

Karakteristik Komposit Bioplastik Pati Umbi Talas (*Colocasia Esculenta*) dan Karagenan pada Variasi Rasio Bahan Baku dan Konsentrasi Bahan Penguat

Characteristics of Bioplastic Composites of Taro Tuber Starch (*Colocasia Esculenta*) and Carrageenan on Variation of Raw Materials and Concentration of Reinforcing Materials

Ni Kadek Vira Purnama Yanthi, Amna Hartiati*, A. A. P. A. Suryawan Wiranatha

PS Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus Bukit

*Email: amnahartiati@unud.ac.id

Abstract

This study is aimed to determine the effect and interaction of variations in the ratio of raw materials and concentration of reinforcing materials on the characteristics of the bioplastic composites of taro tuber starch (*Colocasia esculenta*) and carrageenan as well as to determine variations in the ratio of raw materials and concentrations of reinforcing materials in the manufacture of bioplastic composites of taro tuber starch (*Colocasia esculenta*) and carrageenan which produces the best bioplastic composites. This study used a Factorial Randomized Block design with two factors, namely the ratio of taro tuber starch: carrageenan, which consisted of three levels, namely (25:75; 50:50; 75:25 g) and the concentration of cellulose acetate as a reinforcing agent which consisted of 3 the level of (1.67; 5; 8.33%) of polymeric materials. The treatments were grouped into 3 based on the time of making bioplastics, thus, 27 experimental units were obtained. The observed variables were tensile strength, elongation at break, modulus young, swelling, biodegradation, and functional groups using FTIR. The obtained data were analyzed for diversity and continued with the Honest Significant Difference test. The results showed that the interaction of variations in the ratio of raw materials and concentration of reinforcing materials had a very significant effect on tensile strength, elongation at break, modulus young, and biodegradation but had no significant effect on the swelling. The characteristics of bioplastic composites in the variation of the ratio of raw materials and concentration of reinforcing materials produced the best values, the tensile strength of 17.60 MPa, elongation at break of 14.91%, modulus young of 154.80 MPa, swelling of 7.52%, biodegradation for 6 – 8 days and contains hydrocarbon functional groups $-(CH_2)_n$, alkenes (C – H), alkanes (C – H), phenols, alcohol monomers, hydrogen-bonded alcohols (O – H).

Keyword: *bioplastic, taro starch, cellulose acetate, carrageenan*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh serta interaksi dari variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat terhadap karakteristik komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) dan karagenan serta mengetahui variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat pada pembuatan komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) dan karagenan yang menghasilkan komposit bioplastik terbaik. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan dua faktor yaitu rasio pati umbi talas : karagenan yang terdiri dari tiga taraf yaitu (25:75; 50:50; 75:25 g) dan konsentrasi selulosa asetat sebagai bahan penguat yang terdiri dari 3 taraf yaitu (1,67; 5; 8,33%) dari bahan polimer. Perlakuan dikelompokkan menjadi 3 berdasarkan waktu pembuatan bioplastik, sehingga didapat 27 unit percobaan. Variabel yang diamati yaitu kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal, biodegradasi dan gugus fungsi dengan FTIR. Data yang diperoleh dianalisis keragamannya dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi pada variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas dan biodegradasi tetapi berpengaruh tidak nyata pada pengembangan tebal. Karakteristik komposit bioplastik pada variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat menghasilkan nilai terbaik yaitu pada kuat tarik sebesar 17,60 MPa, perpanjangan saat putus sebesar 14,91%, elastisitas sebesar 154,80 MPa, pengembangan tebal sebesar 7,52%, kemampuan biodegradasi selama 6 – 8 hari dan mengandung gugus fungsi hidrokarbon $-(CH_2)_n$, alkena (C – H), alkana (C – H), fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen (O – H).

Kata kunci: *bioplastik, pati talas, selulosa asetat, karagenan*

PENDAHULUAN

Bioplastik merupakan salah satu jenis plastik yang dapat terdegradasi secara alami serta bahan bakunya menggunakan bahan organik (Setiarto, 2020). Bioplastik dapat diperoleh dari material alami yang dapat dihasilkan dari tanaman maupun hewan serta dapat bersumber dari campuran material alami dan sintetik. Penggunaan bahan alami dalam pembuatan bioplastik untuk menggantikan bahan sintetik yang sering digunakan menjadi menggunakan bahan yang lebih mudah diperbaharui dan diperoleh di alam (Nuriyah *et al.*, 2011). Bahan baku yang dibuat dalam bioplastik dapat berupa pati dan selulosa (Sinaga *et al.*, 2014). Pati menjadi salah satu bahan alternatif yang dapat dibuat menjadi bioplastik karena terdapat kandungan polimer alami. Beberapa hasil pertanian yang menghasilkan pati yaitu umbi jalar, jagung, sagu, umbi kayu dan umbi talas. Pati dari umbi talas dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan komposit karena memiliki komponen amilosa dan amilopektin yang dapat larut dalam air, mempunyai rantai lurus dan sifatnya yang keras (Naki dan Wake, 2019). Penggunaan umbi talas sebagai bahan baku pembuatan bioplastik sangat tepat karena Indonesia mampu menghasilkan umbi talas sebanyak 28 ton/ha (Sudomo dan Hani, 2016). Kandungan pati pada umbi talas berkisar 70-80%, mengandung kadar air sebesar 13,18%, kadar amilosa sebesar 5,55%, kadar amilopektin sebesar 74,45% dan dengan rendemen sebanyak 28,7% (Ginting *et al.*, 2014 dan Novilestari, 2016). Umbi talas juga sangat mudah ditanam di Indonesia dan dapat dipanen dalam 6 – 8 bulan setelah ditandai daunnya yang sudah menguning. Maka dari itu, penggunaan umbi talas pada pembuatan bioplastik dapat memberikan nilai lebih pada industri pertanian serta lingkungan (Novilestari, 2016). Penelitian bioplastik berbahan dasar pati telah dilakukan dan belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (Waryat *et al.*, 2013 dan Sugiarto *et al.*, 2014). Penelitian lain telah dilakukan yang bertujuan untuk meningkatkan kuat tarik bioplastik dengan mengkompositkan bahan bakunya. Komposit merupakan suatu jenis bioplastik hasil rekayasa yang terdiri dari dua bahan atau lebih dengan sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya atau bahan komposit (Nayiroh, 2013). Beberapa penelitian komposit pati dengan karagenan telah dilakukan yaitu Hartiati *et al.* (2021) mengkompositkan pati singkong dengan polisakarida lain (glukomanan, karagenan, kitosan, alginat) dan hasil terbaik yang didapat adalah pati singkong : karagenan pada rasio 25:75, *filler* ZnO 10%, pemlastis gliserol 1% dengan hasil terbaik

