, 80:20, 85:15, 60:10 (w/w). The second factor is the gelatinization temperature which consists of 3 levels, namely 70 ± 1 , 75 ± 1 , 80 ± 1 °C. The variables observed in this study were tensile strength, elongation at break, elasticity, thickness expansion, water vapor transmission rate, biodegradation. The resulting data were analyzed for diversity and continued with Duncan's Multiple Comparison test. The results showed that the ratio of the material has a very significant effect on tensile strength, elongation at break, elasticity, and water vapor transmission rate. Gelatinization temperature has a very significant effect on tensile strength, elongation at break, elasticity, thickness expansion, and has a significant effect on the rate of water vapor transmission. The best carrageenan-glucomannan bioplastic composite was obtained at the treatment of carrageenan:glucomannan ratio = 75:25 at a gelatinization temperature of 75 ± 1 °C, which only met the standard tensile strength and biodegradation. With a tensile strength of 17,237 MPa, elongation at break 35.2%, elasticity 52.7 MPa, thickness expansion 92.121%, water vapor transmission rate 0.742 g/m².hour, and biodegradation 6 days

Keywords: Bioplastic composite, carrageenan, glucomannan, material ratio, gelatinization temperature

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio campuran karagenan-glukomanan dan suhu gelatinisasi serta interaksi keduanya terhadap karakteristik komposit bioplastik karagenan-glukomanan dan juga menentukan komposit bioplastik karagenan-glukomanan pada rasio dan suhu gelatinisasi yang menghasilkan karakteristik terbaik. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Percobaan Faktorial. Faktor pertama adalah rasio karagenan-glukomanan yang terdiri dari 6 taraf, yaitu 65:35, 70:30, 75:25, 80:20, 85:15, 60:10 (b/b). Faktor kedua adalah suhu gelatinisasi yang terdiri dari 3 taraf, yaitu 70 ± 1 , 75 ± 1 , 80 ± 1 °C. Variabel yang diamati pada penelitian ini yaitu kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas,

*Korespondensi Penulis:

Email: bambang.admadi@unud.ac.id

pengembangan tebal, laju transmisi uap air, biodegradasi. Data yang dihasilkan dianalisis keragamannya dan dilanjutkan dengan uji Perbandingan Berganda Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio bahan berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, dan laju transmisi uap air. Suhu gelatinisasi berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal, dan berpengaruh nyata terhadap laju transmisi uap air. Komposit bioplastik karagenan-glukomanan terbaik diperoleh pada perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 75:25 pada suhu gelatinisasi $75\pm 1^\circ\text{C}$, yang hanya memenuhi kuat tarik dan biodegradasi sesuai standar. Dengan kuat tarik 17,237 MPa, perpanjangan saat putus 35,2%, elastisitas 52,7 MPa, pengembangan tebal 92,121%, laju transmisi uap air $0,742 \text{ g/m}^2\cdot\text{jam}$, dan biodegradasi 6 hari.

Kata kunci : Komposit bioplastik, karagenan, glukomanan, rasio bahan, suhu gelatinisasi

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik konvensional sebagai bahan pengemas menghadapi berbagai persoalan lingkungan, diantaranya sulit terurai sehingga jumlah sampahnya menumpuk. Selain itu, bahan dasarnya berasal dari minyak dan gas bumi, cenderung menurun ketersediaannya karena tidak dapat diperbaharui. Upaya alternatif pengurangan sampah plastik konvensional adalah menggantikannya dengan plastik yang mudah didegradasi oleh mikroorganisme yang dikenal dengan bioplastik (Avella, 2009).

Selama ini pengembangan pembuatan bioplastik sudah banyak digunakan tetapi belum menghasilkan bioplastik yang memenuhi standar. Upaya yang telah dilakukan peneliti untuk memperbaiki karakteristik bioplastik adalah dengan menggabungkan beberapa jenis bahan agar membentuk komposit.

Pengembangan komposit bioplastik karagenan-glukomanan telah dilakukan oleh Penroj *et al.* (2005) yang menunjukkan bahwa kemampuan kappa karagenan untuk mendorong pembentukan gel konjak glukomanan sangat tergantung dengan interaksi kedua biopolimer. Dinda *et al.* (2014) menunjukkan komposit bioplastik karagenan-tapioka dalam rasio 3:2 yang menggunakan 0,5% sorbitol menghasilkan *tensile strength* 49,20 MPa, *elongation at break* 8,90 %, modulus Young sebesar 109,50 MPa dan *swelling* 35,49%. Komposit

bioplastik pati singkong termodifikasi-glukomanan dengan rasio 75:25 dengan suhu gelatinisasi $75\pm 1^\circ\text{C}$ yang menggunakan 1% larutan asam cuka dan 0,60 - 1,00 g filler ZnO, menghasilkan karakteristik yang lebih baik dibanding tanpa menggunakan filler (Harsojuwono *et al.*, 2020). Campuran rasio karagenan:glukomanan berpengaruh dalam pembentukan gel komposit bioplastik. Penelitian yang dilakukan Maryuni *et al.* (2018) menunjukkan bahwa karagenan pada konsentrasi 0,6%-2% menghasilkan kuat tarik sebesar 15,881-39,168 MPa. Lebih lanjut dijelaskan, jika semakin besar konsentrasi karagenan yang digunakan maka semakin besar pula nilai kuat tarik, semakin kecil nilai perpanjangan dan laju transmisi uap air.

Proses gelatinisasi juga berpengaruh dalam pembuatan komposit bioplastik. Proses gelatinisasi dipengaruhi beberapa faktor seperti suhu dan waktu gelatinisasi. Suhu dan waktu gelatinisasi memberi pengaruh terhadap keberhasilan pembuatan komposit bioplastik. Menurut Zhong dan Kang (1998), suhu yang terlalu tinggi dan terlalu rendah dapat mengakibatkan dispersi molekul yang mempengaruhi sifat mekanik dan terganggunya kompatibilitas dan homogenitas sehingga terjadi ketidakseimbangan gugus fungsi. Perlakuan suhu gelatinisasi yang tinggi menyebabkan kandungan air berkurang pada proses pemanasan gel komposit bioplastik, menyebabkan struktur molekul membentuk ikatan silang, strukturnya semakin rapat dan

homogen sehingga komposit yang dihasilkan semakin kuat. Waktu gelatinisasi yang rendah dapat mengakibatkan campuran gel komposit bioplastik belum homogen dan strukturnya kurang rapat.

