

Studi Variasi Konsentrasi Asam Stearat dan Amonium Molibdat terhadap Karakteristik Fisik Kemasan Cerdas Bioplastik

Study of Variations in Concentration of Stearic Acid and Amonium Molybdate on Physical Characteristics of Bioplastic Smart Packaging

Ni Putu Ayu Prya Chandani, Ni Luh Yulianti*, Yohanes Setiyo

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

*email: yulianti@unud.ac.id

Abstrak

Kemasan cerdas merupakan kemasan yang memiliki kemampuan untuk memberikan informasi tentang mutu produk yang dikemas secara langsung dengan memanfaatkan sejumlah senyawa yang berperan sebagai indikator mutu produk yang dikemas, sehingga penelitian tentang kemasan cerdas layak untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh konsentrasi asam stearat dan amonium molibdat terhadap karakteristik fisik kemasan cerdas bioplastik; menentukan perlakuan yang menghasilkan karakteristik fisik kemasan cerdas bioplastik terbaik sesuai SNI serta mendapatkan respon indikator kemasan cerdas bioplastik terhadap tingkat kematangan buah alpukat. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dua faktor. Faktor pertama adalah konsentrasi asam stearat yang terdiri dari 3 taraf, yaitu 0,4%, 0,5% dan 0,6%. Faktor kedua adalah konsentrasi amonium molibdat yang terdiri dari 3 taraf, yaitu 1g, 2g dan 3g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antar perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter pemanjangan, kuat tarik, penyerapan air, ketebalan dan elastisitas. Perlakuan terbaik diperoleh pada penggunaan konsentrasi asam stearat 0,4% dan amonium molibdat 1g yang menghasilkan nilai kuat tarik sebesar 13,85 MPa, nilai pemanjangan sebesar 3,60%, nilai elastisitas sebesar 384,93 MPa, nilai penyerapan air sebesar 0,81% dan nilai ketebalan bioplastik sebesar 0,23 mm. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu perlakuan konsentrasi asam stearat 0,4% dan amonium molibdat 1g merupakan perlakuan terbaik yang mampu memberikan respon terhadap tingkat kematangan buah alpukat berupa perubahan warna kemasan yang dihasilkan.

Kata kunci: *asam stearat, amonium molibdat, karakteristik fisik, kemasan cerdas bioplastik*

Abstract

Smart packaging is packaging that has the ability to provide information about the quality of packaged products directly by utilizing a number of compounds that act as indicators of the quality of the packaged product, so that research on smart packaging is feasible. This study was conducted to obtain the influence of stearic acid concentrations and ammonium molybdate on the physical characteristics of bioplastic smart packaging; determine the treatment that produces the physical characteristics of the best bioplastic smart packaging according to SNI and get the response of bioplastic smart packaging indicators to the maturity level of avocado fruit. This study used a two-factor Randomized Group Design. The first factor is the stearic acid concentration which consists of 3 levels, specifically 0.4%, 0.5% and 0.6%. The second factor is the concentration of ammonium molybdate which consists of 3 levels, specifically 1g, 2g and 3g. The results showed that the interaction between treatments had a significant influence on the parameters of elongation, tensile strength, swelling, thickness and elasticity. The best treatment was obtained in the use of stearic acid concentration of 0.4% and 1g of ammonium molybdate which resulted in a tensile strength value of 13.85 MPa, elongation value of 3.60%, an elasticity value of 384.93 MPa, a swelling value of 0.81% and a bioplastic thickness value of 0.23 mm. The conclusion of this study is that the treatment of stearic acid concentration of 0.4% and 1g of ammonium molybdate is the best treatment that is able to respond to the maturity level of avocado fruits in the form of a change in the color of the resulting packaging.