komposit bioplastik pada kuat tarik yaitu 27,35 MPa. Suparwan *et al.* (2021) mendapatkan hasil komposit pati gadung dan karagenan dengan rasio 50:50 menggunakan *filler* nanoselulosa 5% (dari total bahan komposit) dengan nilai kuat tarik tertinggi yaitu 19,33 MPa. Penelitian lain yang menggunakan bahan baku pati umbi talas dan karagenan (Aritonang *et al.*, 2020) dengan rasio 75:25, pemlastis gliserol 1%, mendapatkan hasil terbaiknya sebesar 3, 21 MPa (kuat tarik).

Penelitian-penelitian tersebut beberapa variabelnya telah memenuhi syarat seperti kuat tarik dan biodegradasi, tetapi variabel lain seperti perpanjangan saat putus dan elastisitas belum terpenuhi. Usaha yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah dengan penggunaan bahan penguat yaitu selulosa asetat. Selulosa asetat yang akan digunakan berdasarkan penelitian Wahyudi *et al.*, (2020) yang menghasilkan nilai kuat tarik terbaik sebesar 46,55 MPa dengan perlakuan selulosa asetat 0,5 gram (8,33%) berbanding dengan 0,5 gram pati umbi talas. Berdasarkan hasil dari penelitian – penelitian tersebut, maka akan dilakukan penelitian mengenai karakteristik komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) dan karagenan pada variasi rasio bahan baku rasio 25:75, 50:50, 75:25 dengan konsentrasi bahan penguat selulosa asetat 0,1 gram (1,67%) ; 0,3 gram (5%) dan 0,5 gram (8,33%) dari bahan baku polimer.

Penelitian ini bertujuan untuk untuk mengetahui pengaruh serta interaksi dari variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat terhadap karakteristik komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) dan karagenan serta mengetahui variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat pada pembuatan komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) dan karagenan yang menghasilkan komposit bioplastik terbaik.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Proses pembuatan pati dan komposit bioplastik serta uji pengembangan tebal dilakukan di Laboratorium Biokimia dan Nutrisi Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana. Uji biodegradasi dilakukan di *Green House* Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana. Uji kuat tarik, perpanjangan saat putus dan elastisitas dilakukan di Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Uji FTIR dilakukan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan April – Juni 2022.

Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah pisau, *cutter*, talenan, baskom, sendok, blender (Miyako BL-151 GF), kain saring, oven ((ECOCELL), ayakan 80 *mesh*, pipet tetes, batang pengaduk, timbangan analitik (PIONEER™), *beaker glass* 100 ml (IWAKICTE33 PYREX), *beaker glass* 250 ml (IWAKITG32 PYREX), *beaker glass* 500 ml (IWAKITG32 PYREX), *hot plate* (JP. SELECTA), termometer, cetakan teflon (Maxim Valentino diameter 20 cm), alat uji mekanik plastik berdasarkan ASTM D638 (*Automatic System Tester Machine*) dan FTIR Spektrometer.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu terdiri dari bahan baku dan bahan kimia. Bahan baku yang digunakan adalah umbi talas (*Colocasia esculenta*) yang diperoleh dari pasar Taman Griya, Jimbaran. Karagenan diperoleh dari NIO Chemical. Untuk bahan kimia yang digunakan adalah selulosa asetat dan ZnO diperoleh dari Tokopedia. Gliserol dan aquadest diperoleh dari UD Saba Kimia Denpasar.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Kelompok dengan dua faktor. Faktor pertama yaitu rasio pati umbi talas : karagenan yang terdiri dari tiga taraf dengan total bahan baku sebanyak 6 gram, yaitu : T1 = 25:75 g; T2 = 50:50 g; T3 = 75:25 g. Faktor kedua adalah jenis bahan penguat yaitu konsentrasi selulosa asetat yang terdiri dari tiga taraf, yaitu : P1 = 1,67% (0,1 g); P2 = 5% (0,3 g); P3 = 8,33% (0,5 g). Berdasarkan faktor di atas, dihasilkan 9 kombinasi perlakuan. Masing-masing dikelompokkan menjadi 3 berdasarkan waktu pembuatan bioplastik sehingga dihasilkan 27 unit percobaan. Data yang diperoleh dianalisis keragamannya (ANOVA) dan jika perlakuan berpengaruh, akan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) menggunakan perangkat lunak Minitab 19.

Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan pati umbi talas mengikuti prosedur penelitian Permana *et al.* (2017). Pembuatan bioplastik dilakukan dengan penimbangan pati umbi talas dan karagenan sesuai variasi rasio. Jumlah komposit pati umbi talas:karagenan pada setiap perlakuan sebanyak 6 g. Lalu penimbangan pada gliserol sebanyak 1 g, ZnO sebanyak 0,6 g dan selulosa asetat sesuai konsentrasi yang sudah ditetapkan. Setelah semua bahan tersebut ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan dilarutkan dengan aquadest hingga mencapai total bahan 100 g. Pada bahan selulosa asetat dilarutkan dengan aseton sesuai dengan konsentrasi yang

digunakan. Pelarutan bahan dilakukan pada setiap satu *beaker glass* yang berbeda sambil dipanaskan selama 15 menit dengan suhu 75°C hingga saling menyatu dan diaduk dengan batang pengaduk. Jika semua bahan sudah terlarut, kemudian akan dicampurkan dalam satu *beaker glass*. Selanjutnya semua campuran tersebut akan digelatinisasi pada *hot plate* dengan suhu 75±2°C selama 10 menit dan dikontrol suhunya dengan termometer hingga homogen. Kemudian akan ditambahkan gliserol sebanyak 1 g dan larutan ZnO sebanyak 0,6 g. Komposit bioplastik yang sudah tergelatinisasi akan dicetak pada teflon berdiameter 20 cm dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 50±1°C selama 12 jam. Lapisan bioplastik yang terbentuk kemudian didinginkan pada suhu ruang selama 24 jam hingga dapat dilepas dari cetakan. Pembuatan komposit bioplastik ini hasil modifikasi dari penelitian Indriyanti, (2019) dengan modifikasi pada bahan komposit bioplastik yang digunakan.

Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah kuat tarik (*Tensile Strength*) (SNI 7818:2014), perpanjangan saat putus (*Elongation at Break*) (SNI 7818:2014), elastisitas (*Modulus Young*) (SNI 7818:2014), pengembangan tebal (*Swelling*) (Standar Internasional (EN 317)), biodegradasi (SNI 7818:2016) dan uji gugus fungsi (FTIR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap kuat tarik dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Nilai yang dihasilkan pada kuat tarik komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) : karagenan berkisar 7,94±0,96 – 17,60±0,70 MPa yang dapat dilihat pada Tabel 1.

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

Rasio bahan (g)	Konsentrasi Bahan Penguat (%)		
	P1 (1,67)	P2 (5)	P3 (8,33)
T1 (25:75)	9,30±0,61e	13,25±0,57bc	17,60±0,70a
T2 (50:50)	8,61±0,59f	11,86±0,55cd	14,74±0,44b
T3 (75:25)	7,94±0,96f	10,39±0,86de	13,03±0,37c

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

Pengujian kuat tarik dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu bahan terhadap pembebanan pada titik lentur sampel (Sari, 2021). Tabel 1.

menunjukkan bahwa komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*):karagenan menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi yaitu 17,60 MPa dengan variasi rasio bahan baku 25:75 g dan konsentrasi bahan penguat sebesar 8,33% (0,5 g). Sementara itu, komposit bioplastik pati umbi talas:karagenan yang menggunakan variasi rasio bahan baku 75:25 g dan konsentrasi bahan penguat 1,67% (0,1 g) menghasilkan nilai kuat tarik terendah yaitu 7,94 MPa.

Dari hasil kuat tarik yang ditunjukkan pada Tabel 1, dapat dilihat jika semakin tinggi penambahan konsentrasi bahan penguat (selulosa) pada pembuatan bioplastik, maka ikatan pada bioplastik yang terbentuk akan semakin kuat (Wahyudi *et al.*, 2020). Hal ini sesuai dengan penelitian Maladi (2019) yang menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi berturut-turut sebesar 33, 99 MPa, 35,21 MPa dan 37,38 MPa menggunakan bahan pati kulit singkong sebanyak 5 g dan bahan penguat (selulosa) sebanyak 0,6 g, 0,9 g dan 1,2 g. Sifat selulosa yang hidrofobik juga dapat meningkatkan interaksi antara matriks pada pati dan selulosa. Menurut Wahyudi *et al.* (2020) dan Aritonang *et al.* (2020), hal tersebut juga berpengaruh pada faktor presentase kandungan amilopektin yang dimiliki pada pati umbi talas dan sifat pada karagenan. Amilopektin memiliki struktur bercabang sehingga ukuran molekulnya lebih besar dan lebih terbuka yang menyebabkan pati lebih mudah tergelatinisasi. Sifat dari karagenan pada proses gelatinisasi juga menyebabkan adanya ikatan silang antara rantai-rantai polimer sehingga bioplastik yang dihasilkan menjadi lebih homogen dan strukturnya menjadi rapat (Wahyudi *et al.*, 2020 dan Aritonang *et al.*, 2020).

Menurut SNI 7818:2014, nilai minimal kuat tarik pada bioplastik yaitu 13,7 MPa. Berdasarkan nilai kuat tarik yang dihasilkan komposit bioplastik pada variasi rasio bahan baku dan bahan penguat, dapat dilihat jika nilai kuat tarik tertinggi sudah memenuhi standar SNI yaitu 17,60 MPa.

Perpanjangan Saat Putus (*Elongation at Break*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa konsentrasi bahan penguat serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap perpanjangan saat putus dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Sedangkan pada variasi rasio bahan baku dalam pembuatan bioplastik berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap perpanjangan saat putus. Nilai yang dihasilkan pada perpanjangan saat putus komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*):karagenan berkisar 10,10±0,61–14,91±1,64% yang dapat dilihat pada Tabel 2.