Penelitian Wara *et al.* (2020) pada suhu 75°C berhasil membuat komposit bioplastik tetapi belum memenuhi standar SNI. Sedangkan penelitian Indrawati *et al.* (2019) menghasilkan komposit bioplastik dari glukomanan dan maizena dengan karakteristik yang baik pada suhu 80°C. Maka dari beberapa contoh penelitian tersebut dapat diketahui bahwa suhu gelatinisasi yang digunakan berbeda, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai suhu gelatinisasi untuk mengetahui suhu gelatinisasi yang tepat terhadap komposit bioplastik karagenan-glukomanan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio campuran karagenan-glukomanan dan suhu gelatinisasi serta interaksi keduanya terhadap karakteristik komposit bioplastik karagenan-glukomanan dan menentukan rasio campuran karagenan-glukomanan dan suhu gelatinisasi manakah yang menghasilkan karakteristik komposit bioplastik karagenan-glukomanan yang terbaik. Informasi yang terbatas mengenai penelitian komposit bioplastik karagenan-glukomanan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan komposit bioplastik yang sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Standar Internasional.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di Laboratorium Biokimia dan Nutrisi, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana. Waktu pelaksanaan penelitian pada bulan Maret sampai dengan Mei 2021.
Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan yaitu karagenan dari Planet Kimia Depok, glukomanan dari umbi porang (Konjac) serta bahan kimianya yaitu aquadest, asam asetat glacial PA 99,6% (Emsure) dan gliserol PA (Emsure).

Alat uji yang dilakukan pada penelitian ini yaitu alat uji mekanik (ASTM D638) *Strength ZP Recorder 50 N Imada*. Peralatan untuk membuat bioplastik meliputi: timbangan analitik (*ohaus*), gelas ukur 100 mL, gelas beker 100 mL dan 250 mL, sendok pengaduk, *hotplate* (JP. SELECTA), cetakan teflon ukuran 20 cm, termometer, gelas ukur, oven, pinset, pipet tetes, cawan, desikator, *silica gel*, dan tabung reaksi.

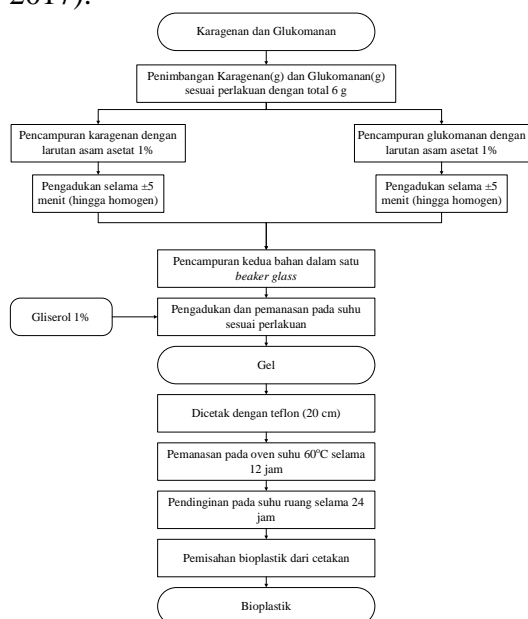
Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) percobaan faktorial dengan 2 faktor. Faktor pertama adalah rasio bahan karagenan : glukomanan, yaitu: 65:35 (b/b), 70:30 (b/b), 75:25 (b/b), 80:20 (b/b), 85:15 (b/b), 60:10 (b/b). Faktor kedua adalah suhu gelatinisasi, yaitu: 70±1°C, 75±1°C, 80±1°C. Dengan demikian terdapat 18 perlakuan kombinasi dan dikelompokkan dalam 2 waktu proses pembuatan komposit bioplastik, sehingga terdapat 36 unit percobaan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis keragamannya (ANOVA), dan dilanjutkan dengan uji Duncan (DMRT).

Pelaksanaan Penelitian

Proses pembuatan komposit bioplastik dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahap pertama mempersiapkan bahan baku dan bahan kimia yang dibutuhkan untuk membuat komposit bioplastik yaitu karagenan, glukomanan, gliserol dan larutan asam asetat 1%. Tahapan kedua dilakukan penimbangan bahan dengan rasio karagenan-glukomanan sesuai perlakuan dengan total 6 g, gliserol 1 g dan 93 g larutan asam asetat 1% sehingga total bahan 100 g. Tahapan selanjutnya menyiapkan dua gelas beker dan membagi larutan asam asetat 1% dalam dua bagian

yang sama dan dituang dalam masing masing gelas beker tersebut. lalu memasukkan karagenan ke dalam *beaker glass* 1 dan glukomanan ke dalam *beaker glass* 2, dan diaduk dengan menggunakan batang pengaduk selama ± 5 menit hingga terbentuk suspensi homogen. Selanjutnya kedua bahan dicampur dalam satu gelas beker kemudian ditambahkan gliserol lalu diaduk dan dipanaskan pada suhu sesuai perlakuan (70 ± 1 °C, 75 ± 1 °C, 80 ± 1 °C) hingga membentuk gel (Harsojuwono dan Arnata, 2020). Campuran yang telah menjadi gel kemudian dituang ke dalam satu cetakan teflon berukuran 20 cm yang selanjutnya dikeringkan pada oven dengan suhu 60°C selama 12 jam. Gel yang telah mengering didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam kemudian dilepas dan siap dilakukan pengujian (Harsojuwono *et al.*, 2017).



