

Pengaruh Pemlastis dan Penguat Polivinil Alkohol terhadap Karakteristik Komposit Bioplastik Pati Talas (*Colocasia esculenta* L) dan Karagenan

*The Effect of Plasticizer Type and Polyvinyl Alcohol Strengthners on Composite Characteristics of Bioplastic of Taro Starch (*Colocasia esculenta* L) and Carragenan*

Risky Simarmata, Amna Hartiati*, Nyoman Semadi Antara

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

Email: amnahartiati@unud.ac.id

Abstract

This study aim to determine the effect of the type of plasticizer and reinforcing agent on the characteristics of bioplastic composites, to determine the concentration treatment of the types of plasticizers which consist of two types, namely castor oil and stearic acid plasticizers and the concentration of polyvinyl alcohol (PVA) reinforcement which produce the best treatment bioplastic composites and to determine the functional groups of the **composites best-treated** bioplastics. This study used a factorial randomized block design with two factors, namely the concentration of plasticizer and polyvinyl alcohol reinforcement. The concentration of the type of plasticizer consists of 6 levels (0.5 g castor oil, 1 g castor oil, 1.5 g castor oil, 0.5 g stearic acid, 1 g stearic acid, and 1.5 g stearic acid) and the concentration of polyvinyl alcohol (PVA) reinforcement consists of 3 levels (5;10:15 g) **18 treatment combinations was obtained**, each of which was grouped into 2 bioplastic production times, resulting in a total of 36 experimental units. The variables observed were tensile strength, elongation at break, elasticity, thickness expansion, biodegradation, and **identification of functional groups**. The data obtained were analyzed for diversity and continued with the Honest Significant Difference test. The results showed that the type of plasticizer treatment and the concentration of reinforcement had a very significant effect on the values of tensile strength, elongation at break, elasticity, and thickness expansion, but had no significant effect on length biodegradation time. The best bioplastic composite characteristics were the result of treatment with a plasticizer concentration of 1 g of castor oil and a concentration of 15 g of PVA) with a tensile strength value of 15.76 ± 0.44 MPa; elongation at break, namely $8.51 \pm 0.09\%$; elasticity 185.17 ± 3.34 MPa ; thickness development was $50.35 \pm 29.81\%$ and the biodegradation time was on the 5th day. The results of the interpretation of the functional groups of the identified bioplastic constituents showed that in the best treated bioplastic composites, several groups were found missing, namely ketone groups, alkynes, carboxylic acids, alkanes and no new functional groups were found in the best bioplastics.

Keyword: *stearic acid, bioplastics, carrageenan, castor oil, taro starch, polivinil alkohol*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis pemlastis dan bahan penguat terhadap karakteristik komposit bioplastik, menentukan perlakuan konsentrasi jenis pemlastis yang terdiri dari dua jenis yaitu pemlastis minyak jarak dan asam stearat serta konsentrasi bahan penguat polivinil alkohol (PVA) yang menghasilkan komposit bioplastik perlakuan terbaik serta mengidentifikasi gugus fungsi komposit bioplastik perlakuan terbaik. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok pola faktorial dengan dua faktor yaitu konsentrasi jenis pemlastis dan penguat polivinil alkohol. Konsentrasi jenis pemlastis terdiri atas 6 taraf (minyak jarak 0,5 g, minyak jarak 1 g, minyak jarak 1,5 g, asam stearat 0,5 g, asam stearat 1 g, dan asam stearat 1,5 g) dan konsentrasi bahan penguat polivinil alkohol terdiri dari 3 taraf (5;10:15 g). Diperoleh 18 kombinasi perlakuan yang masing-masing dikelompokkan menjadi 2 waktu pembuatan bioplastik, sehingga dihasilkan total 36 unit percobaan. Variable yang diamati yaitu kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal, biodegradasi, dan identifikasi gugus fungsi. Data yang diperoleh dianalisis keragamannya dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan jenis pemlastis dan konsentrasi penguat berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, dan pengembangan tebal, namun tidak berpengaruh nyata terhadap lama waktu biodegradasi. Karakteristik komposit bioplastik terbaik adalah hasil dari perlakuan konsentrasi pemlastis minyak jarak 1 g dan konsentrasi PVA 15 g) dengan nilai kuat tarik yaitu $15,76 \pm 0,44$ MPa ; perpanjangan saat putus yaitu $8,51 \pm 0,09\%$; elastisitas $185,17 \pm 3,34$ MPa ; pengembangan tebal yaitu $50,35 \pm 29,81\%$ dan lama waktu biodegradasi yaitu pada hari ke-5. Hasil interpretasi gugus fungsi bahan penyusun bioplastik yang teridentifikasi menunjukkan bahwa pada komposit bioplasti perlakuan terbaik ditemukan beberapa gugus yang hilang yaitu gugus keton, alkuna, asam karboksilat, alkana dan tidak ditemukan adanya gugus fungsi baru pada bioplastik terbaik.

Kata kunci: *asam stearat, bioplastik, karagenan, minyak jarak, pati talas, polivinil alkohol*

PENDAHULUAN

Plastik memiliki peran penting dalam kehidupan manusia modern. Plastik banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti pembungkus makanan dan minuman. Namun pemakaian plastik menyebabkan persoalan lingkungan yaitu sulit didaur ulang dan diuraikan secara alami oleh mikroba di dalam tanah (Syamsir, 2008). Alternatif untuk mencegah masalah tersebut adalah pengembangan bioplastik. Bioplastik merupakan plastik ramah lingkungan karena mudah diurai oleh mikroorganisme dibandingkan plastik konvensional (Agustin & Padmawijaya, 2016). Bioplastik memiliki kegunaan yang sama seperti plastik sintetis atau plastik konvensional. Bioplastik dapat dibuat dari material bahan alami yang dihasilkan dari tanaman maupun hewan serta dapat bersumber dari campuran bahan alami dan sintetis.

Penggunaan umbi talas sebagai bahan baku pembuatan bioplastik sangat tepat karena Indonesia mampu menghasilkan umbi talas sebanyak 28 ton/ha. 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 rendemen sebanyak 28,7% (Ginting et al., 2014) dan (Afdal et al., 2022). Pemilihan umbi talas sebagai bahan baku pembuatan bioplastik dikarenakan umbi talas merupakan umbi yang masih bersifat minor yang berarti pengembangan dan pemanfaatannya masih belum luas dibandingkan dengan umbi-umbian yang sifatnya umbi mayor seperti umbi singkong, umbi jalar dan lainnya (Ginting et al., 2014). 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 tambah pada industri pertanian serta lingkungan (Afdal et al., 2022).