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

Rasio bahan (g)	Konsentrasi Bahan Penguat (%)		
	P1 (1,67)	P2 (5)	P3 (8,33)
T1 (25:75)	11,93±0,45b	10,41±0,97b	10,10±0,61b
T2 (50:50)	11,26±1,10b	10,88±0,59b	10,81±0,79b
T3 (75:25)	14,91±1,64a	10,61±0,97b	10,12±0,43b

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

Pada Tabel 2. menunjukkan nilai perpanjangan saat putus dari semua sampel bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*):karagenan. Nilai perpanjangan saat putus tertinggi yaitu 14,91% dengan variasi rasio bahan baku 75:25 g dan konsentrasi bahan penguat sebesar 1,67% (0,1 g). Sedangkan nilai terendah pada perpanjangan saat putus yaitu 10,10% dengan variasi rasio bahan baku 25:75 g dan konsentrasi bahan penguat sebesar 8,33% (0,5 g). Dapat dilihat jika semakin bertambahnya konsentrasi selulosa maka nilai perpanjangan saat putus yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini juga menunjukkan jika nilai perpanjangan saat putus berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik (Simarmata *et al.*, 2020). Pernyataan ini sesuai dengan penelitian bioplastik yang dilakukan Indriyanti (2019) yang menggunakan pati umbi ganyong sebanyak 5 g dengan bahan penguat berupa selulosa asetat sebanyak 1-3 g dengan menyatakan jika semakin tinggi massa selulosa asetat yang digunakan, maka nilai perpanjangan saat putus yang dihasilkan akan semakin menurun. Menurut Rahim, *et al* (2011) nilai perpanjangan saat putus menjadi menurun karena ikatan yang terjadi antara molekul pati semakin rapat dan stabil sehingga menimbulkan komposit bioplastik menjadi kuat. Dengan semakin kuatnya komposit bioplastik maka akan semakin sulit untuk memanjang sehingga memperkecil perpanjangan komposit.

Menurut SNI 7818:2014, nilai perpanjangan saat putus pada bioplastik yaitu 21-220%. Berdasarkan nilai perpanjangan saat putus yang dihasilkan komposit bioplastik pada variasi rasio bahan baku dan bahan penguat, dapat dilihat jika nilai perpanjangan saat putus tertinggi belum memenuhi standar SNI yaitu 14,91%.

Elastisitas (*Modulus Young*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap elastisitas dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Nilai yang dihasilkan pada elastisitas komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) : karagenan berkisar

73,34±2,67–154,80±2,07 MPa yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rata-rata elastisitas (MPa) komposit bioplastik

Rasio bahan (g)	Konsentrasi Bahan Penguat (%)		
	P1 (1,67)	P2 (5)	P3 (8,33)
T1 (25:75)	91,15±0,93c	112,03±0,9b	154,80±2,07a
T2 (50:50)	84,46±2,50cd	107,75±1,5b	151,21±0,9a
T3 (75:25)	73,34±2,67d	100,34±1,87cd	114,06±1,2b

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

Nilai elastisitas diperoleh dari perbandingan antara nilai dari kuat tarik dan nilai dari perpanjangan saat putus (Wahyudi *et al.*, 2020). Pada Tabel 3. menunjukkan jika nilai rata-rata elastisitas tertinggi dari sampel bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*):karagenan terdapat pada variasi rasio bahan baku 25:75 g dan konsentrasi bahan penguat 8,33% (0,5 g) yaitu sebesar 154,80 MPa. Nilai terendah pada elastisitas yaitu 73,34 MPa pada variasi rasio bahan baku 75:25 g dan konsentrasi bahan penguat sebesar 1,67% (0,1 g).

Tabel 3. menunjukkan jika semakin tinggi konsentrasi bahan penguat maka semakin tinggi nilai elastisitas yang dihasilkan. Nilai elastisitas yang tinggi menandakan jika bioplastik yang dihasilkan bersifat kaku. Hal ini sesuai dengan penelitian Wiradipta (2017) yang menyatakan jika karakteristik selulosa asetat adalah kuat dan keras karena strukturnya tersusun secara teratur dan membentuk daerah kristalin. Sedangkan hasil pada nilai

elastisitas yang rendah menandakan jika bioplastik yang dihasilkan bersifat elastis (Indriyanti, 2019). Nilai elastisitas berbanding lurus dengan nilai kuat tarik dan berbanding terbalik dengan nilai perpanjangan saat putus. Hal tersebut sesuai dengan hasil pada nilai kuat tarik pada bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*):karagenan dengan bahan penguat selulosa asetat yang semakin tinggi karena peningkatan konsentrasi selulosa asetat. Hasil tersebut dapat disebabkan karena kandungan amilopektin yang tinggi pada pati sehingga membuat bioplastik menjadi lebih kuat dan memiliki sifat yang kaku (Aritonang *et al.*, 2020 dan Indriyanti, 2019). Menurut SNI 7818:2014, nilai elastisitas pada bioplastik yaitu 40-1120 MPa. Berdasarkan nilai elastisitas yang dihasilkan komposit bioplastik pada variasi rasio bahan baku dan bahan penguat, dapat dilihat jika nilai elastisitas tertinggi sudah memenuhi standar SNI yaitu 154,80 MPa.

Pengembangan tebal (Swelling)

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi rasio bahan baku berpengaruh nyata ($p < 0,05$) dan konsentrasi bahan penguat berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap pengembangan tebal dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Sedangkan interaksinya tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap pengembangan tebal dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Nilai yang dihasilkan pada pengembangan tebal komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*): karagenan berkisar 4,83±0,46–7,52±3,42% yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai rata-rata pengembangan tebal (%) komposit bioplastik

Variasi rasio bahan baku (g)	Konsentrasi Bahan Penguat (%)			Rata-rata
	P1 (1,67)	P2 (5)	P3 (8,33)	
T1 (25:75)	8,86±0,75	4,82±0,17	5,05±0,29	6,25±2,27 b
T2 (50:50)	11,10±0,87	4,37±1,06	5,74±1,38	7,07±3,55 ab
T3 (75:25)	11,45±1,67	5,29±0,23	5,80±0,17	7,52±3,42 a
Rata-rata	10,47±1,40 a	4,83±0,46 b	5,53±0,41 b	

