IV. PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Bioplastik

Salah satu kekurangan utama bioplastik kulit singkong adalah rapuh. Bioplastik berbahan pati memiliki sifat rapuh serta rentan terhadap daya tariknya dan penyerapan air yang berlebihan dan warnanya keruh, sehingga perlu dilakukan perubahan untuk meningkatkan kekuatan fisik dan mekanik bioplastik dan menghadirkan bioplastik yang bersifat hidrofobik (Warsiki dkk, 2020). Bioplastik adalah jenis kemasan yang terbuat dari bahan-bahan yang terbarukan (*renewable*). Plastik *biodegradable* merupakan salah satu jenis kemasan yang dapat terbuat dari bahan baku alami terbarukan maupun petrokimia tradisional dengan menggunakan bahan tambahan yang dapat mempercepat penguraiannya. Bioplastik berbasis kulit singkong ini bersifat *biodegradable* karena pada pembuatannya menggunakan bahan-bahan alami dan jenis *plasticizer* yang dapat terurai di alam. Plastik *biodegradable* dibuat menggunakan dominasi polisakarida seperti pati yang memiliki sifat biodegradable karena adanya kandungan amilosa dan amilopektin di dalamnya sangat cocok digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik (Maryam dkk, 2018). Kandungaan yang ada di dalam pati seperti amilosa dan amilopektin sangat mempengaruhi hasil pembuatan bioplastik. Amilosa merupakan fraksi terlarut yang ada dalam pati dan amilopektin merupakan fraksi yang tidak terlarut. Amilopektin mempengaruhi kestabilan bioplastik sedangkan amilosa mempengaruhi kekompakannya (Nisah, 2017).

Kulit singkong merupakan bahan yang cukup bagus untuk membuat bioplastik. Seperti yang disampaikan melalui Warsiki dkk (2020), bahwa kuat tarik dan elastisitas bioplastik yang berasal dari kulit singkong lebih tinggi dibandingkan dengan bioplastik yang berasal dari ampas singkong. Presentase kandungan amilosa dan amilopektin pada pati yang berasal dari kulit singkong adalah 15/73 (Anita dkk, 2013). Sedangkan presentase kandungan amilosa dan amilopektin pati singkong adalah 20/80 (Augustyn dkk, 2007). Kandungan amilosa pada pati kulit singkong lebih rendah dibandingkan dengan pati singkong. Sedangkan kandungan

amilopektin pada pati kulit singkong lebih tinggi dibandingkan dengan pati singkong. Bioplastik yang dibuat dari pati singkong memiliki daya tarik, tegangan, dan *modulus young* yang rendah serta bersifat hidrofilik. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya yang sangat penting untuk meningkatkan karakteristik plastik *biodegradable* dengan menggunakan berbagai jenis *plasticizer*.

4.2. Penyempurnaan Teknologi

Hasil review yang telah dilakukan mengenai karakteristik bioplastik pada Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin rendah daya serap air maka semakin bagus kualitas bioplastik tersebut. Komposisi terbaik untuk mendapatkan daya serap air yang rendah yaitu sebesar 7,1% pati singkong adalah dengan penambahan $CaCO_3$ dan gliserol. Dalam penelitian Syafri dkk (2017), penambahan $CaCO_3$ dapat meningkatkan kuat tarik komposit bioplastik yang dihasilkan dengan penambahan nilai optimal sebesar 4%. Kuat tarik dan modulus elastisitas yang dihasilkanmasing-masing adalah 3,38 MPa dan 465,15 MPa. Dalam uji kelembaban menunjukkan bahwa properti tersebut bersifat hidrofilik meskipun penyerapan airnya berkurang dari 70,59% menjadi 53,33% setelah penambahan 10% PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*).

Besarnya nilai daya serap air pada bioplastik karena bahan yang digunakan dalam pembuatan bioplastik seperti pati atau selulosa memiliki molekul hydrogen yang bersifat hidrofilik sehingga air akan mudah masuk. Sifat dasar amilopektin yang terdapat pada pati memiliki rantai cabang yang banyak sehingga sifatnya yang *amorf* memungkinkan adanya ruang kosong dan rapat massa antar rantai pada pati kulit singkong tersebut tidak terlalu besar sehingga ketahanan airnya rendah (Budianto dkk, 2019). Terdapat gabungan gugus fungsi spesifik pada plastik *biodegradable* yang terbentuk karena proses modifikasi pati dimana terjadi penambahan letak gugus fungsi yang disebut dengan *grafting*. Gugus OH- terputus lalu posisinya terganti dengan gugus gliserol dan kitosan (Suryati dkk, 2016).