Penelitian sebelumnya oleh (Yanthi & Amna Hartiati, 2022) menunjukkan bahwa variasi rasio pati talas:karagenan sebagai bahan baku dan konsentrasi selulosa asetat didapatkan hasil terbaik pada variasi rasio 25:75 dan konsentrasi selulosa asetat 8,33%, pemlastis gliserol 1% dengan nilai kuat tarik sebesar 17,60 MPa. Pada penelitian (Yanthi & Amna Hartiati, 2022) menggunakan pemlastis selulosa asetat dengan perlakuan terbaik belum memenuhi standar bioplastik untuk variabel kuat tarik dan nilai elastisitasnya. Dalam proses pembuatan bioplastik berbahan pati memerlukan campuran bahan aditif untuk mendapatkan sifat mekanis yang lunak, ulet dan kuat. Oleh karena itu perlu ditambahkan zat cair atau padat untuk meningkatkan plastisitasnya selain itu pemlastis ditambahkan untuk meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan dari suatu material. Proses ini dikenal dengan plastisasi dan zat yang ditambahkan disebut

plastizer atau pemlastis (Iriani et al., 2011). Penelitian lain oleh (Suparwan et al., 2021) didapatkan perlakuan terbaik komposit pati gadung dan karagenan dengan rasio 50:50 menggunakan filler nanoselulosa 5%, pemlastis gliserol 1% (dari total bahan komposit) dengan nilai kuat tarik 19,33 MPa. Pada penelitian (Putri et al., 2021) menunjukkan bahwa karakteristik komposit bioplastik pati talas:kitosan rasio 60:40 terbaik menggunakan pemlastis asam stearat dengan konsentrasi 0,5% dan hasilnya nilai kuat tarik 23,00 MPa, perpanjangan saat putus 2,22%, elastisitas 1038,27 MPa yang belum dapat memenuhi standar bioplastik pada variabel kuat tarik dan elastisitasnya. Penelitian (Hartiati et al., 2021) yang melakukan sintesis komposit biotermoplastik pati-karagenan menunjukkan bahwa penggunaan pemlastis minyak jarak dan gliserol sebagai pembentuk termoplastik dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit bioplastik dengan rentang nilai kuat tarik tertinggi 35,71 MPa yang tak berbeda nyata dengan perlakuan pemlastis gliserol 1%. Penggunaan minyak jarak konsentrasi 15% sebagai pemlastis oleh (Fajri et al., 2017) pada pembuatan komposit bioplastik dari pati talas merupakan perlakuan terbaik yang menghasilkan kuat tarik 11,740 MPa. Penggunaan polivinil alkohol 10% sebagai penguat pada komposit pati talas dan kitosan dilakukan oleh (Sipayung et al., 2022) didapat perlakuan terbaiknya mempunyai nilai kuat tarik terbesar 13,85 MPa, perpanjangan saat putus 8,46%, elastisitas 2,83 MPa, dan waktu biodegradasi selama 7 hari berdasarkan hasil penelitian tersebut nilai kuat tariknya dan nilai elastisitasnya belum memenuhi standar bioplastik. Menurut (Budiman et al., 2018), peningkatan jumlah pemlastis akan mempengaruhi nilai perpanjangan putus bioplastik karena minyak jarak dan asam stearat sebagai pemlastis dapat menguatkan gaya intermolekul antar rantai polimer yang berdekatan, sehingga fleksibilitas komposit bioplastik menurun pada waktu yang bersamaan. Fleksibilitas dari komposit bioplastik yang dihasilkan ditandai dengan persen pemanjangan yang semakin tinggi (Jimenez, 2012). Menurut Rahim., et al (2011) nilai perpanjangan saat putus menjadi menurun akibat ikatan yang terjadi antara molekul bahan pati umbi talas 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, sifat perpanjangan saat putus komposit bioplastik berbanding terbaik dengan nilai kuat tariknya. Untuk meningkatkan karakteristik mutu bioplastik dilakukan penggabungan satu atau lebih bahan baku polimer lainnya sehingga terbentuk komposit. Menurut (Thu, 2015) pati akan mengalami pembentukan ikatan silang dari dua molekul atau lebih dalam granula yang dihubungkan oleh gugus hidroksil

(-OH). Oleh karena itu penting untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi dari bahan baku yang digunakan dan bioplastik yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian - penelitian tersebut, beberapa variabelnya telah memenuhi syarat seperti kuat tarik, perpanjangan saat putus dan lama waktu biodegradasi namun untuk nilai elastisitas belum memenuhi SNI bioplastik (BSN, 2016). Oleh karena itu akan dilakukan penelitian mengenai karakteristik komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta* L) dan karagenan rasio 25:75 (Yanthi & Amna Hartiati, 2022), dengan jenis pemlastis minyak jarak dan asam stearat jarak serta bahan penguat polivinil alkohol (PVA) untuk memperbaiki variabel yang belum memenuhi syarat SNI bioplastik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis pemlastis dan penguat PVA terhadap karakteristik komposit bioplastik pati talas dan karagenan serta menentukan konsentrasi jenis pemlastis dan penguat PVA yang dapat menghasilkan komposit bioplastik pati talas dan karagenan dengan perlakuan 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 ini dilakukan pada bulan Februari hingga April 2023.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan baku dan bahan kimia. Bahan baku yang digunakan adalah umbi talas (*Colocasia esculenta* L) yang diperoleh dari pasar Taman Griya, Jimbaran. Karagenan diperoleh dari Tokopedia Planet Kimia Depok. Untuk bahan kimia yang digunakan adalah Polivinil alkohol (PVA), Asam stearat, ZnO, Asam asetat dan minyak jarak diperoleh dari Tokopedia. Asam asetat dan aquadest diperoleh dari UD Saba Kimia Denpasar.

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 (IWAKI_{CTE33} PYREX), *beaker glass* 250 ml (IWAKI_{TG32} PYREX), *beaker glass* 500 ml (IWAKI_{TG32} 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 (Shimadzu).

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok pola faktorial dengan dua faktor yaitu jenis pemlastis dan konsentrasinya dengan 3 taraf yaitu (8,33;16,67;25%) dan konsentrasi bahan penguat polivinil alkohol dengan 3 taraf yaitu (5%;10%;15%). Berdasarkan faktor di atas, dihasilkan 18 kombinasi perlakuan. Masing-masing dikelompokkan menjadi 2 berdasarkan waktu pembuatan bioplastik, sehingga diperoleh 36 unit percobaan. Data yang diperoleh dianalisis keragamannya (ANOVA) dan jika perlakuan berpengaruh, akan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) menggunakan *software* minitab 19.

Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan pati umbi talas mengikuti hasil dari penelitian (Permana et al., 2021). dengan modifikasi pada perendaman bahan di dalam air pati umbi talas untuk mencegah terjadinya *browning* dan menghilangkan kadar zat kalium oksalat yang dapat menyebabkan gatal pada tangan. Diagram alir dari proses pembuatan pati umbi talas dapat dilihat pada Gambar 1.

Pembuatan komposit bioplastik ini hasil modifikasi dari penelitian (Suparwan et al., 2021) dengan modifikasi pada bahan komposit bioplastik yang digunakan. Diagram alir dari proses pembuatan komposit bioplastik dapat dilihat pada Gambar 2.