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

Nilai pengembangan tebal pada Tabel 4. menunjukkan jika rata-rata persen pengembangan tebal dari sampel bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*):karagenan pada variasi rasio bahan baku 75:25 g menghasilkan nilai tertinggi sebesar 7,52±3,42% tidak berbeda nyata dengan perlakuan variasi rasio bahan baku 50:50 g sebesar 7,07±3,55%. Sedangkan nilai rata-rata yang paling rendah yaitu sebesar 6,25±2,27% pada variasi rasio bahan baku 25:75 g. Tabel 4. juga menunjukkan bahwa rata-rata nilai pengembangan tebal dari sampel bioplastik pati umbi talas (*Colocasia*

esculenta):karagenan tertinggi yaitu 10,47±1,40% pada konsentrasi bahan penguat 1,67% (0,1 g). Sementara nilai rata-rata pengembangan tebal yang paling rendah yaitu sebesar 4,83±0,46% pada konsentrasi bahan penguat 5% (0,3 g) yang tidak berbeda nyata dengan penggunaan konsentrasi bahan penguat 8,33% (0,5 g) sebesar 5,53±0,41%. Pada Tabel 4. menunjukkan bahwa nilai pengembangan tebal mengalami penurunan hingga penambahan konsentrasi bahan penguat sebesar 5% yang tidak berbeda nyata dengan penggunaan konsentrasi bahan penguat sebesar 8,33%. Dari hasil

tersebut sesuai dengan penelitian Sulityo dan Ismiyati (2012) yang menggunakan pati singkong dengan selulosa, bahwa penambahan bahan penguat (selulosa asetat) mampu menurunkan nilai pada pengembangan tebal bioplastik. Penambahan selulosa asetat pada pembuatan bioplastik bertujuan untuk mengurangi sifat hidrofilik pada pati karena karakteristik yang dimiliki selulosa yaitu tidak larut dalam air. Limbong *et al.* (2022) menyatakan jika semakin kecil nilai *swelling* yang dihasilkan, maka tingkat ketahanannya terhadap air akan semakin tinggi yang dapat menguntungkan bioplastik menjadi mudah terdegradasi di dalam tanah.

Menurut Standar Internasional (EN 317), nilai pengembangan tebal pada bioplastik yaitu 1,44%. Nilai pengembangan tebal yang dihasilkan komposit bioplastik pada variasi rasio bahan baku dan bahan

penguat berkisar $4,37 \pm 1,06$ - $11,45 \pm 1,67\%$. Dengan demikian, nilai pengembangan tebal komposit bioplastik pada variasi rasio bahan baku dan bahan penguat belum memenuhi Standar Internasional karena hasilnya yang lebih dari 1,44%.

Biodegradasi

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap biodegradasi dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Laju pada biodegradasi komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) : karagenan berkisar antara 6 – 8 hari yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai rata-rata biodegradasi komposit bioplastik

Variasi rasio bahan baku (g)	Konsentrasi Bahan Penguat (%)		
	P1 (1,67)	P2 (5)	P3 (8,33)
T1 (25:75)	6,67±0,58 ab	7,67±0,58 ab	7,00±0,00 ab
T2 (50:50)	6,67±0,58 ab	8,00±0,00 a	6,67±0,58 ab
T3 (75:25)	7,33±0,58 ab	6,33±0,58 b	7,67±0,58 ab

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

Pengujian biodegradasi bertujuan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan komposit bioplastik untuk bisa terurai di tanah. Tabel 5. menunjukkan bahwa nilai biodegradasi tertinggi dari sampel bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*): karagenan yaitu pada variasi rasio bahan baku 50:50 g dan konsentrasi bahan penguat 5% (0,3 g) yang terdapat di hari ke-8. Sedangkan nilai yang terendah terdapat pada hari ke-6 pada variasi rasio bahan baku 75:25 g dengan konsentrasi bahan penguat 5% (0,3 g). Dari hasil yang diperoleh, dapat dilihat jika campuran bahan pembuatan komposit bioplastik berpengaruh sangat nyata pada lamanya waktu biodegradasi. Bioplastik sudah mulai terurai dari hari ke-6 dan terurai sempurna pada hari ke-8. Menurut Wahyuningtyas (2017), biodegradasi pada bioplastik dapat terjadi karena adanya proses pemecahan rantai polimer pada pati yang mengandung gugus fungsi hidroksil (O-H), karbonil (C=O) dan ester (C-O) menjadi monomer dan juga adanya bantuan mikroorganisme yang ada di dalam tanah. Gugus fungsi tersebut memiliki sifat hidrofilik, sehingga semakin tinggi sifat hidrofilik pada bioplastik, maka komposit bioplastik akan semakin menyerap air. Hal tersebut dapat menyebabkan komposit bioplastik menjadi lembab dan mengakibatkan mikroorganisme yang ada di dalam tanah memasuki matriks bioplastik (Pratama, 2019). Menurut SNI 7818:2016, lama biodegradasi pada bioplastik maksimal selama 60 hari untuk dapat

terurai di dalam tanah dan beratnya yang sudah berkurang lebih dari 60%. Kemampuan biodegradasi pada komposit bioplastik pada variasi rasio bahan baku dan bahan penguat adalah sekitar 6 – 8 hari. Waktu biodegradasi tersebut sudah memenuhi SNI 7818:2016.