Gambar 1 Diagram alir proses pembuatan komposit bioplastik (Harsojuwono *et al.*, 2017; Harsojuwono dan Arnata, 2020)

Variabel yang diamati

Variabel yang diamati pada penelitian ini yaitu sifat mekanik bioplastik yang terdiri dari kekuatan tarik (SNI 7818:2014), perpanjangan saat putus (SNI 7818:2014), Elastilitas (SNI 7818:2014), pengembangan

tebal (Standar Internasional EN 317), *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) (JIS 2-1707), Biodegradasi (ASTM D5988). Penentuan perlakuan terbaik ditentukan oleh banyaknya variabel mutu bioplastik yang memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Standar Internasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tarik

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa rasio bahan dan suhu gelatinisasi berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) sedangkan interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap kuat tarik komposit bioplastik karagenan-glukomanan. Nilai rata-rata kuat tarik komposit bioplastik karagenan dan glukomanan berkisar antara 10,098-14,336 MPa dapat dilihat pada Tabel 1.

Kuat tarik merupakan nilai tegangan maksimum yang diperoleh pada saat dilakukan uji kuat tarik (Indrawati *et al.*, 2019). Nilai kuat tarik yang tinggi pada bioplastik akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis dengan baik (Hasanah *et al.*, 2017). Tabel 1 menunjukkan bahwa kuat tarik dari komposit bioplastik karagenan-glukomanan pada rasio karagenan : glukomanan = 75:25 menghasilkan nilai rata-rata tertinggi sebesar $14,336\pm 2,40$ MPa yang tidak berbeda nyata dengan kuat tarik komposit bioplastik karagenan - glukomanan pada rasio karagenan:glukomanan = 70:30 dan 80:20. Sementara itu komposit bioplastik karagenan-glukomanan pada rasio karagenan : glukomanan = 60:40 menghasilkan nilai rata-rata kuat tarik terendah sebesar $10,098\pm 0,47$ MPa yang tidak berbeda nyata dengan rasio karagenan:glukomanan = 85:15, 65:35 dan 70:30.

Hasil penelitian dapat dilihat bahwa, perbedaan rasio campuran polisakarida yang digunakan serta juga jenis dan asal bahan baku polisakarida yang digunakan

berpengaruh pada komposit bioplastik yang dihasilkan sehingga menyebabkan perbedaan karakteristiknya termasuk kuat tariknya. Kuat tarik yang tinggi pada rasio karagenan:glukomanan = 75:25 dikarenakan campuran bahan (karagenan dan glukomanan) membentuk ikatan rantai cabang maupun *crosslink* (anyaman) yang lebih banyak daripada perlakuan yang lain sehingga plastik semakin homogen dan strukturnya rapat yang menyebabkan kuat

tarik semakin meningkat. Glukomanan mengandung gugus asetil yang mempunyai potensi untuk membentuk ikatan yang kuat dengan polimer lain (Susilowati, 2001). Sifat dari karagenan pada proses pembentukan gel merupakan proses terjadinya ikatan silang antara rantai-rantai polimer yang menyebabkan terbentuknya dimensi yang saling bersambungan (Aritonang *et al.*, 2020).

Tabel 1 Nilai rata-rata kuat tarik (MPa) komposit bioplastik karagenan-glukomanan

Rasio Bahan (karagenan : glukomanan)	Suhu Gelatinisasi (°C)			Rata-rata
	70 ± 1	75 ± 1	80 ± 1	
60 : 40	9,66±0,19	10,22±0,63	10,41±0,28	10,01±0,47 ^c
65 : 35	12,04±0,65	12,38±1,35	11,63±2,03	12,02±1,17 ^c
70 : 30	12,22±0,78	13,69±2,04	11,08±0,24	12,33±1,52 ^{abc}
75 : 25	13,20±0,57	17,24±0,62	12,57±1,62	14,34±2,40 ^a
80 : 20	13,36±1,22	14,84±0,87	14,66±0,17	14,29±0,98 ^{ab}
85 : 15	11,33±0,94	12,41±0,04	11,87±0,43	11,87±0,67 ^c
Rata-rata	11,97±1,42 ^b	13,46±0,70 ^a	12,04±0,46 ^b	

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata pada baris dan kolom yang sama akan menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5% ($p < 0,05$).

Tabel 1 menunjukkan bahwa komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan suhu gelatinisasi 75±1°C menghasilkan nilai rata-rata kuat tarik tertinggi sebesar 13,464±0,70 MPa yang berbeda nyata dengan kuat tarik komposit bioplastik pada suhu gelatinisasi 80 dan 70°C. Sedangkan komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan suhu gelatinisasi 70±1°C, menghasilkan nilai rata-rata kuat tarik terendah dengan nilai 11,97±1,42 MPa yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan suhu gelatinisasi 80°C. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa, nilai kuat tarik berkurang karena melemahnya ikatan hidrogen di antar rantai molekul-molekul bahan penyusun komposit (Sangyang *et al.*, 2015). Menurut Zhong dan Kang (1998), kompatibilitas yang stabil dan homogen akan dapat terganggu oleh kondisi yang tidak seimbang, seperti konsentrasi bahan atau suhu proses yang

menyebabkan bahan komposit bioplastik mengalami *blooming* atau keluar kembali akibatnya dispersi molekul termoplastis ke dalam polisakarida yang terganggu.

Menurut SNI plastik 7818:2014 minimal kuat tarik bioplastik adalah 13,7 MPa. Berdasarkan hasil penelitian, nilai kuat tarik komposit bioplastik sudah memenuhi standar SNI 7818:2014 dengan nilai kuat tarik sebesar 14,336 MPa.