Metode *grafting* dapat digunakan untuk memodifikasi pati untuk mengurangi sifat hidrofilik pada bioplastik (dari 100 % ke 25%) (Suryati dkk, 2016). Selain itu

menurut Budianto (2019), menggunakan selulosa yang berasal dari kulit kacang tanah sebagai campuran dalam pembuatan bioplastik pati kulit singkong dapat meningkatkan kekuatan bioplastik dan mengencangkan ikatan sehingga tidak mudah sobek. Plastik *biodegradable* yang dibuat dari pati memiliki ketahanan air yang rendah, sehingga sangat penting untuk menambahkan selulosa untuk meningkatkan bagian ketahanan air. Penambahan selulosa berpengaruh dalam menambah ketahanan air dari bioplastik. Penggunaan selulosa kulit kacang tanah memiliki nilai ketahanan air sebesar 84,09% dan lama biodegradasi 8 hari. Namun, penambahan selulosa tidak lebih baik dengan penggunaan $CaCO_3$ dan gliserol.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Harsojuwono dkk (2019), dengan penambahan *konjac glucomannan* dalam pembuatan bioplastik pati singkong dimana terjadi peningkatan kuat tarik di awal namun setelah mencapai rasio optimal kuat tarik menurun. Hal itu sesuai dengan penelitian Jian dkk (2016) bahwa peningkatan glukomanan yang digunakan dapat melemahkan kekuatan gel dari komposit bioplastik. Sedangkan menurut Aftaningsih dkk (2020), pati bonggol pisang dapat digunakan sebagai alternatif dalam pembuatan campuran pembuatan bioplastik pati kulit singkong karena sifatnya yang mempengaruhi nilai kuat tarik, tingkat degradasi, dan elongasi bioplastik.

Pada komposisi pembuatan bioplastik lain yang dilakukan oleh Harsojuwono dkk (2014), menggunakan bahan baku 6% pati singkong dengan penambahan asam asetat 25%, dan gliserol memiliki nilai tertinggi modulus young sebesar 6629,47 MPa dan juga modulus elastisitas tertinggi sebesar 1057,40 MPa. Nilai modulus young dan modulus elastisitas menunjukkan kemuluran bioplastik, semakin besar nilai tersebut maka semakin baik karakteristik bioplastik. Penambahan gliserol pada komposisi bioplastik mempengaruhi nilai modulus young dan modulus elastisitas karena gliserol dapat meningkatkan elastisitas bioplastik.

Karakteristik plastik berbahan dasar pati dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis dan konsentrasi pati (Harsojuwono dkk, 2017), jenis dan konsentrasi *plasticizer* (Harsojuwono dkk, 2017), suhu dan pencampuran dalam pembentukan

gel, suhu dan waktu pengeringan dan faktor lainnya. Suhu gelatinisasi pati berkisar antara 59°C-69°C (Riza dkk, 2020). Selain pengaruh suhu, pH juga mempengaruhi pembuatan bioplastik. Pembentukan gel pada pembuatan bioplastik dipengaruhi oleh pH dimana nilai optimumnya adalah 4-7. Apabila pH terlalu tinggi, pembentukan gel akan sangat cepat tercapai namun akan cepat menurun dan apabila pH terlalu rendah pembentukan gel akan lambat dan viskositas menurun seiring lamanya waktu pemanasan (Putra dkk, 2019).

Peningkatan karakteristik yang paling difokuskan pada penelitian berbasis review ini adalah kuat tarik dan elongasi bioplastik yang dapat dilihat pada Tabel 4. Kuat tarik bioplastik kulit singkong dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan tambahan berupa *plasticizer*. *Plasticizer* adalah bahan yang mempunyai sifat nonvolatil dimana berat molekulnya yang rendah dan titik didihnya tergolong tinggi sehingga dapat mengubah properti bahan (Jaramillo dkk, 2016). Penambahan *plasticizer* dapat melemahkan ikatan antarmolekul sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas properti. Namun, penambahan *plasticizer* seringkali saling bertolak belakang satu sama lain contohnya penambahan gliserol dan kitosan dapat meningkatkan kuat tarik bioplastik namun menurunkan elongasi bioplastik tersebut.