Analisis Gugus Fungsi dengan *Fourier Transform InfraRed Spectroscopy* (FTIR)

Analisis gugus fungsi FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada bioplastik berdasarkan data serapan infra merah yang dihasilkan (Munir, 2017). Pada penelitian ini, bioplastik yang diuji dengan menggunakan FTIR adalah bioplastik yang menghasilkan nilai kuat tarik terbaik yaitu pada perlakuan T1P3 dengan variasi rasio bahan baku pati : karagenan sebanyak 25:75 g dan konsentrasi bahan penguat (selulosa asetat) sebesar 8,33% (0,5 gram), bahan pati talas, bahan karagenan dan bahan selulosa asetat. Hasil pengujian FTIR *spectroscopy* pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3 menunjukkan bilangan gelombang yang terbentuk pada bioplastik berbahan pati umbi talas, karagenan dan selulosa asetat yang menghasilkan beberapa gugus fungsi. Gambar 4 menunjukkan hasil analisis uji FTIR komposit bioplastik yang memenuhi standar serta menghasilkan beberapa gugus fungsi. Persamaan dan perbedaan gugus fungsi yang dihasilkan pada bahan yang digunakan dengan komposit bioplastik terbaik

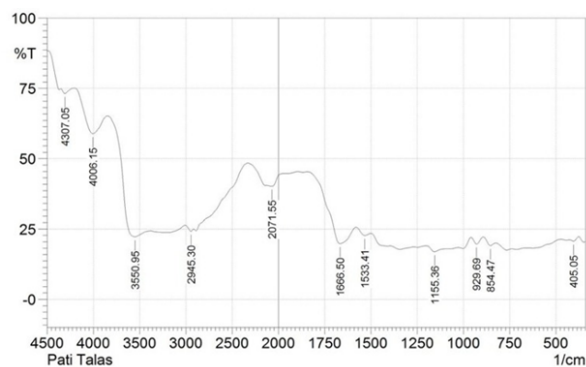
dapat dilihat pada Tabel 6. Dapat terlihat bahwa gugus fungsi pada komposit bioplastik merupakan gabungan dari gugus fungsi spesifik yang terdapat pada bioplastik yang menggunakan bahan pati umbi talas, karagenan dan selulosa asetat. Hasil analisis pada komposit bioplastik dengan kuat tarik 17,60 MPa menunjukkan adanya serapan gugus hidrokarbon $-(CH_2)_n$ pada bilangan gelombang $462,92\text{ cm}^{-1}$, gugus alkena (C – H) pada bilangan gelombang $779,24$ dan $935,48\text{ cm}^{-1}$, gugus karbon (C – O) pada bilangan gelombang $1165,00$ dan $1263,37\text{ cm}^{-1}$, gugus senyawa nitro (NO_2) pada bilangan $1568,13\text{ cm}^{-1}$, gugus karbonil (C = O) pada bilangan $1693,50\text{ cm}^{-1}$, gugus alkana (C – H) pada bilangan $2947,23\text{ cm}^{-1}$ dan gugus hidroksil (O – H) pada bilangan $3549,02\text{ cm}^{-1}$ (Gable, 2014).

Dari hasil interpretasi gugus fungsi komposit bioplastik, beberapa hasil memiliki perbedaan dan

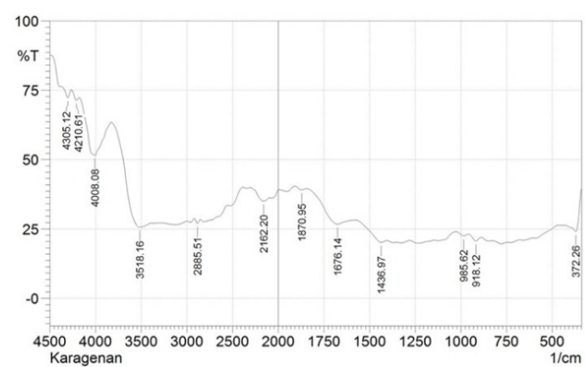
kesamaan. Pada gugus fungsi komposit bioplastik dengan bahan pati umbi talas, karagenan dan selulosa asetat, terdapat perbedaan dikarenakan ada beberapa gugus fungsi yang hilang (Sinaga *et al.*, 2014). Kesamaan gugus fungsi dari setiap bahan yang digunakan dengan gugus fungsi pada bioplastik yaitu gugus fungsi hidrokarbon $-(CH_2)_n$, alkena (C – H), alkana (C – H) dan hidroksil (O – H).

Penentuan perlakuan terbaik

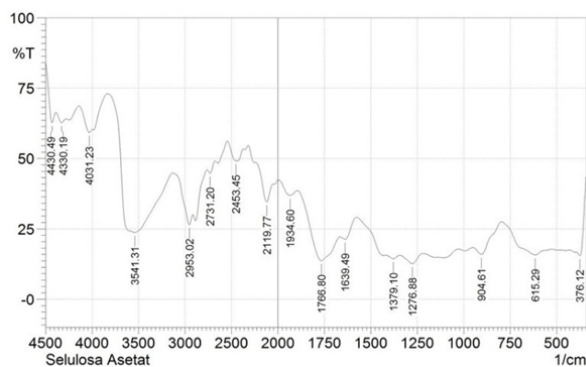
Pada penelitian ini, komposit bioplastik dengan variasi pati umbi talas : karagenan dengan konsentrasi selulosa asetat menghasilkan beberapa nilai yang sudah memenuhi standar. Hasil yang sudah memenuhi standar dapat dilihat pada Tabel 7.