Keywords: *ammonium molybdate, bioplastic smart packaging, physical characteristics, stearic acid*

PENDAHULUAN

Kemasan merupakan suatu hal yang penting bagi produk pangan karena berfungsi sebagai pelindung sekaligus alat promosi untuk menarik minat

konsumen agar memilih dan membeli produk yang bersangkutan (Susetyarsi, 2012). Salah satu bahan kemasan yang banyak digunakan adalah plastik. Plastik adalah polimer yang disintesis dari bahan baku minyak bumi yang jumlahnya terbatas dan tidak

terbarukan (Aripin et al., 2017). Menurut Melani et al. (2017), sebanyak satu triliun plastik digunakan dunia dalam kurun waktu satu tahun. Sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton/tahun, dimana 3,2 juta ton diantaranya merupakan sampah plastik yang dibuang ke laut. Walaupun plastik bersifat praktis dan ekonomis, penggunaan plastik dapat menimbulkan limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan hidup dan komponen di dalamnya. Plastik konvensional membutuhkan waktu 500 hingga 1.000 tahun agar dapat terurai dengan sempurna oleh tanah. Saat terurai pun partikel sampah plastik akan mencemari tanah dan jika dibakar akan menghasilkan asap beracun yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Guna mengatasi masalah ini, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan bioplastik sebagai pengganti plastik konvensional.

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya alam yang berlimpah sehingga, berpotensi besar sebagai pusat pengembangan bioplastik (Permana et al., 2021). Bioplastik berasal dari bahan-bahan yang didapat dari alam dan memiliki sifat mudah terurai oleh aktivitas mikroorganisme serta setelah habis digunakan tidak meninggalkan sisa yang beracun (Suryati et al., 2017). Penelitian tentang pembuatan bioplastik sudah banyak dilakukan, namun bioplastik yang dihasilkan belum memenuhi SNI. Bahan baku yang didapat dari alam dan berpotensi untuk dijadikan bioplastik adalah pati (Harsojuwono dan Arnata, 2015). Pati memiliki sifat mudah terdegradasi dalam tanah, murah, tidak beracun dan ketersediannya berlimpah. Bioplastik berbasis pati umumnya memanfaatkan pati singkong sebagai bahan baku. Kelemahan dari bioplastik berbasis pati adalah stabilitas air yang rendah, sensitivitas kelembaban yang tinggi dan bersifat rapuh pada suhu kamar. Upaya peningkatan sifat bioplastik berbasis pati salah satunya adalah dengan penambahan bahan tambahan seperti karagenan. Karagenan digunakan pada makanan sebagai bahan pengental, pembuatan gel dan emulsifikasi. Keunggulan karagenan adalah dapat meningkatkan keseragaman struktur produk, tahan terhadap gas karbondioksida, oksigen dan lipid, memiliki sifat mekanik yang diinginkan, dapat membentuk gel dalam air serta menghasilkan produk yang paling kuat (Makmur et al., 2021).

Penelitian terdahulu dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi pati ubi talas belitung dan karagenan mendapatkan perbandingan konsentrasi terbaik yaitu 1,5g:4,5g (pati : karagenan) (Aritonang et al., 2020). Namun, nilai karakteristik fisik bioplastik pada penelitian tersebut belum memenuhi SNI, sehingga diperlukan bahan polimer lain untuk memperbaiki sifat bioplastik. Menurut Syamani et al.

(2020), penambahan PVA (polivinil alkohol) sebanyak 25% dari total bahan baku dapat menghasilkan bioplastik dengan kekuatan tarik lebih tinggi. Selain meningkatkan nilai kuat tarik, PVA juga berfungsi untuk meningkatkan nilai elongasi dan *swelling* bioplastik (Purnavita & Dewi, 2021). Berdasarkan hasil penelitian Aritonang et al. (2020), bioplastik berbahan baku pati-karagenan memiliki nilai penyerapan air (*swelling*) yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu komponen yang memiliki sifat hidrofobik (tidak suka air) untuk menekan nilai penyerapan air bioplastik. Bahan yang bersifat hidrofobik dan dapat digunakan sebagai *plasticizer* adalah asam stearat. Putri et al. (2021) menyatakan bahwa asam stearat dengan konsentrasi 0,5% memberikan karakteristik fisik bioplastik terbaik. Sedangkan penelitian Haloho et al. (2021) menyatakan bahwa konsentrasi asam stearat 0,4% menghasilkan karakteristik fisik bioplastik terbaik. Kedua penelitian ini mengacu pada bahan baku yang berbeda, sehingga penelitian mengenai konsentrasi asam stearat dalam pembuatan kemasan cerdas bioplastik berbahan baku pati dan karagenan perlu dilakukan.