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh produk bioplastik dengan komposisi 6% pati singkong dengan penambahan gliserol dan asam asetat 25% yaitu sebesar 1057 MPa. Nilai elongasi tertinggi mencapai 85% ada pada komposisi 5% pati kulit singkong dengan penambahan gliserol sebanyak 1,5% dan *kaffir lime essential oil* (*EO*) sebanyak 0,5% dan asam sitrat 0,7%. Sedangkan elastisitas tertinggi yaitu sebesar 8,744 MPa dengan komposisi 4% pati kulit singkong dan penambahan asam asetat (CH_3COOH) sebanyak 1% dan gliserol sebanyak 1,5%.

Gliserol, sorbitol, dan kitosan sangat umum digunakan sebagai *plasticizer* dalam pembuatan bioplastik dengan fungsinya masing-masing untuk meningkatkan sifat bioplastik. Seperti yang dikemukakan oleh Hidayat dkk (2015), *plasticizer* seperti

gliserol dan sorbitol dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan mekanik bioplastik. Penambahan *plasticizer* yang meliputi gliserol, sorbitol, kitosan, dan limonen tidak memiliki batasan karena bahan tersebut aman dikonsumsi dan tidak beracun. Namun, penambahan aditif yang tidak moderat dapat mempengaruhi sifat-sifat bioplastik berikutnya yang meliputi kuat tarik, pemanjangan, dan transparansi bioplastik. Penambahan bahan penguat yang tidak tepat dapat mengurangi pemanjangan karena jika struktur bioplastik terlalu kokoh akan menjadi kaku dan sulit untuk ditarik. Seperti yang dikemukakan oleh Aripin dkk (2017), bahwa dengan meningkatnya penguat yang digunakan, kekuatan tarik meningkat dan perpanjangan berkurang.

Penambahan kitosan + gliserol menghasilkan daya yang seimbang karena semakin banyak kitosan, semakin besar ikatan hidrogen yang ada di dalam bioplastik sehingga ikatan kimia dapat lebih kuat dan lebih sulit untuk diputuskan sehingga bioplastik dapat menjadi lebih homogen dan strukturnya bisa lebih rapat dan kuat tariknya akan lebih besar. Kuat tarik bioplastik akan berkurang karena penambahan *plasticizer* dapat mengurangi ikatan glikositik antar polimer sehingga bioplastik yang dibentuk menjadi lentur dan tidak kaku (Nafilah & Endaruji, 2019).

Selulosa dapat digunakan sebagai bahan penguat bioplastik karena mampu meningkatkan daya mekanik bioplastik. Penambahan selulosa dapat meningkatkan kuat tarik karena adanya peningkatan pada interaksi gaya tarik menarik antar molekul yang membentuk lapisan tipis (Suryati dkk, 2016). Nilai kuat tarik berbanding terbalik dengan perpanjangan (Nurrahmi dkk, 2020). Sesuai dengan Nurrahmi dkk (2020), gliserol dapat meningkatkan kelenturan bioplastik, semakin banyak gliserol yang digunakan dapat meningkatkan pemanjangan namun terjadi penurunan gaya antarmolekul di sepanjang rantai polimer dalam bioplastik seiring dengan penambahan *plasticizer* yang digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas (Suryati dkk, 2016).

Nanosilika sekam padi juga dapat digunakan sebagai *plasticizer* untuk meningkatkan kuat Tarik seperti yang ada pada penelitian Warsiki dkk (2020),

bahwa terjadi peningkatan kuat tarik sebesar 1,6 MPa menjadi 3,5 MPa. Namun kelemahan dari penggunaan nanosilika sekam padi tersebut dapat menyebabkan terjadinya aglomerasi (penggumpalan) saat proses pembuatan plastik *biodegradable* tersebut. Bila dibandingkan dengan plastik konvensional seperti LDPE, plastik *biodegradable* masih memiliki kelemahan.

Berikut merupakan tabel tentang perbandingan karakteristik plastik konvensional dan bioplastik.