Perpanjangan Saat Putus

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa rasio bahan dan suhu gelatinisasi berpengaruh sangat nyata terhadap perpanjangan saat putus komposit bioplastik karagenan-glukomanan ($p < 0,01$), sedangkan interaksi keduanya tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap perpanjangan saat putus komposit bioplastik karagenan-glukomanan. Nilai rata-rata perpanjangan saat putus komposit bioplastik karagenan-

glukomanan berkisar antara 31,2-35,3% yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Perpanjangan saat putus merupakan persen pertambahan panjang sampel bioplastik dari awal penarikan hingga putus. Perpanjangan putus menunjukkan seberapa besar fleksibilitas dan daya regang dari bioplastik putus (Hasanah *et al.*, 2017). Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata nilai perpanjangan saat putus dari komposit bioplastik karagenan-glukomanan pada rasio karagenan:glukomanan = 65:35, 70:30, 75:25 dan 80:20 menghasilkan nilai tinggi berkisar 33,5±0,01 - 35,0±0,03% yang berbeda nyata dengan rasio lainnya. Sementara itu,

komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan rasio karagenan:glukomanan = 60:40 menghasilkan nilai perpanjangan saat putus yang terendah yaitu 31,2±0,01% yang berbeda nyata dengan yang lainnya. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa, rata-rata nilai perpanjangan saat putus yang tinggi komposit bioplastik karagenan-glukomanan pada rasio karagenan:glukomanan = 65:35, 70:30, 75:25 dan 80:20 dikarenakan adanya interkasi antar campuran sehingga ikatan yang terjadi semakin rapat yang menyebabkan komposit bioplastik menjadi kuat, sehingga komposit bioplastik semakin sulit untuk memanjang.

Tabel 2 Nilai rata-rata perpanjangan saat putus (%) komposit bioplastik karagenan-glukomanan

Rasio Bahan (karagenan : glukomanan)	Suhu Gelatinisasi (°C)			Rata-rata
	70 ± 1	75 ± 1	80 ± 1	
60 : 40	31,6±0,01	31,3±0,00	30,7±0,00	31,2±0,01 ^c
65 : 35	38,2±0,01	35,0±0,00	31,8±0,02	35,0±0,03 ^a
70 : 30	37,7±0,00	34,8±0,02	31,7±0,00	34,7±0,02 ^a
75 : 25	36,3±0,02	35,2±0,00	32,9±0,02	34,8±0,01 ^a
80 : 20	34,8±0,02	33,6±0,01	32,1±0,01	33,5±0,01 ^a
85 : 15	33,2±0,00	30,8±0,02	31,1±0,01	31,7±0,01 ^b
Rata-rata	35,3±0,02 ^a	33,5±0,02 ^b	31,7±0,01 ^b	

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata pada baris dan kolom yang sama akan menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5% ($p < 0,05$).

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa rata-rata nilai persen perpanjangan saat putus pada suhu gelatinisasi 70±1°C menghasilkan nilai tertinggi sebesar 35,3±0,02% yang berbeda nyata dengan yang lainnya. Sedangkan komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan suhu gelatinisasi 75±1 dan 80±1°C menghasilkan nilai perpanjangan saat putus yang terendah berkisar 31,7±0,01 - 33,5±0,02% yang berbeda nyata dengan perpanjangan saat putus pada suhu gelatinisasi 70±1°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu gelatinisasi maka semakin rendah nilai perpanjangan putus yang dihasilkan. Nilai persentase rata-rata perpanjangan saat putus tertinggi pada suhu rendah dikarenakan pengaturan suhu rendah

akan menghasilkan komposit bioplastik dengan struktur yang kurang rapat, kandungan air dalam bahan lebih banyak dibanding pengaturan suhu yang lebih tinggi sehingga rata-rata nilai perpanjangan yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu tinggi (Pradipta dan Mawarni, 2012).

Sifat perpanjangan putus komposit bioplastik berbanding terbalik dengan nilai kuat tariknya. Menurut SNI plastik 7818:2014 nilai perpanjangan saat putus suatu bioplastik adalah 400-1120%. Berdasarkan hasil penelitian, nilai perpanjangan putus komposit bioplastik karagenan-glukomanan yang didapatkan belum memenuhi standar SNI plastik 7818:2014.

Elastisitas

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa rasio bahan dan suhu gelatinisasi berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) sedangkan interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap elastisitas komposit bioplastik karagenan dan glukomanan. Nilai elastisitas komposit bioplastik karagenan dan glukomanan berkisar antara 31,2-52,7MPa yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Nilai elastisitas merupakan hasil dari perbandingan antara kuat tarik dengan perpanjangan saat putus. Pada dasarnya, elastisitas merupakan kecenderungan suatu bahan untuk berubah bentuk ketika stress diberikan padanya sehingga sangat tergantung pada kuat tarik dan perpanjangan saat putus (Tong *et al.*, 2017). Tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata nilai elastisitas dari komposit bioplastik karagenana-glukomanan pada rasio karagenan:glukomana = 80:20 menghasilkan nilai tertinggi sebesar $43,8 \pm 0,02$ MPa yang tidak berbeda nyata dengan komposit bioplastik pada perlakuan rasio karagenan-

glukomanan = 75:25 dan rasio 85:15. Sementara itu komposit bioplastik karagenan-glukomanan pada perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 60:40 menghasilkan nilai terendah sebesar $31,9 \pm 0,01$ MPa yang tidak berbeda nyata dengan rasio karagenan:glukomanan = 65:35, 70:30, dan 85:15. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa, semakin besar konsentrasi karagenan nilai elastisitas yang dihasilkan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan nilai elastisitas dipengaruhi oleh perpanjangan saat putus dan kuat tarik, sehingga semakin besar nilai kuat tarik dan perpanjangan saat putus maka nilai elastisitas akan semakin besar dan bahan semakin elastis (Hayati dan Lazulva, 2018). Penurunan elastisitas kemungkinan disebabkan oleh penggunaan gliserol sebagai *plasticizer*, karena gliserol memiliki kemampuan mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekuler untuk memperllemah kekakuan dari polimer sekaligus meningkatkan fleksibilitas dan ekstensibilitas polimer (Utami *et al.*, 2014).