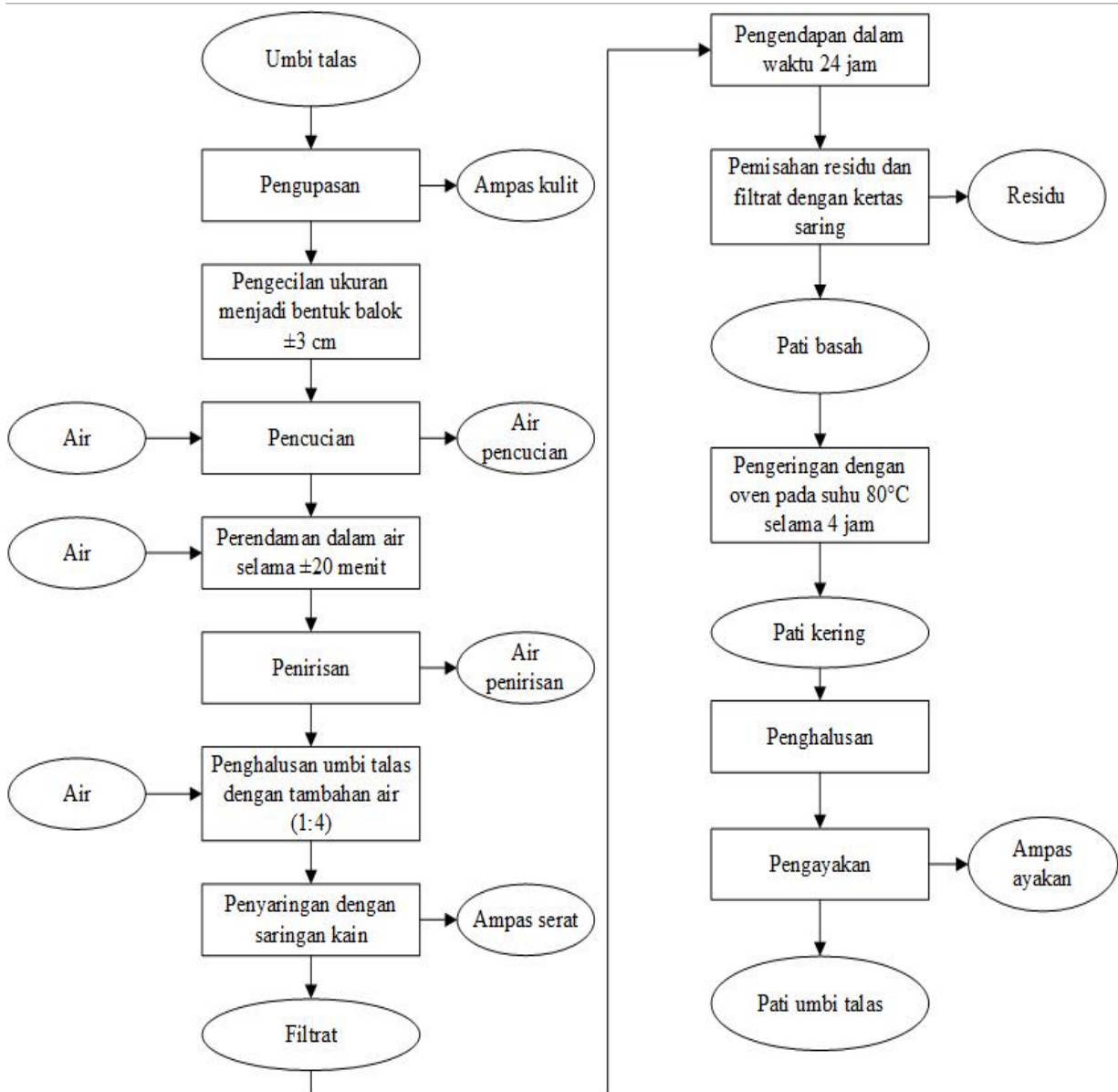
Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati yaitu kuat tarik (*Tensile Strength*) (SNI 7188.7 : 2016), perpanjangan saat putus (*Elongation at Break*) (SNI 7188.7 : 2016), Elastisitas (*Modulus Young*) (SNI 7188.7 : 2016), pengembangan tebal (*Swelling*) (Standar Internasional EN 317), Biodegradasi (ASTM D638) dan penentuan gugus fungsi dengan *Fourier Transform InfraRed Spectroscopy* (FTIR).

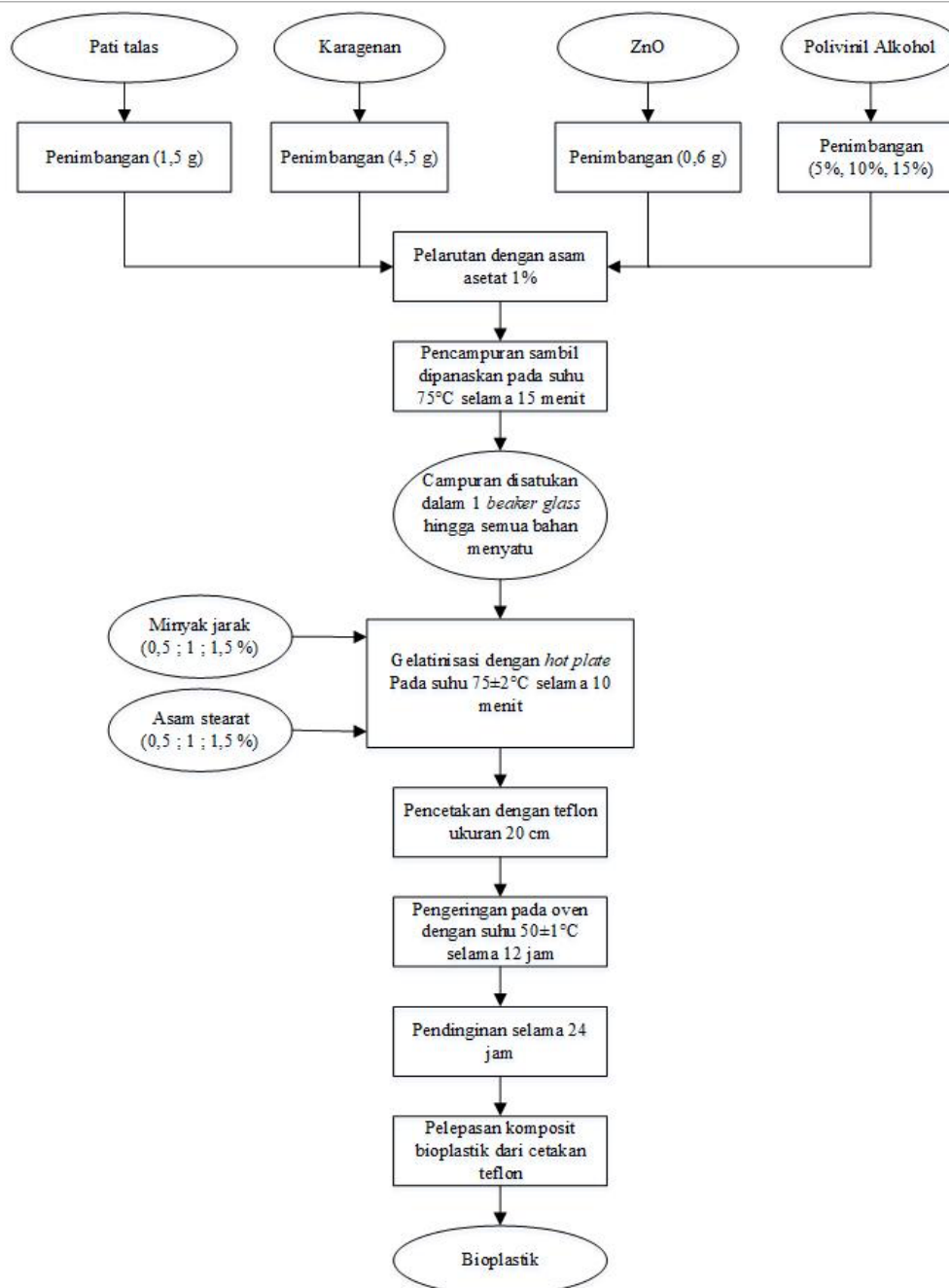
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa jenis pemlastis dan bahan penguat polivinil alkohol serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap kuat tarik bioplastik yang dihasilkan. Nilai yang dihasilkan pada kuat tarik komposit bioplastik berkisar $1,48 \pm 0,01 - 15,76 \pm 0,44$ MPa yang dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan pati umbi talas (Permana et al., 2021) modifikasi.