Tabel 7. Perbandingan Karakteristik Plastik Konvensional Dan Bioplastik

Kuat Tarik	Plastik LDPE	Bioplastik
Daya Serap Air	-	16%-27,23% (Amni dkk, 2015)
Ketahanan terhadap panas	83 C – 98 C (BPOM)	100C (Nurviantika dkk, 2015)
Biodegradasi	Paling cepat alam 28 hari hanya 4,41% dapat terdegradasi oleh bantuan bakteri Aspergillus niger .	2-14 hari
Elongasi / Modulus Young	166 MPa	54,328 MPa

(Darni & Herti, 2010)

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa kelemahan bioplastik dibandingkan dengan plastik LDPE adalah dari segi kuat tarik, daya serap air, dan elongasi bioplastik. Daya serap bioplastik yang terbuat dari pati ubi kayu berkisar antara 16%-27,23% (Amni dkk, 2015).

Selain kuat tarik dan elongasi, aspek transparansi plastik *biodegradable* juga perlu diperhatikan. Plastik *biodegradable* umumnya berwarna keruh dan gelap. Tingkat kecerahan bioplastik dapat dipengaruhi oleh bahan yang digunakan. Warna yang gelap dapat disebabkan karena adanya komponen lain dalam bahan pembuatan bioplastik seperti lemak, protein, dan serat (Tapia-Blacido, 2008 ; Pulungan dkk, 2018).

Penambahan limonen dapat meningkatkan kecerahan dan kehalusan bioplastik. Penambahan 1 ml limonen membuat bioplastik yang dihasilkan lebih jernih dan teksturnya halus. Sebanyak 15% (v/v) senyawa limonen yang ditambahkan memiliki karakteristik tidak berwarna dan menjadikan bioplastik memiliki daya tarik yang lebih kuat berkisar 7,50 $Kgfm^{-2}$, ketebalan plastik yang relatif tipis yaitu 0,100 mm derajat kejernihannya meningkat sebesar 75%, dan elastisitasnya meningkat sampai 80% (Nurviantika dkk, 2015).

4.3. Kecepatan Biodegradasi Bioplastik

Kecepatan biodegradasi bioplastik dapat dilihat pada Tabel 5. Kecepatan biodegradasi bioplastik tercepat adalah selama 2 hari. Namun, hal tersebut terjadi karena faktor lain seperti lingkungan contohnya penggunaan EM4 (*Effective Microorganism*) yang mengandung *inoculum Lactobacillus*, *Streptomycetes*, dan *Actinomycetes* (Pulungan dkk, 2018). Bakteri tersebut akan memproduksi asam laktat dalam proses degradasi untuk mempercepat fermentasi bahan organic tersebut. Keadaan lingkungan yang sangat lembab juga dapat mempercepat biodegradasi bioplastik. Menurut Anita dkk (2013), beberapa faktor yang mempengaruhi biodegradasi bioplastik adalah berat molekul bahan kemasan dan morfologinya, struktur polimer, sifat hidrofobik, proses produksi, dan bahan aditif yang digunakan. Kecepatan biodegradasi normal pada bioplastik berkisar antara 7-14 hari.

Penambahan gliserol pada pembuatan bioplastik memiliki kecepatan biodegradasi selama 14 hari dan pada penambahan sorbitol lebih cepat yaitu 8 hari. Penambahan gliserol dan sorbitol merupakan suatu pemlastis yang cukup efektif dan bersifat hidrofilik sehingga akan mudah terdegradasi karena kemampuannya dalam mengurangi ikatan hidrogen internal yang ada pada ikatan intramolekul bioplastik (Nafilah & Endaruji, 2019). Terjadi interaksi saat penambahan sorbitol dan gliserol dimana zat tersebut menyisip serta menghilangkan ikatan hidrogen yang ada diantara molekul polisakarida sehingga ikatan antar molekul yang terbentuk pada bioplastik akan semakin melemah (Nafilah & Endaruji, 2019).

4.3. Fungsi Zat Aditif

Setiap bahan aditif memiliki fungsi yang berbeda-beda. Gliserin, kitosan, *kafir lime EO* dapat digunakan sebagai antimikroba. Limonen dan gliserin dapat memberi sifat jernih dan transparan pada bioplastik. Dan bahan lainnya dapat digunakan sebagai penguat dan peningkat karakteristik bioplastik seperti kuat tarik, elongasi, elastisitas, dll. Senyawa yang dapat digunakan sebagai plasticizer adalah yang memiliki sifat yang tidak mudah berimigrasi dengan polimer, tidak mudah menguap, dan tidak beracun. Selain itu, waktu dan kecepatan pencampuran *plasticizer* dengan polimer cenderung cepat, dan kemampuan plasticizer yang dapat didaur ulang adalah kelebihan dari *plasticizer* (Cooper dkk, 2009).