Tabel 3 Nilai rata-rata elastisitas (MPa) komposit bioplastik karagenan-glukomanan

Rasio Bahan (karagenan : glukomanan)	Suhu Gelatinisasi ($^{\circ}$ C)			Rata-rata
	70 \pm 1	75 \pm 1	80 \pm 1	
60 : 40	31,25 \pm 0,01	32,60 \pm 0,01	31,85 \pm 0,00	31,86 \pm 0,01 ^c
65 : 35	32,90 \pm 0,01	35,56 \pm 0,04	33,48 \pm 0,05	33,91 \pm 0,03 ^c
70 : 30	34,90 \pm 0,05	39,60 \pm 0,08	32,46 \pm 0,04	35,63 \pm 0,05 ^c
75 : 25	40,00 \pm 0,06	52,76 \pm 0,01	36,68 \pm 0,06	43,17 \pm 0,08 ^{ab}
80 : 20	42,21 \pm 0,04	45,20 \pm 0,03	44,12 \pm 0,02	43,84 \pm 0,02 ^a
85 : 15	35,93 \pm 0,00	40,50 \pm 0,03	36,48 \pm 0,00	37,68 \pm 0,02 ^{abc}
Rata-rata	36,29 \pm 0,04 ^b	41,11 \pm 0,07 ^a	35,88 \pm 0,05 ^b	

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata pada baris dan kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5% ($p < 0,05$).

Tabel 3 menunjukkan bahwa komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan perlakuan suhu gelatinisasi 75 $^{\circ}$ C menghasilkan nilai rata-rata kuat tarik tertinggi sebesar $41,11 \pm 0,07$ yang berbeda nyata dengan perlakuan suhu gelatinisasi 70 dan 80 $^{\circ}$ C. Sementara itu komposit bioplastik

karagenan-glukomanan pada perlakuan suhu gelatinisasi 80 $^{\circ}$ C menghasilkan rata-rata nilai elastisitas yang rendah sebesar $35,8 \pm 0,05$ MPa yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan suhu gelatinisasi 70 $^{\circ}$ C. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa, elastisitas tertinggi sama dengan kuat tarik

tertinggi yaitu pada suhu gelatinisasi $75 \pm 1^\circ\text{C}$ hal ini juga sesuai dengan pernyataan Darni dan Utami (2010), bahwa nilai elastisitas berbanding lurus dengan kuat tarik. Tingginya nilai elastisitas yang dihasilkan dibanding yang lain kemungkinan disebabkan karena rasio karagenan-glukomanan dan suhu gelatinisasi yang dipakai menghasilkan ikatan yang kuat dan glukomanan mampu menurunkan tingkat sineresis gel dari karagenan. Glukomanan yang mengandung gugus asetil mempunyai potensi untuk membentuk ikatan yang kuat dengan polimer lain (Susilowati, 2001) dan mampu menurunkan tingkat sineresis gel bila dicampur dengan hidrokoloid lain (Astuti *et al.*, 2011). Kenaikan nilai elastisitas disebabkan berkurangnya kandungan air pada proses pemanasan bioplastik menyebabkan struktur molekul semakin rapat

dan homogen sehingga komposit yang dihasilkan semakin kuat dan kaku (Wahyu, 2008).

Berdasarkan SNI plastik 7818:2014 minimal nilai elastisitas suatu bioplastik adalah 200 MPa. Maka dari itu, komposit bioplastik karagenan-glukomanan belum memenuhi standar.

Pengembangan Tebal

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa suhu gelatinisasi berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap pengembangan tebal komposit bioplastik karagenan-glukomanan sedangkan rasio bahan dan interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata. Nilai pengembangan tebal komposit bioplastik karagenan dan glukomanan berkisar antara 55,769-110,238%. Nilai pengembangan tebal dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai rata-rata penyerapan air (%) komposit bioplastik karagenan-glukomanan

Rasio Bahan (karagenan : glukomanan)	Suhu Gelatinisasi ($^\circ\text{C}$)			Rata-rata
	70 ± 1	75 ± 1	80 ± 1	
60 : 40	55,769 \pm 0,08	84,682 \pm 0,27	82,813 \pm 0,24	74,421 \pm 0,22 ^c
65 : 35	84,390 \pm 0,12	94,244 \pm 0,18	94,296 \pm 0,12	90,977 \pm 0,12 ^c
70 : 30	71,324 \pm 0,05	90,789 \pm 0,13	98,226 \pm 0,06	86,780 \pm 0,14 ^c
75 : 25	72,115 \pm 0,04	92,121 \pm 0,01	110,238 \pm 0,04	91,492 \pm 0,17 ^{abc}
80 : 20	89,816 \pm 0,09	84,118 \pm 0,05	105,061 \pm 0,02	92,998 \pm 0,11 ^{ab}
85 : 15	93,860 \pm 0,32	94,835 \pm 0,29	95,313 \pm 0,06	94,669 \pm 0,19 ^a
Rata-rata	77,879 \pm 0,12 ^a	90,132 \pm 0,14 ^a	97,658 \pm 0,17 ^a	

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata pada baris dan kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5% ($p < 0,05$).

Berdasarkan data dari Tabel 4 menunjukkan bahwa komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan rasio karagenan:glukomanan = 85:15 menghasilkan persentase pengembangan tebal tertinggi sebesar 94,669 \pm 0,19% yang tidak berbeda nyata dengan rasio karagenan:glukomanan = 80:20 dan 75:25. Sementara itu, komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan rasio karagenan:glukomanan = 60:40 menghasilkan nilai persentase

pengembangan tebal terendah sebesar 74,421 \pm 0,22% yang tidak berbeda nyata dengan rasio karagenan:glukomanan = 65:35, 70:30, dan 75:25. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa, nilai rata-rata pengembangan tebal komposit bioplastik karagenan-glukomanan meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi karagenan. Hal ini disebabkan karagenan juga cenderung memiliki gugus hidroksil (OH) yang banyak, sehingga semakin tinggi rasio karagenan maka penyerapan air semakin besar pula.