Gambar 2. Diagram alir pembuatan komposit bioplastik (Suparwan et al., 2021) modifikasi.

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

Perlakuan pemlastis (g)	Berat polivinil alkohol (g)		
	5	10	15
Minyak jarak 0,5	4,95 ± 0,34 ^{ef}	5,34 ± 0,35 ^{def}	5,71 ± 0,36 ^{ef}
Minyak jarak 1	7,33 ± 0,35 ^d	15,16 ± 0,40 ^{ab}	15,76 ± 0,44 ^a
Minyak jarak 1,5	12,97 ± 0,64 ^c	13,73 ± 0,10 ^{bc}	14,52 ± 0,92 ^{ab}
Asam stearat 0,5	4,59 ± 0,08 ^f	5,31 ± 0,15 ^{ef}	6,16 ± 0,01 ^{de}
Asam stearat 1	1,49 ± 0,07 ^g	1,66 ± 0,03 ^g	1,83 ± 0,10 ^g
Asam stearat 1,5	1,48 ± 0,01 ^g	1,53 ± 0,07 ^g	1,58 ± 0,10 ^g

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

Tabel 1. menunjukkan bahwa komposit bioplastik pati umbi talas : karagenan dengan konsentrasi pemlastis minyak jarak 1 g dan konsentrasi polivinil

alkohol (PVA) 15% (15 g) menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi yaitu $15,76 \pm 0,44$ MPa dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi

pemlastis minyak jarak 1 g, 1,5 g) dan konsentrasi polivinil alkohol 10 g dan 15 g yang nilainya $15,16 \pm 0,40$ dan $14,52 \pm 0,92$. Sementara itu, komposit bioplastik dengan konsentrasi pemlastis asam stearat 1,5 g dan konsentrasi polivinil alkohol 5 g menghasilkan nilai kuat tarik terendah yaitu $1,48 \pm 0,01$ MPa yang tidak berbeda nyata dengan konsentrasi pemlastis asam stearat 1 g dan variasi konsentrasi polivinil alkohol 5 g, 10 g, 15 g yaitu $1,49 \pm 0,07$ MPa, $1,66 \pm 0,03$ MPa, dan $1,83 \pm 0,10$ MPa. Dari hasil kuat tarik komposit bioplastik yang ditunjukkan pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi pemlastis minyak jarak dan konsentrasi bahan penguat PVA dapat meningkatkan nilai kuat tarik komposit bioplastik. Penambahan polivinil alkohol berbanding lurus dengan nilai kuat tarik yang dihasilkan, hal ini dibuktikan dengan meningkatnya nilai kuat tarik dari menggunakan PVA 5 g hingga konsentrasi tertinggi 15 g. Peningkatan nilai kuat tarik komposit bioplastik dipengaruhi oleh polivinil alkohol karena kemampuannya yang dapat membentuk film dengan baik, fleksibilitas dengan baik, dan sifat kekuatan tarik yang tinggi, sejalan dengan hasil penelitian (Swandaru., et al 2011) yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi pemlastis dan bahan

penguat polivinil alkohol berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan dan fleksibilitas komposit bioplastik. Peningkatan nilai kuat tarik dapat dipengaruhi oleh berkurangnya kandungan air pada proses pemanasan komposit bioplastik, menyebabkan struktur molekul semakin rapat dan homogen sehingga komposit bioplastik yang dihasilkan semakin kuat (Utami & Widiarti, 2014). Menurut SNI 7188.7:2016, nilai kuat tarik bioplastik yaitu 24,7 – 302 MPa. Berdasarkan nilai tertinggi kuat tarik komposit bioplastik yang dihasilkan yaitu $15,76 \pm 0,44$ MPa. Variasi jenis pemlastis minyak jarak dan asam stearat dan konsentrasi bahan penguat PVA nilai kuat tariknya belum memenuhi standar SNI.

Perpanjangan Saat Putus (*Elongation at Break*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa jenis pemlastis dan konsentrasi penguat polivinil alkohol serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap perpanjangan saat putus biplastik yang dihasilkan. Nilai yang dihasilkan pada perpanjangan saat putus komposit bioplastik pati umbi talas:karagenan berkisar $3,55 \pm 1,04$ – $12,23 \pm 0,89\%$. yang dapat dilihat pada Tabel 2.