Sejalan dengan Nurrahmi dkk (2020), penambahan gliserol dapat meningkatkan kelenturan bioplastik, mengurangi kuat tarik, mempercepat waktu degradasi, dan mengurangi ketahanan air bioplastik. Kehadiran gugus ester dan karboksil dalam analisa gugus fungsi yang bertujuan untuk menunjukkan bahwa plastik tersebut dapat terurai secara alami (Septiosari dkk, 2014). Kitosan bertindak sebagai pengawet dalam bioplastik. Kandungan kitosan tidak beracun, antibakteri sehingga dapat berfungsi sebagai pengawet dan antimikroba. Kitosan dapat mengurangi kelembaban plastik karena tidak larut dalam air. Makromolekul ini dapat diperoleh dari serangga, udang, kepiting, dan kerang.

Menurut Nurrahmi dkk (2020), kitosan dapat meningkatkan kuat tarik tetapi menurunkan elongasi bersamaan dengan penambahan gliserol dapat mengurangi kuat tarik dan meningkatkan elongasi, sehingga penambahan *plasticizer* bersama dengan $CaCO_3$ dan gliserol dapat mengatasi permasalahan yang ada dalam bioplastik. $CaCO_3$ dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan bioplastik (Abidin dkk, 2021). Penambahan kalsium karbonat ($CaCO_3$) dapat meningkatkan keseimbangan termal dan sifat mekanik biokomposit. $CaCO_3$ dapat meningkatkan daya tarik, modulus, dan elongasi. penggunaan nanopartikel $CaCO_3$ telah terbukti meningkatkan sifat mekanik, termal, dan reologi.

Penambahan gliserol dan sorbitol dapat digunakan untuk memperbaiki sifat mekanik bioplastik karena potensinya untuk mengurangi ikatan hidrogen yang ada dalam ikatan intramolekul bioplastik dan menjadikannya elastis, tahan terhadap air dan sifatnya yang fleksibel (Nafilah dkk, 2019). Manfaat penggunaan sorbitol dan gliserol dapat mengoreksi kekurangan bioplastik, terutama meningkatkan kekuatan, kehalusan, dan lebih fleksibel (Lazuardi dkk, 2013; Nafilah dkk, 2019).

Sorbitol dapat menghambat penguapan air di dalam produk karena *plasticizer* dapat mengurangi ikatan hidrogen internal yang ada di dalam ikatan antarmolekul. Selain itu juga dapat larut pada setiap rantai polimer sehingga memungkinkan terjadinya pergerakan molekul polimer, jumlah ketersediaannya banyak, tidak beracun, harganya murah, dan permeabilitasnya terhadap O_2 rendah (Sudiarti dkk, 2013). Hal itu ditambahkan dengan pernyataan Supeni dkk (2015) bahwa kitosan memiliki karakteristik sebagai antimikroba sehingga membuktikan bahwa pengguaan *plasticizer* sangat berguna dalam meningkatkan karakteristik bioplastik.

Ada juga bahan aditif yang digunakan untuk menunjang kelancaran proses pembuatan bioplastik diantaranya adalah penggunaan bedak talek. Bedak adalah salah satu jenis mineral yang secara alami ditemukan di alam. Ini adalah suatu pelumas yang dapat digunakan dalam pekerjaan ini. Bedak talek digunakan untuk memudahkan aliran campuran dalam ekstruder (Ezeoha, SL dan Ezenwanne, JN. 2013). Selain itu terdapat juga penggunaan *brazilian prospolis* mengandung antioksidan yang cukup tinggi dan dapat menghambat pertumbuhan bibit penyakit yang berasal dari *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhimirium*. Namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut apakah penggunaan brazilian propolis sebagai bahan pengemas makanan dapat mempengaruhi rasa makanan itu sendiri atau tidak (Bertotto dkk, 2022).

Selain bahan yang digunakan, suhu yang digunakan dalam proses pembuatan bioplastik juga mempengaruhi karekteristik bioplastik. Temperatur yang baik akan menghasilkan hasil plastik yang bagus saat terjadi polimerisasi campuran (Nafilah

dkk, 2019). Sifatnya mudah rusak, elastis, *translucent*. Suhu pengeringan bioplastik berkisar antara 70-75 C.