Fungsi glukomanan yang mirip dengan serat mengakibatkan air terserap ke dalam molekul glukomanan sehingga meningkatkan kemampuan glukomanan dalam mengikat air (Chua *et al.*, 2010). Glukomanan mampu mengembang dalam air 138–200% (Widjanarko *et al.*, 2015).

Tabel 4 menunjukkan bahwa komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan suhu gelatinisasi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada setiap perlakuan. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa, nilai rata-rata pengembangan tebal komposit bioplastik karagenan-glukomanan meningkat seiring dengan peningkatan suhu gelatinisasi. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu gelatinisasi maka semakin besar keluarnya uap air dari gel yang dibuat struktur permukaan bioplastik. Penguapan air ini menyebabkan partikel-partikel bahan akan bergerak keluar dan menyatukan lapisan antar sel (Dewi *et al.*, 2017). Dengan kurang rapatnya struktur atau berpori dari serat-serat

tersebut menyebabkan air akan terserap lebih banyak (Setiani *et al.*, 2013).

Berdasarkan standar plastik internasional (EN317) besarnya nilai pengembangan tebal untuk plastik adalah sebesar 1,44%. Besarnya nilai penyerapan air komposit bioplastik karagenan-glukomanan yang dihasilkan pada penelitian ini belum memenuhi standar plastik internasional.

Laju Transmisi Uap Air

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa rasio bahan berpengaruh sangat nyata dan suhu gelatinisasi berpengaruh nyata ($p < 0,01$) terhadap komposit bioplastik karagenan-glukomanan sedangkan interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap WVTR komposit bioplastik karagenan dan glukomanan. Nilai WVTR komposit bioplastik karagenan dan glukomanan berkisar antara 0,521–1,406 $\text{g/m}^2 \cdot \text{jam}$. nilai WVTR dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai rata-rata laju transmisi uap air ($\text{g/m}^2 \cdot \text{jam}$) komposit bioplastik karagenan-glukomanan

Rasio Bahan (karagenan : glukomanan)	Suhu Gelatinisasi ($^{\circ}\text{C}$)			Rata-rata
	70 \pm 1	75 \pm 1	80 \pm 1	
60 : 40	1,094 \pm 0,51	1,289 \pm 0,31	1,406 \pm 0,51	1,263 \pm 0,38 ^a
65 : 35	0,872 \pm 0,05	0,990 \pm 0,00	1,211 \pm 0,05	1,024 \pm 0,15 ^{ab}
70 : 30	0,742 \pm 0,01	0,820 \pm 0,01	0,924 \pm 0,05	0,829 \pm 0,08 ^{bc}
75 : 25	0,677 \pm 0,11	0,742 \pm 0,05	0,794 \pm 0,09	0,738 \pm 0,08 ^c
80 : 20	0,599 \pm 0,03	0,664 \pm 0,01	0,755 \pm 0,03	0,673 \pm 0,07 ^c
85 : 15	0,521 \pm 0,03	0,625 \pm 0,00	0,716 \pm 0,05	0,621 \pm 0,09 ^c
Rata-rata	0,751 \pm 0,31 ^a	0,855 \pm 0,25 ^a	0,968 \pm 0,25 ^a	

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata pada baris kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5% ($p < 0,05$).

Uji *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) atau laju transmisi uap air dari komposit bioplastik bertujuan untuk mengetahui seberapa besar laju transmisi masuknya uap air ke dalam komposit bioplastik. Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa rata-rata nilai WVTR komposit bioplastik karagenan-glukomanan tertinggi didapat pada perlakuan rasio karagenan:glukomanan

= 60:40 sebesar 1,263 \pm 0,38 $\text{g/m}^2 \cdot \text{jam}$ yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 65:35. Sementara itu rata-rata nilai terendah didapat pada perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 85:15 sebesar 0,621 \pm 0,09 $\text{g/m}^2 \cdot \text{jam}$ yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 80:20, 75:25, dan 70:30. Dari hasil penelitian dapat dilihat

bahwa, nilai WVTR menurun seiring dengan penambahan konsentrasi karagenan.

Hal ini disebabkan karena peningkatan jumlah polimer akan memperkecil rongga dalam gel yang terbentuk sehingga meningkatkan gaya ikat antar polimer dan akan menurunkan perpindahan air bioplastik terhadap gas, uap dan porositasnya, sehingga fungsi bioplastik sebagai penghalang masuknya air akan meningkat (Pramadita, 2011). Sedangkan menurut Fennema (1996) ikatan hidrogen yang terbentuk mengakibatkan meningkatnya jumlah matriks bioplastik yang terbentuk sehingga menurunkan nilai perpindahan air terhadap bioplastik. Peningkatan jumlah polimer, akan memperkecil rongga dalam gel yang terbentuk sehingga meningkatkan gaya ikat antar polimer dan akan menurunkan perpindahan air bioplastik terhadap gas, uap dan porositasnya, sehingga fungsi bioplastik sebagai penghalang masuknya air akan meningkat (Pramadita, 2011).

Tabel 5 menunjukkan bahwa komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan suhu gelatinisasi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada setiap perlakuan. Hal ini kemungkinan disebabkan suhu dan lama gelatinisasi tidak menyebabkan

perubahan struktur polimer dari senyawa hidrokoloid yang terkandung dalam bioplastik. Menurut (Gontard *et al.*, 1993), penambahan gliserol akan menyebabkan kerapatan molekul berkurang sehingga terbentuk ruang bebas pada matriks film yang memudahkan difusi air dan gas. Dikarenakan jumlah gliserol disetiap perlakuan sama sehingga menyebabkan suhu dan lama gelatinisasi tidak berpengaruh nyata dalam uji transformasi uap air.