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

Perlakuan pemlastis (g)	Berat polivinil alkohol (g)		
	5	10	15
Minyak jarak 0,5	$12,23 \pm 0,89^a$	$8,21 \pm 0,51^{bcde}$	$9,57 \pm 0,41^{ab}$
Minyak jarak 1	$9,00 \pm 1,62^{bc}$	$5,32 \pm 0,55^{defg}$	$8,51 \pm 0,09^{bc}$
Minyak jarak 1,5	$7,09 \pm 0,07^{bcde}$	$6,79 \pm 0,51^{bc}$	$8,21 \pm 0,51^{bc}$
Asam stearat 0,5	$4,96 \pm 0,05^{efg}$	$5,00 \pm 0,00^{efg}$	$4,97 \pm 1,05^{efg}$
Asam stearat 1	$5,40 \pm 0,56^{defg}$	$4,61 \pm 0,55^{efg}$	$3,55 \pm 1,04^g$
Asam stearat 1,5	$4,96 \pm 0,05^{efg}$	$5,00 \pm 0,00^{efg}$	$4,29 \pm 0,00^{fg}$

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

Perpanjangan saat putus merupakan persen tambahan panjang sampel bioplastik dari awal penarikan hingga putus. Perpanjangan putus menunjukkan seberapa besar fleksibilitas dan daya regang dari bioplastik hingga putus (Sipayung et al., 2022). Pada Tabel 2. menunjukkan nilai perpanjangan saat putus dari semua sampel bioplastik pati umbi talas:karagenan. Nilai perpanjangan saat putus tertinggi yaitu $12,23 \pm 0,89\%$ dengan konsentrasi pemlastis minyak jarak 0,5 g dan konsentrasi bahan penguat PVA 5 g Sedangkan nilai perpanjangan saat putus terendah yaitu $3,55 \pm 1,04\%$ dengan pemlastis asam stearat 1 g dan bahan penguat PVA konsentrasi 15 g yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan pemlastis pemlastis minyak jarak dan asam stearat. menggunakan konsentrasi 0,5 g hingga 10 g.

Menurut (Budiman et al., 2018), peningkatan jumlah pemlastis akan mempengaruhi nilai perpanjangan putus bioplastik karena minyak jarak dan asam stearat sebagai pemlastis dapat menguatkan gaya intermolekul antar rantai polimer yang berdekatan, sehingga fleksibilitas komposit bioplastik menurun pada waktu yang bersamaan. Fleksibilitas dari komposit bioplastik yang dihasilkan ditandai dengan persen pemanjangan yang semakin tinggi (Jimenez, 2012). Sifat perpanjangan saat putus komposit bioplastik berbanding terbaik dengan nilai kuat tariknya. Dapat dilihat jika pemlastis minyak jarak memiliki nilai elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan pemlastis asam stearat. Pemlastis minyak jarak memiliki nilai perpanjangan putus lebih tinggi yaitu $6,79 \pm 0,51$ –

12,23 ± 0,89%, sedangkan untuk pemlastis asam stearat 3,55 ± 1,04 – 5,40 ± 0,56%. Menurut SNI 7188.7:2016, nilai perpanjangan saat putus pada bioplastik yaitu 21-220%. Berdasarkan nilai perpanjangan saat putus yang dihasilkan komposit bioplastik pada perlakuan konsentrasi pemlastis (minyak jarak dan asam stearat) dan konsentrasi penguat PVA, dapat dilihat jika nilai perpanjangan saat putus tertinggi belum memenuhi standar SNI yaitu 12,23 ± 0,89%.

Elastisitas (*Modulus Young*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan pemlastis dan penguat PVA serta interaksinya berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap elastisitas dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Nilai yang dihasilkan pada elastisitas komposit bioplastik berkisar 27,79 ± 4,25 – 286,01 ± 22,26 MPa yang dapat dilihat Tabel 3.

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

Perlakuan pemlastis (g)	Berat polivinil alkohol (g)		
	5	10	15
Minyak jarak 0,5	40,48 ± 0,18 ^{fg}	65,26 ± 8,33 ^{cdefg}	59,75 ± 6,25 ^{defg}
Minyak jarak 1	83,16 ± 18,81 ^{cdef}	286,01 ± 22,26 ^a	185,17 ± 3,34 ^b
Minyak jarak 1,5	182,87 ± 10,82 ^b	202,78 ± 13,68 ^b	176,80 ± 0,29 ^b
Asam stearat 0,5	92,40 ± 2,49 ^{cde}	106,22 ± 3,04 ^{cd}	126,76 ± 27,04 ^c
Asam stearat 1	27,79 ± 4,25 ^g	36,23 ± 3,69 ^{fg}	53,24 ± 12,64 ^{efg}
Asam stearat 1,5	29,80 ± 0,04 ^g	30,52 ± 1,33 ^g	36,94 ± 2,38 ^{fg}

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

Uji elastisitas dilakukan untuk mengetahui ukuran kekuatan dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Dapat dilihat pada Tabel 3. jika nilai elastisitas tertinggi diperoleh dari perlakuan konsentrasi pemlastis minyak jarak 1 g dan konsentrasi penguat PVA 10 g yaitu 286,01 ± 22,26 MPa. Nilai elastisitas terendah yaitu 27,79 ± 4,25 MPa pada perlakuan konsentrasi pemlastis asam stearat 1 g dan konsentrasi PVA 5 g. Tabel 3. Menunjukkan bahwa nilai elastisitas pemlastis minyak jarak lebih tinggi dibandingkan dengan pemlastis asam stearat, nilai elastisitas pemlastis minyak jarak yaitu 40,48 ± 0,18 - 286,01 ± 22,26 MPa sedangkan untuk asam stearat 27,79 ± 4,25 - 126,76 ± 27,04 MPa. Nilai elastisitas perlakuan konsentrasi pemlastis dipengaruhi oleh konsentrasi PVA yang digunakan, karena peningkatan konsentrasi polivinil alkohol dapat meningkatkan nilai elastisitasnya. Hasil penelitian (Possangka., et al 2019) menyatakan bahwa faktor penambahan pemlastis juga mempengaruhi nilai elastisitas bioplastik, dikarenakan pemlastis mampu menurunkan gaya antar molekul pada ikatan komposit sehingga akan menurunkan nilai elastisitasnya. Nilai elastisitas yang tinggi menandakan jika bioplastik yang dihasilkan bersifat kaku, sedangkan hasil nilai elastisitas yang rendah menandakan bahwa bioplastik tersebut bersifat elastis (Indriyanti, 2019). Nilai elastisitas berbanding lurus dengan nilai kuat tarik dan berbanding terbalik dengan nilai perpanjangan saat putus. Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian dari

(Situmorang et al., 2019) dan (Putri et al., 2021) yang menyatakan bahwa tinggi nilai elastisitas disebabkan oleh semakin tingginya nilai kuat tarik pada bioplastik, jika nilai elastisitas dan kuat tarik yang dihasilkan semakin tinggi maka nilai perpanjangan bioplastik akan semakin rendah karena jika semakin kuat bioplastik maka akan sulit bioplastik yang dihasilkan untuk memanjang. Menurut SNI 7188.7:2016, nilai elastisitas pada bioplastik yaitu 117 – 137 MPa. Berdasarkan nilai elastisitas yang dihasilkan komposit bioplastik pada perlakuan pemlastis dan penguat PVA, dapat dilihat bahwa nilai elastisitas yang memenuhi syarat adalah perlakuan dengan konsentrasi asam stearat 0,5 g dan PVA 15 g dengan nilai elastisitas yaitu 126,76 ± 27,04 MPa.