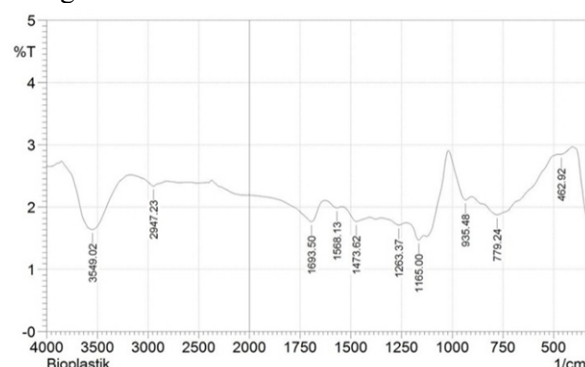
Gambar 1. Grafik bilangan gelombang bahan pati umbi talas



Gambar 2. Grafik bilangan gelombang bahan karagenan



Gambar 3. Grafik bilangan gelombang bahan selulosa asetat



Gambar 4. Grafik bilangan gelombang komposit bioplastik berbahan pati umbi talas dan karagenan dengan tambahan selulosa asetat sebagai bahan penguat

Tabel 6. Daerah serapan dan gugus fungsi komposit bioplastik

Bilangan gelombang pati umbi talas	Bilangan gelombang karagenan	Bilangan gelombang selulosa asetat	Bilangan gelombang komposit bioplastik terbaik	*Daerah serapan (cm ⁻¹)	Gugus fungsi	Tipe senyawa
405,05	372,26	376,12	462,92	<600	-(CH ₂) _n	Hidrokarbon
854,47 ; 929,69 1155,36	918,12 ; 985,62 -	904,61	779,24 ; 935,48	675-995	C – H	Alkena
-	1436,97	1379,10	-	1340-1470	C – H	Alkana
1533,41	-	-	1568,13	1500-1570	NO ₂	Senyawa Nitro
1666,50	1676,14	1639,49	-	1610-1680	C = C	Alkena
-	-	-	1693,50	1690-1760	C = O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester
-	2162,20	2119,77	-	2100-2260	C ≡ C	Alkana
-	-	2453,45	-	2400-2700	O – H	Ikatan Hidrogen
2945,30	2885,51	2953,02	2947,23	2850-2970	C – H	Alkana
3550,95	3518,16	3541,31	3549,02	3200-3600	O – H	Fenol, Monomer Alkohol, Alkohol Ikatan Hidrogen

Sumber : Gable, 2014

Tabel 7. Hasil pada perlakuan komposit bioplastik

Variabel yang diamati	Standar yang digunakan	Standar hasil yang	Hasil penelitian	Keterangan
Kuat tarik	SNI 7188.7: 2014	Minimal 13,7 MPa	17,60±0,70 MPa	Sudah memenuhi
Elastisitas	SNI 7818:2014	40-1120 MPa	154,80 MPa	Sudah memenuhi
Biodegradasi	SNI 7188.7: 2016	>60% hilangnya bioplastik mikroorganisme selama 7 hari	berat 6 – 8 hari oleh	Sudah memenuhi

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan :

Variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tarik dan elastisitas, tetapi tidak berpengaruh nyata pada perpanjangan saat putus, pengembangan tebal dan biodegradasi. Interaksi komposit bioplastik pada variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas dan biodegradasi tetapi tidak berpengaruh nyata pada pengembangan tebal. Karakteristik komposit bioplastik pada rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat menghasilkan nilai terbaik yaitu kuat

tarik berkisar 7,94±0,96–17,60±0,70 MPa, perpanjangan saat putus berkisar 10,10±0,61–14,91±1,64%, elastisitas berkisar 73,34±2,67–154,80±2,07 MPa, pengembangan tebal berkisar 4,83±0,46 –7,52±3,42%, biodegradasi berkisar 6 – 8 hari. Komposit bioplastik mengandung gugus fungsi gugus fungsi hidrokarbon (-(CH₂)_n), alkena (C – H), alkana (C – H), fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hydrogen (O – H).

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam mengembangkan dan meningkatkan penggunaan jenis dan konsentrasi bahan penguat yang baru, lama pengadukan, dan penambahan filler untuk

memperbaiki dari segi fisik dan mekanik terhadap komposit bioplastik pati umbi talas:karagenan yang belum memenuhi standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, D. H., A. Hartiati dan B. A. Harsojuwono. 2020. Karakteristik komposit bioplastik pada variasi rasio pati ubi talas belitung (*Xanthosoma sagittifolium*) dan karagenan. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 8 (3): 348-359. DOI : <https://doi.org/10.24843/JRMA.2020.v08.i03.p04>
- Ginting, M. H. S., R. F. Sinaga, R. Hasibuan dan G. Ginting. 2014. Pengaruh variasi temperatur gelatinisasi pati terhadap sifat kekuatan tarik dan pemanjangan pada saat putus bioplastik pati umbi talas. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah.
- Hartiati, A., B. A. Harsojuwono, H. Suryanto dan I. W. Arnata. 2021. Synthesis of starch-carrageenan bio-thermoplastic composites on the type and concentration of thermoplastic forming materials as packaging materials. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 913. DOI : [10.1088/1755-1315/913/1/012030](https://doi.org/10.1088/1755-1315/913/1/012030)
- Indriyanti, R. 2019. Pembuatan bioplastik menggunakan selulosa asetat limbah tandan kosong kelapa sawit dan pati umbi ganyong (*Canna edulis kerr*) dengan penambahan variasi gliserol sebagai plasticizer dengan melakukan uji mekanik. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Universitas Brawijaya, Malang.
- Lailyningtyas, D. I., M. Lutfi dan A. M. Ahmad. 2020. Uji mekanik bioplastik berbahan pati umbi ganyong (*Canna edulis*) dengan variasi selulosa asetat dan sorbitol. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 8(1): 91-100. DOI : <https://dx.doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.008.01.09>
- Limbong, S. F. B. A. Harsojuwono dan A. Hartiati. 2022. Pengaruh konsentrasi polivinil alkohol dan lama pengadukan pada proses pemanasan terhadap karakteristik komposit biotermoplastik maizena dan glukomanan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian*. 7 (1): 37-46. DOI : <https://doi.org/10.24843/JITPA.2022.v07.i01.p05>
- Maladi, I. 2019. Pembuatan bioplastik berbahan dasar pati kulit singkong (*Manihot utilisima*) dengan penguat selulosa jerami padi, polivinil alkohol dan *bio-compatible* zink oksida. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Munir, M. I. D.G. 2017. Penentuan konsentrasi optimum selulosa ampas tebu (baggase) dalam pembuatan film bioplastik. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Universitas Islam Negeri Alauddin, Makassar.
- Naki, M. S. dan I. A. M. S. Wake. 2021. Pemanfaatan pati umbi talas (*Colocasia esculenta l.*) sebagai bahan pembuatan bioplastik. *Action Research Literature*. 5 (1): 7-13. DOI : <https://doi.org/10.46799/ar.l.v5i1.6>
- Nayiroh, N. 2013. Teknologi material polimer. <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2013/03/Material-Komposit.pdf>. [Diakses tanggal 4 April 2022].
- Novilestari, A. 2016. Pengaruh komposisi kitosan dan sorbitol pada pembuatan plastic *biodegradable* dari pati talas dan bahan tambah pati kulit jagung. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- Nuriyah, L., S. J. Iswarin dan Wiyono. 2011. Karakteristik sifat mekanik bioplastik dari pati ubi kayu dengan pemlastis gliserol dan sorbitol. *Jurnal Natural B*. 1 (1): 21-26.
- Panjaitan, R. M., Irdoni dan Bahruddin. 2017. Pengaruh kadar dan ukuran selulosa berbasis batang pisang terhadap sifat dan morfologi bioplastik berbahan pati umbi talas. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*. 4(1): 1-7
- Permana, K. D A., A. Hartiati dan B. Admadi H. 2017. Pengaruh konsentrasi larutan natrium klorida (NaCl) sebagai bahan perendam terhadap karakteristik mutu pati ubi talas (*Calocasia esculenta L. Schott*). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 5 (1): 60-70
- Pratama, B. D. 2019. Uji biodegradabilitas bioplastik berbahan pati umbi ganyong dengan variasi gliserol dan selulosa asetat. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Universitas Brawijaya, Malang.
- Pujawati, D., A. Hartiati dan N. P. Suwariani. 2021. Karakteristik komposit bioplastik pati ubi talas-karagenan pada variasi suhu dan waktu gelatinisasi. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 9 (3): 277-287. DOI : <https://doi.org/10.24843/JRMA.2021.v09.i03.p02>
- Rahim, A., N. Alam, H. Haryadi dan U. Santoso. 2011. Karakteristik edibel film dari pati aren amilosa tinggi dan aplikasinya sebagai