Berdasarkan *Japan Internasional Standard (JIS) 2-1707* nilai laju transmisi uap air bioplastik adalah $0,0292 \text{ g/m}^2 \cdot \text{jam}$. Berdasarkan hasil penelitian ini nilai laju transmisi uap air komposit bioplastik yang didapatkan belum memenuhi standar.

Biodegradasi

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa rasio bahan, suhu gelatinisasi, serta interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata ($p < 0,01$) terhadap biodegradasi komposit bioplastik karagenan-glukomanan. Nilai hasil uji biodegradasi komposit bioplastik karagenan-glukomanan berkisar antara 6,0-6,5 hari. Lama proses degradasi pada setiap perlakuan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Nilai rata-rata lama biodegradasi (hari) komposit bioplastik karagenan-glukomanan

Rasio Bahan (karagenan : glukomanan)	Suhu Gelatinisasi ($^{\circ}\text{C}$)			Rata-rata
	70 ± 1	75 ± 1	80 ± 1	
60 : 40	$6 \pm 0,00$	$6,5 \pm 0,71$	$6,5 \pm 0,71$	$6,3 \pm 0,51^a$
65 : 35	$6 \pm 0,00$	$6 \pm 0,00$	$6,5 \pm 0,71$	$6,2 \pm 0,40^{abc}$
70 : 30	$6 \pm 0,00$	$6,5 \pm 0,71$	$6,5 \pm 0,71$	$6,3 \pm 0,51^{ab}$
75 : 25	$6 \pm 0,00$	$6 \pm 0,00$	$6,5 \pm 0,71$	$6,2 \pm 0,40^c$
80 : 20	$6 \pm 0,00$	$6 \pm 0,00$	$6,5 \pm 0,71$	$6,2 \pm 0,40^c$
85 : 15	$6 \pm 0,00$	$6 \pm 0,00$	$6 \pm 0,00$	$6 \pm 0,00^c$
Rata-rata	$6,0 \pm 0,00^a$	$6,3 \pm 0,38^a$	$6,5 \pm 0,51^a$	

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakan nilai rata-rata pada baris dan kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf kesalahan 5% ($p < 0,05$).

Laju biodegradasi bertujuan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan komposit bioplastik yang dihasilkan dapat

terurai di lingkungan. Tabel 6 menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan degradasi komposit bioplastik karagenan-glukomanan

tertinggi diperoleh pada perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 60:40 selama 6,3 hari yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 70:30 dan 65:35. Sementara itu, rata-rata kemampuan degradasi komposit bioplastik yang rendah diperoleh pada perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 85:15 selama 6 hari yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 80:20, 75:25, dan 65:35.

Tabel 6 menunjukkan bahwa kemampuan degradasi komposit bioplastik karagenan-glukomanan berkisar selama 6,0 sampai 6,5 hari. Cepatnya degradasi yang diperoleh serta tidak adanya perbedaan yang nyata pada penelitian ini dikarenakan komponen penyusun bioplastik merupakan bahan alam. Karagenan serta pemlastis gliserol sama-sama mempunyai gugus hidroksil (O-H) yang menginisiasi reaksi hidrolisis setelah mengabsorpsi air dan tanah. Menurut Darni dan Utami (2010) bioplastik mudah terdegradasi karena bioplastik yang dihasilkan mengandung gugus fungsi hidroksil (O-H), karonil (C=O) dan karboksil (C-O) ester. Gugus tersebut memiliki sifat hidrofilik sehingga molekul air dapat mengakibatkan mikroorganisme pada lingkungan memasuki matriks plastik tersebut. Ketika dilakukan penanaman dalam tanah komposit bioplastik karagenan-glukomanan, akan terjadi penyerapan air yang tinggi akibat kemampuan menyerap glukomanan yang tinggi (138-200%) sehingga akan memungkinkan mengalami kerusakan yang hampir sama ketika terdegradasi oleh mikroba dalam tanah.

Berdasarkan Standar Internasional (ASTM D5988) bahwa besarnya nilai biodegradasi untuk plastik adalah maksimal 60 hari. Nilai laju biodegradasi dari komposit bioplastik karagenan-glukomanan pada penelitian berkisar antara 6-6,5 hari. Lama degradasi tersebut telah memenuhi Standar Internasional (ASTM D5988).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Rasio bahan karagenan-glukomanan berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas dan WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*), tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap pengembangan tebal dan biodegradasi. Suhu gelatinisasi berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal, dan berpengaruh nyata terhadap WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*), tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap biodegradasi. Interaksi antar perlakuan tidak berpengaruh nyata pada setiap variabel yang diamati.
2. Komposit bioplastik karagenan-glukomanan terbaik diperoleh pada perlakuan rasio karagenan:glukomanan = 75:25 pada suhu gelatinisasi $75 \pm 1^\circ\text{C}$, yang hanya memenuhi kuat tarik dan biodegradasi sesuai standar. Dengan kuat tarik 17,237 MPa, perpanjangan saat putus 35,2%, elastisitas 52,7 MPa, pengembangan tebal 92,121%, laju transmisi uap air $0,742 \text{ g/m}^2\cdot\text{jam}$, dan biodegradasi 6 hari. Berdasarkan kesesuaian komposit bioplastik karagenan-glukomanan dengan SNI maupun standar internasional maka perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal, dan laju transmisi uap air belum memenuhi SNI maupun standar internasional.