Pengembangan Tebal (*Swelling*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa perlakuan pemlastis berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$), konsentrasi PVA serta interaksinya tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap nilai pengembangan tebal dari komposit bioplastik yang dihasilkan. Nilai yang dihasilkan pada pengembangan tebal komposit bioplastik perlakuan pemlastis dan konsentrasi PVA berkisar antara 14,12 ± 13,23% – 70,08 ± 4,83% yang dapat dilihat pada Tabel 4.

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

Perlakuan pemlastis (g)	Berat polivinil alkohol (g)	
	5	15
Minyak jarak 0,5	36,74 ± 15,03	70,08 ± 4,83
Minyak jarak 1	62,26 ± 11,32	55,71 ± 8,08
Minyak jarak 1,5	65,43 ± 4,15	38,94 ± 5,53
Asam stearat 0,5	38,98 ± 6,75	61,32 ± 16,98
Asam stearat 1	22,34 ± 2,97	50,35 ± 21,81
Asam stearat 1,5	17,96 ± 16,01	29,44 ± 6,58

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

Pengujian pengembangan tebal bertujuan untuk mengetahui kemampuan ketahanan sampel bioplastik terhadap air. Nilai pengembangan tebal pada Tabel 4. menunjukkan jika rata-rata persen pengembangan tebal dari sampel bioplastik perlakuan pemlastis minyak jarak dengan konsentrasi 1,5 g dan konsentrasi PVA 10 g menghasilkan nilai pengembangan tebal tertinggi sebesar 70,08 ± 4,83%, sedangkan untuk nilai pengembangan tebal terendah adalah dengan perlakuan konsentrasi pemlastis asam stearat 1 g dan PVA 15 g. Tabel 4. juga menunjukkan jika nilai pengembangan tebal perlakuan pemlastis minyak jarak lebih tinggi dibandingkan menggunakan pemlastis asam stearat dengan nilai pengembangan tebal pemlastis minyak jarak berkisar antara 36,74 ± 15,03 – 70,08 ± 4,83% dan pemlastis Tabel 5. Lama rata-rata waktu biodegradasi komposit bioplastik (Hari)

Perlakuan pemlastis (g)	Berat polivinil alkohol (g)		
	5	10	15
Minyak jarak 0,5	6,00 ± 1,41	7,00 ± 0,00	6,00 ± 1,41
Minyak jarak 1	7,00 ± 0,00	5,00 ± 0,00	5,00 ± 0,00
Minyak jarak 1,5	6,50 ± 0,71	6,00 ± 1,41	7,50 ± 0,71
Asam stearat 0,5	5,50 ± 2,12	5,00 ± 2,83	6,50 ± 0,71
Asam stearat 1	5,50 ± 3,54	7,00 ± 1,41	6,50 ± 0,71
Asam stearat 1,5	6,50 ± 0,71	6,50 ± 0,71	7,00 ± 0,00

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

Uji biodegradasi dilakukan untuk mengetahui lama waktu bioplastik yang dihasilkan untuk bisa terurai di dalam tanah. Pada Tabel 5. menunjukkan bahwa nilai uji biodegradasi cenderung terlama yaitu pada perlakuan konsentrasi pemlastis minyak jarak 0,5 g dan konsentrasi PVA 10 g yang terdegradasi pada hari ke-7 yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan pemlastis minyak jarak dan asam stearat. Nilai uji biodegradasi cenderung tercepat yaitu pada hari ke-5 adalah perlakuan konsentrasi pemlastis asam stearat 0,5 g dan konsentrasi PVA 10 g yang tidak berbeda

asam stearat 14,12 ± 13,23 – 38,98 ± 6,75. Asam stearat dan minyak jarak merupakan pemlastis yang memiliki sifat hidrofobik atau tidak suka air. Asam stearat akan membentuk jaringan kristal dengan susunan ortorombik sehingga asam stearat menjadi penghalang bagi molekul air masuk ke dalam komposisi bioplastik (Santoso, 2017). Pernyataan ini sebanding dengan pernyataan pada penelitian (Saputro & Ovita, 2017) penambahan bahan yang bersifat hidrofobik akan memperkecil nilai pengembangan tebal pada bioplastik. Berdasarkan Standar Internasional (EN 317), nilai pengembangan tebal pada plastik sintetik yaitu 1,44%, oleh karena itu diharapkan bioplastik yang dihasilkan mendekati Standar Internasional tersebut karena Standar Nasional (SNI) pengembangan tebal bioplastik yang belum ada. Nilai pengembangan tebal bioplastik yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu 14,12 ± 13,23% - 70,08 ± 4,83% masih belum memenuhi Standar Internasional (EN 317).

Biodegradasi

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa konsentrasi perlakuan pemlastis dan konsentrasi PVA tidak berpengaruh nyata ($p > 5%$) terhadap biodegradasi komposit bioplastik yang dihasilkan. Interaksi yang terjadi tidak berpengaruh nyata ($p < 5%$) terhadap bioplastik yang dihasilkan. Laju biodegradasi komposit bioplastik dengan perlakuan konsentrasi pemlastis dan konsentrasi PVA berkisar antara 5 – 7 hari yang dapat dilihat pada Tabel 5.

nyata dengan perlakuan pemlastis minyak jarak dan asam stearat. Biodegradasi pada bioplastik dapat terjadi karena adanya proses pemecahan rantai polimer pada variasi rasio bahan baku yaitu 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 (Wahyuningtiyas & Suryanto, 2017). Gugus fungsi tersebut mempunyai sifat hidrofilik dan terbuat bahan alami, 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 bioplastik karena mudah berinteraksi dengan air (Pratama, 2019 dan Rohmawati, 2019). Lama waktu biodegradasi bioplastik yang dihasilkan pada penelitian ini cenderung lebih cepat dibandingkan dengan penelitian (Pujawati et al., 2021) yang menggunakan pati umbi talas-karagenan dan penelitian (Wara et al., 2020) menggunakan bahan pati umbi gadung dan karagenan dengan lama waktu biodegradasi penelitian keduanya memiliki lama waktu biodegradasi 6 – 7 hari. Menurut (Utami & Widiarti, 2014), bioplastik dapat mudah terdegradasi dikarenakan bahannya merupakan bahan alami. Hal ini dikarenakan bioplastik yang terbentuk mengandung gugus fungsi hidroksil (OH), karbonil (C=O) yang menandakan bahwa bioplastik dapat terdegradasi dengan baik di tanah (Ummah., et al 2013). Dengan teridentifikasinya gugus fungsi O-H pada bioplastik akan memungkinkan untuk bioplastik dapat menyerap air dan sampel bioplastik mudah untuk ditumbuhkan jamur atau mikroorganisme alam yang dapat membuat waktu biodegradasi bioplastik menjadi lebih cepat. Menurut SNI 7188.7:2016, lama waktu biodegradasi pada bioplastik maksimal selama 60 hari untuk dapat terurai di dalam tanah dan beratnya sudah berkurang lebih dari 60%, sedangkan menurut Standar Internasional ASTM (*American Society for Testing and Material*) D638 lama waktu biodegradasi bioplastik maksimal adalah 90 hari. Kemampuan biodegradasi pada komposit bioplastik pati umbi talas:karagenan dengan perlakuan konsentrasi pemlastis dan konsentrasi PVA sebagai bahan penguat adalah 5 – 7 hari. Lama waktu biodegradasi tersebut sudah memenuhi Standar SNI 7188.7:2016 dan Standar Internasional ASTM D638.