- pengemas bubuk bumbu mie. *Jurnal Agroland*. 18 (1): 15-21.
- Rambe, M. A. A.J. 2017. Pembuatan dan karakterisasi plastik edible film dengan pemanfaatan pati kulit ubi kayu (*Manihot utilissima* pohl.) dan keratin bulu ayam. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sari, N. N. 2021. Aplikasi serat nanoselulosa dari kulit ubi kayu sebagai bahan pengisi dan pengaruhnya terhadap sifat fisik bioplastik tapioka dengan penambahan sorbitol. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Setiarto, R. H. B. 2020. Teknologi pengemasan pangan antimikroba yang ramah lingkungan. Bogor: Guepedia.
- Simarmata, E. O., A. Hartiati dan B. A. Hasojuwono. 2020. Karakteristik komposit bioplastik dalam variasi rasio pati umbi talas (*xanthosoma sagittifolium*)-kitosan. 5(2): 75-80.
- Sinaga, R. F., G. M. Ginting, M. H. S. Ginting dan R. Hasibuan. 2014. Pengaruh penambahan gliserol terhadap sifat kekuatan tarik dan pemanjangan saat putus bioplastik dari pati umbi talas. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 3 (2): 19-24. DOI : <https://doi.org/10.32734/jtk.v3i2.1608>
- Sudomo, A. dan A. Hani. 2014. Produktivitas talas (*Colocasia Esculenta* L. Shott) di bawah tiga jenis tegakan dengan sistem agroforestri di lahan hutan rakyat. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 8 (2): 100-107. DOI: <https://doi.org/10.22146/jik.10166>
- Sugiarto. 2014. Pengembangan film komposit tepung ubi kayu termoplastik-linear low-density polyethylene (LLDPE). Disertasi. Tidak Dipublikasikan. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sulityo, H. W., dan Ismiyati. 2012. Pengaruh formulasi pati singkong-selulosa terhadap sifat mekanik dan hidrofobisitas pada pembuatan bioplastik. *Jurnal Konversi*. 1 (2): 23-30. DOI: <https://doi.org/10.24853/konversi.1.2.%25p>
- Suparwan, K. G. I., A. Hartiati dan L. Suhendra. 2021. Pengaruh jenis dan konsentrasi bahan pengisi terhadap karakteristik komposit bioplastik pati umbi gadung-karagenan. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 9 (3): 312-322. DOI : <https://doi.org/10.24843/JRMA.2021.v09.i03.p05>
- Wahyudi, B., M. B. H. Kasafir dan M. R. T. Hidayat. 2020. Sintesis dan karakterisasi bioplastik dari pati talas dengan selulosa tandan kosong kelapa sawit. Seminar Nasional Soebardjo Brotohardjono, 16. <http://snsb.upnjatim.ac.id/index.php/snsb/article/view/30>. (Diakses pada 26 Juli 2022).
- Wahyuningtyas, N. E., dan H. Suryanto. 2017. Analysis of biodegradation of bioplastics made of cassava starch. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*. 1 (1): 41-54.
- Waryat, M. Romli, A. Suryani, I. Yuliasih dan S. Johan. 2013. Penggunaan *compatibilizer* untuk meningkatkan karakteristik morfologi, fisik dan mekanik plastik biodegradable berbahan baku pati termoplastik polietilen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 4 (3): 214-221.
- Wiradipta, I. D. G. A. 2017. Pembuatan plastik biodegradable berbahan dasar selulosa dari tongkol jagung. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.