Saran

Saran penelitian selanjutnya adalah perlunya mengembangkan dan meneliti formulasi baru dengan menambahkan bahan penguat dan jenis pemlastis lainnya yang bersifat hidrofob untuk memperbaiki variabel

perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal dan WVTR sehingga komposit bioplastik maizena dan glukomanan dapat memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) maupun Standar Internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, D. H. 2020. Karakteristik komposit bioplastik pada variasi rasio pati ubi talas belitung. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 8(3) : 348-359.
- Astuti, D. S., dan F. C. Agustia. 2011. Formulasi dan Karakterisasi Minuman Jelly Fungsional sebagai Sumber Serat Pangan dan Vitamin C terdiri dari Kappa Carrageenan, Konjak Glukomanan dan *Hibiscus sabdariffa*, Ekstrak Linn. *Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi*. 1(1) : 1-13.
- Avella, M. 2009. Eco-challenges of bio-based polymer composites material. *Journal science*. 2(3) : 911-925.
- Chua, M., T.C. Baldwin, T.J. Hocking and K. Chan, 2010. Traditional uses and potential health benefits of *Amorphophalus konjac*. *Journal of Ethnopharmacology*. 128 : 268-278.
- Darni, Y. dan H. Utami. 2010. Studi pembuatan dan karakteristik sifat mekanik dan hidrofobisitas bioplastik dari pati sorgum. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 7(4):190-195.
- Dewi, N. L. G. S., B. A. Harsojuwono., dan A. Hartiati. 2017. Karakteristik bioplastik alginat dari rumput laut ulva lactuca (tinjauan suhu dan lama gelatinisasi). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 5(3):66-73.
- Dinda A, H. Darmokoesoemo and P. Pudjiastuti, 2014. Utilization of carrageenan from seaweed *euchema cottonii* and cassava starch with sorbitol as a plasticizer in making bioplastic materials. Available at: <http://repository.unair.ac.id/28115/2014>. [Accessed on January 18, 2021].
- Fennema, O. R. 1996. *Food Chemistry*. Marcell Dekker Inc. New York.
- Gontard, N.S., Guilbert, dan J.L. Cuq. 1993. Water and Glycerol as Plasticizer Effect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. *J. Food Sci.* 58(1): 206-211.
- Harsojuwono, B. A., I. W. Arnata, and S. Mulyani. 2017. *Biodegradable* plastic characteristics of cassava starch modified in variations temperature and drying time. *Chemical and Process Engineering Research*. 49(1) : 1 – 5.
- Harsojuwono B.A., S. Mulyani and I.W. Arnata, 2020. Bio-plastic composite characteristics of the modified cassava starch-glucomannan in variations of types and addition of fillers. *Journal of Application Holticultura*. 22(3):176-183.
- Hasanah, Y.R. dan Haryanto. 2017. Pengaruh Penambahan Filler Kalsium Karbonat (CaCO₃) dan Clay Terhadap Sifat Mekanik dan Biodegradable Plastik dari Limbah Tapioka. *Jurnal Techno*. 18(2):096-107.
- Hayati, N. dan Lazulva. 2018. Preparing of Cornstarch (*Zea mays*) Bioplastic Using ZnO Metal. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*. 1(1): 23-30.
- Indrawati, C., B.A. Harsojuwono and A. Hartiati, 2019. Karakteristik komposit bioplastik glukomanan dan maizena dalam pengaruh variasi suhu dan waktu gelatinisasi, *Jurnal Rekayasa dan*

- Manajemen Agroindustri. 7(3) : 468-477.
- Maryuni, A.E., S. Mangiwa dan W.K. Dewi. 2018. Karakteristik bioplastik dari karaginan dari rumput laut merah asal kabupaten biak yang dibuat dengan metode blanding menggunakan pemlastis gliserol. Jurnal Kimia. 2(1) : 1-9.
- Penroj, P. Mitchell, J.R. Hill, S.E. Ganjanagunchorn. 2005. Effect of konjac glucomannan deacetylation on the properties of gels formed from mixtures of kappa carrageenan and konjac glucomannan. Journal of Carbohydrate Polymers. 59 (3) : 367-376.
- Pradipta, I.M.D. dan L.J. Mawarni. 2012. Pembuatan dan Karakterisasi Polimer Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Glukomanan Umbi Porang. Fakultas Teknologi Industri. ITS. 1(1) : 1-6.
- Pramadita, R. C. 2011. Karakterisasi edible film dari tepung porang (*amorphophallus oncophyllus*) dengan penambahan minyak atsiri kayu manis (cinnamon burmani) sebagai antibakteri. Skripsi. Tidak dipublikasi. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Sanyang M.L., Sapuan, M.S., Jawaid M., Ishak M.R., Sahari J. 2015. Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch. Polymer. 7: 1106-1124.
- Setiani, W., T. Sudiarti dan L. Rahmidar. 2013. Preparasi dan karakterisasi edible film dari poliblend pati sukun kitosan. Skripsi. Tidak dipublikasi. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
- Susilowati, E.D. 2001. Komposisi kimia berbagai tepung iles-iles dan kekukuhan gel tepung iles-iles *amorphophallus variabilis* dengan variasi tambahan Ca(OH)₂. Skripsi. Tidak Dipublikasi. Fakultas Teknologi Pertanian UGM. Yogyakarta.
- Tong, Z., Y. Chen and Y. Liu. 2017. Preparasion, characterization and properties of Alginate/Poly(γ -glutamic acid) composite microparticles. Mar. Drugs. 15(4):1-14.
- Utami, M. R., L.N. Widiarti, 2014. Sintesis plastic *biodegradable* dari kulit pisang dengan penambahan kitosan dan *plasticizer* gliserol. Indonesian Journal of Chemical Science. 3(2):164-167.
- Wara, F. Y., 2020. Karakteristik komposit bioplastik pada variasi perbandingan campuran pati gadung (*Dicorea hispida Deenst.*) dan karagenan (*Carrageenan*). Jurnal Rekyasa dan Manajemen Agroindustri. 8(4) : 484-491
- Wahyu, M. K. 2008. Pemanfaatan Pati Singkong sebagai Bahan Baku Edible Film. Beswan Djarum, Bandung.
- Widjanarko, S. B. dan M. Johanna 2015. Analisis Metode Kolorimetri dan Gravimetri Pengukuran Kadar Glukomanan pada Konjak (*Amorphophallus Konjac*). Jurnal Pangan dan Agroindustri. 3(4): 1584-1588.
- Zhong, I.W and F.C. Kang. 1998. Functional and Smart Materials Structural Evolution And Structure Analysis. Plenum Pres. New York.