Perlakuan Terbaik

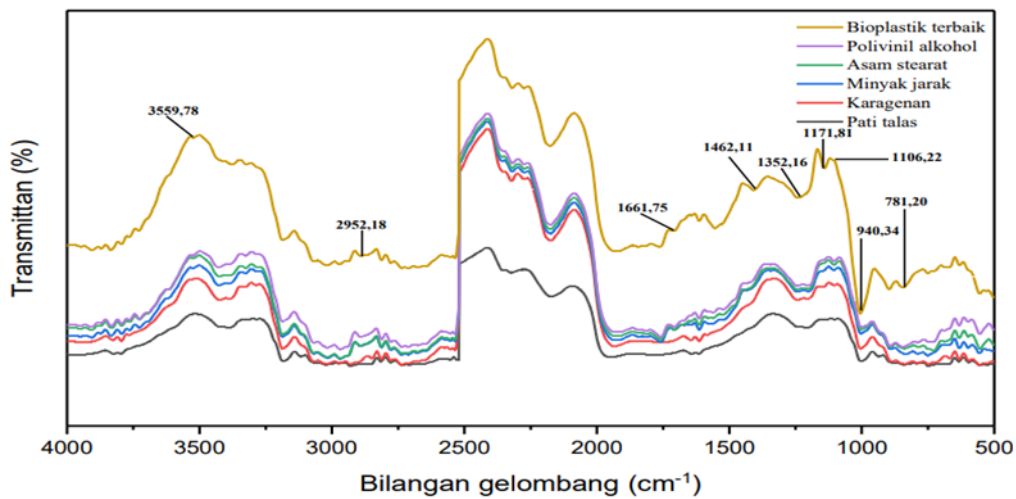
Penentuan perlakuan terbaik dilakukan berdasarkan standar-standar yang digunakan pada setiap variabel terkait yang diamati, bioplastik yang paling banyak

memenuhi standar merupakan bioplastik dengan perlakuan terbaik. Perlakuan terbaik pada penelitian ini adalah dengan menggunakan pemlastis asam stearat dengan konsentrasi 0,5 g dan konsentrasi penguat PVA 15 g dengan nilai kuat tarik $6,16 \pm 0,01$ MPa ; perpanjangan saat putus yaitu $4,97 \pm 1,05\%$; elastisitas $126,76 \pm 27,04$ MPa ; pengembangan tebal yaitu $24,06 \pm 9,34\%$ dan lama waktu biodegradasi yaitu pada hari ke-6. Menghasilkan nilai elastisitas dan lama waktu biodegradasi yang telah memenuhi standar SNI 7188.7:2016 dan standar Internasional ASTM D638 untuk lama waktu biodegradasi.

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

Penentuan gugus fungsi dengan FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada bioplastik berdasarkan data serapan infra merah yang dihasilkan. Bioplastik yang di uji menggunakan FTIR adalah bioplastik dengan perlakuan terbaik yaitu perlakuan dengan menggunakan pemlastis asam stearat dengan konsentrasi 0,5 g dan konsentrasi penguat PVA 15 g, bahan pati umbi talas:karagenan (25:75 dari total bahan 6 g), asam stearat, dan polivinil alkohol. Gambar 3. menunjukkan hasil gugus fungsi yang terdiri dari bahan baku pembuatan bioplastik yaitu pati umbi talas, karagenan, bahan pemlastis yaitu minyak jarak dan asam stearat ,bahan penguat polivinil alkohol dan komposit bioplastik perlakuan terbaik dengan perlakuan terbaik.

Gambar 1. menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dari gugus fungsi komposit bioplastik dengan perlakuan terbaik dengan bahan penyusunnya. Hal tersebut membuktikan jika komposit bioplastik dengan perlakuan terbaik sudah bersifat kompatibel yang berarti gugus fungsi dari setiap bahan yang digunakan dapat saling berikatan dan membentuk komposit bioplastik yang kuat. Persamaan dan perbedaan gugus fungsi yang teridentifikasi pada bahan yang digunakan dengan komposit bioplastik terbaik dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 3. Hasil identifikasi gugus fungsi pada bahan penyusun serta komposit bioplastik dengan nilai terbaik

Tabel 6. Bilangan gelombang, daerah serapan dan gugus fungsi komposit bioplastik

Pati umbi talas	Bilangan gelombang				*Daerah serapan (cm ⁻¹)	Gugus fungsi	Tipe senyawa
	Karagenan	Asam stearat	PVA	Komposit bioplastik terbaik			
933,546	912,329	-	905,62	781,20; 940,34	675-995	C - H	Alkena
-	-	1100,44; 1298,15	1141,91; 1283,68	1106,22; 1171,81	1050-1300	C - O	Alkohol
-	1436,976	-	-	1352,16; 1462,11	1340-1470	C - H	Alkana
1676,141	1680,927	-	-	1661,75	1610-1680	C = C	Alkena
-	-	1707,08	1717,68	-	1690-1760	C = O	Keton
-	2162,202	2179,66	-	-	2100- 2260	C ≡ C	Alkuna
-	-	2651,27	2535,54	-	2500-2700	O - H	asam karboksilat
2891,295; 2956,874	2885,508	2946,39	-	2952,18	2850-2970	C - H	Alkana
3545,163	3522,018	-	3613,79	3559,78	3500-3650	O - H	Hidroksil

Sumber: Gable, 2014

Tabel 6. terlihat bahwa gugus fungsi pada komposit merupakan gabungan dari gugus fungsi spesifik yaitu gugus O - H yang terdapat pada bahan pati umbi talas, gugus C = C yang terdapat pada bahan karagenan, gugus C - H yang terdapat pada minyak jarak dan gugus C - O yang terdapat pada bahan penguat PVA. Berdasarkan standar Gable (2014), nilai daerah serapan komposit bioplastik perlakuan terbaik menunjukkan adanya serapan gugus alkena C - H, gugus alkohol C - O, gugus alkana C - H, gugus alkena C = C, gugus alkana C - H dan gugus hidroksil O - H. Hasil interpretasi gugus fungsi bahan penyusun bioplastik yang teridentifikasi, komposit bioplasti perlakuan terbaik ditemukan beberapa gugus yang hilang yaitu gugus keton, alkuna, asam karboksilat, alkana dan tidak ditemukan adanya gugus fungsi baru pada bioplastik terbaik. Tabel 6.

juga menunjukkan bahwa nilai daerah serapan penyusun bioplastik perlakuan terbaik umumnya menurun yang membuktikan bahwa komposit bioplastik yang dihasilkan bersifat kompatibel dengan bahan-bahan penyusunnya. Beberapa hasil gugus fungsi yang teridentifikasi terbentuk akibat adanya proses modifikasi pati atau bisa disebut dengan proses *grafting* (pencangkokan) yang terjadi akibat perubahan yang terjadi pada gugus fungsi (Suparwan et al., 2021). Pada gugus fungsi komposit bioplastik dengan bahan pati umbi talas, karagenan, dan selulosa asetat terdapat perbedaan dikarenakan adanya beberapa gugus fungsi yang hilang (Sinaga et al., 2014). Kesamaan terbanyak gugus fungsi dari setiap bahan yang digunakan dengan gugus fungsi bioplastik yaitu gugus fungsi alkohol C - O dan alkana C - H.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perlakuan konsentrasi jenis pemlastis dan konsentrasi penguat polivinil alkohol berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, pengembangan tebal, namun tidak berpengaruh nyata terhadap waktu biodegradasi komposit bioplastik pati talas:karagenan. Interaksi komposit bioplastik pada perlakuan konsentrasi jenis pemlastis dan bahan penguat berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tarik, perpanjangan saat putus dan elastisitas. Bioplastik dengan perlakuan terbaik adalah komposit bioplastik menggunakan pemlastis asam stearat dengan konsentrasi 0,5 g dan konsentrasi penguat PVA 15g dengan nilai kuat tarik $6,16 \pm 0,01$ MPa ; perpanjangan saat putus yaitu $4,97 \pm 1,05\%$; elastisitas $126,76 \pm 27,04$ MPa ; pengembangan tebal yaitu $24,06 \pm 9,34\%$ dan lama waktu biodegradasi pada hari ke-6. Gugus fungsi yang teridentifikasi pada bioplastik terbaik yaitu gugus alkena, alkohol, alkana, alkuna dan hidroksil. Pada komposit bioplastik perlakuan terbaik ditemukan beberapa gugus yang hilang yaitu gugus keton, alkuna, asam karboksilat, alkana dan tidak ditemukan adanya gugus fungsi baru pada bioplastik terbaik

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan formulasi baru dengan jenis pemlastis dan bahan penguat lainnya yang bersifat hidrofobik sehingga komposit bioplastik pati talas : karagenan dapat memenuhi Standar Nasional Indonesia dan Standar Internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Afdal, K., Herawati, N., & Hasri, H. (2022). Pengaruh konsentrasi sorbitol sebagai plasticizer pada pembuatan plastik biodegradable dari tongkol jagung. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 23(1), 67. <https://doi.org/10.35580/chemica.v23i1.33918>
- Agustin, Y., & Padmawijaya, K (2016). Pembuatan bioplastik berbahan dasar pati biji alpukat dan kitosan dengan plasticizer gliserol. *IO*, 40–48.
- Budiman, J., Nopianti, & Rodiana. (2018). Karakteristik bioplastik dari pati buah lindur (*Bruguiera gymnorrhiza*). *Jurnal Fishtech*, 7(1), 49–59. <https://doi.org/10.36706/fishtech.v7i1.5980>
- Fajri, G., Hasan, M., & Zulfadli. (2017). Pembuatan dan karakterisasi bioplastik dari kitosan, pati talas dan minyak jarak. *Jimpk*, 2(3), 211–219.
- Ginting, M. H. S., Utara, U. S., Sinaga (2014). Pengaruh variasi temperatur gelatinisasi pati terhadap sifat kekuatan tarik dan pemanjangan pada saat putus bioplastik pati umbi talas. *November*, 1–3.
- Hartiati, A., Harsojuwono, B. A., Suryanto, H., & Arnata, I. W. (2021). Synthesis of starch-carrageenan bio-thermoplastic composites on the type and concentration of thermoplastic forming materials as packaging materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 913(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/913/1/012030>
- Permana, E., Gusti, D. R., Tarigan, I. L., Andika, Y., & Nirwana, A. C. (2021). Sifat fisik bioplastik dari pati umbi gadung dan pelepah sawit. In *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* (Vol. 7, Issue 1, pp. 45–54). <https://doi.org/10.30738/jst.v7i1.9253>
- Pujawati, D., Hartiati, A., & Suwariani, N. P. (2021). Karakteristik komposit bioplastik pati ubi talas-karagenan pada variasi suhu dan waktu gelatinisasi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 277. <https://doi.org/10.24843/jrma.2021.v09.i03.p02>
- Putri, R. R. A., Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2021). Pengaruh jenis dan konsentrasi pemlastis terhadap karakteristik komposit bioplastik pati ubi talas belitung (*Xanthosoma sagittifolium*) - kitosan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 323. <https://doi.org/10.24843/jrma.2021.v09.i03.p06>
- Saputro, A. N. C., & Ovita, A. L. (2017). Synthesis and characterization of bioplastic from chitosan-ganyong starch (*Canna edulis*). *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(1), 13. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i1.8526>
- Sipayung, H., Hartiati, A., & Gunam, I. . (2022). Pengaruh konsentrasi bahan penguat terhadap karakteristik komposit bioplastik pati talas (*Xanthosoma sagittifolium*) dan kitosan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 10(1), 34. <https://doi.org/10.24843/jrma.2022.v10.i01.p04>
- Situmorang, F. U., Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2019). Pengaruh konsentrasi pati ubi talas (*Colocasia esculenta*) dan jenis plasticizer

-
- terhadap karakteristik bioplastik. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7(3), 457.
<https://doi.org/10.24843/jrma.2019.v07.i03.p13>
- Suparwan, Hartiati, A., & Suhendra, L. (2021). *Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Bahan Pengisi terhadap Karakteristik Komposit Bioplastik Pati Umbi Gadung-Karagenan*. 9(3), 312–322.
- Thu, S.L. (2015). *Modification of Cassava Starch for Biodegradable Plastics Preparation*. MRes Thesis. Department of Industrial Chemistry. September.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3067.9525>
- Wahyuningtiyas, N. E., & Suryanto, H. (2017). Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch. *I(1)*, 24–31.
<https://doi.org/10.17977/um016v1i12017p024>
- Wara, F. Y., Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2020). Karakteristik komposit bioplastik pada variasi perbandingan campuran pati gadung (*Dioscorea hispida Deenst.*) dan karagenan (*Carrageenan*). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 8(4), 484.
<https://doi.org/10.24843/jrma.2020.v08.i04.p01>
- Yanthi, N. K. V. P., & Amna Hartiati, A. A. P. A. S. W. (2022). Karakteristik komposit bioplastik pati umbi talas (*Colocasia esculenta*) dan karagenan pada variasi rasio bahan baku dan konsentrasi bahan penguat. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian*. 7, 128–137.
<https://doi.org/10.24843/JITPA.2022.v07.i0>