Inovasi yang saat ini juga sedang gencar dikembangkan di bidang pengemasan makanan adalah teknologi kemasan cerdas. Senyawa yang dapat dijadikan sebagai bahan kemasan cerdas adalah amonium molibdat sebagai indikator warna. Perubahan warna yang ditampilkan oleh amonium molibdat dipengaruhi oleh sejumlah gas etilen yang diproduksi oleh buah yang dikemas. Jumlah kandungan gas etilen dapat mempengaruhi mutu buah. Azrita et al. (2019) dan Iskandar et al. (2020) menyatakan bahwa penggunaan amonium molibdat cukup efektif sebagai indikator perubahan mutu produk. Namun, masing-masing hasil penelitian tersebut mengacu pada konsentrasi yang berbeda. Berdasarkan hal tersebut di atas belum banyak dijumpai informasi tentang konsentrasi amonium molibdat yang paling baik khususnya pada film bioplastik berbahan baku pati-karagenan. Tujuan dilakukan penelitian ini ialah untuk memperoleh pengaruh konsentrasi asam stearat dan amonium molibdat terhadap karakteristik fisik kemasan cerdas bioplastik dan menentukan perlakuan yang menghasilkan kemasan cerdas bioplastik dengan karakteristik fisik terbaik sesuai SNI serta mendapatkan respon indikator kemasan cerdas bioplastik terhadap tingkat kematangan buah alpukat.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dilaksanakan penelitian ini yaitu di Laboratorium Biokimia Proses dan Nutrisi,

Bioindustri dan Lingkungan serta Teknik Pasca Panen, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2022 hingga bulan Agustus 2022.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini, yaitu timbangan analitik (Pioneertm), *hot plate* (Jp. Selecta), *magnetic stirrer*, *thermometer*, gelas ukur 100 ml (Iwakicte33), pipet tetes (pipet tetes plastik 5 ml), *beaker glass* 100 dan 250 ml (Iwakitg32 Pyrex), talenan, penggaris, *cutter*, gunting, oven (Ecocell MMM Medcenter Einrichtungen GmbH), teflon berdiameter 20 cm (Ikea Kavalkad 20 cm), alat uji tarik TA XT Plus serta *micrometer scrup* (ketelitian 0,01 mm). Bahan yang digunakan adalah pati singkong yang diperoleh dari Gavin Grosir Sukabumi, kappa karagenan, polivinil alkohol (PVA) dan asam stearat yang diperoleh dari Planet Kimia Depok, amonium molibdat ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O), akuades, asam asetat/asam cuka (CH₃COOH) 1% yang diperoleh dari Saba Kimia dan buah alpukat yang diperoleh dari Pasar Badung.

Tahapan Penelitian

Pembuatan larutan indikator warna

Larutan indikator warna dibuat dengan melarutkan amonium molibdat ((NH₄)₆Mo₇HO_{24.4}H₂O) (1 g, 2 g dan 3 g) ke dalam 10 ml asam asetat 1%, kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* sampai larut sempurna.

Pembuatan film kemasan cerdas

Pembuatan film kemasan cerdas mengacu pada penelitian Iskandar et al. (2020); Wara et al. (2020) yang telah dimodifikasi. Pembuatan kemasan diawali dengan penimbangan bahan. Pati-karagenan dengan rasio 1,5:4,5 (Aritonang et al., 2020), PVA sebanyak 1,5 g (Syamani et al., 2020), asam stearat sesuai perlakuan (0,4%, 0,5%, 0,6%), larutan indikator warna sebanyak 4 g dan asam asetat 1% sehingga total berat bahan menjadi 100 g. Selanjutnya, pati dimasukkan ke dalam gelas beaker 1, karagenan ke gelas beaker 2 dan asam stearat ke gelas beaker 3. Asam stearat padat dipanaskan dengan *hotplate* hingga mencair. Disaat yang bersamaan, asam asetat 1% dituang ke gelas beaker 1 dan 2 yang berisi pati dan karagenan dengan perbandingan 25% ke gelas beaker pati dan 75% ke gelas beaker karagenan, lalu diaduk menggunakan batang pengaduk hingga homogen. Setelah kedua larutan tersebut homogen, masukkan larutan pati, PVA dan larutan indikator warna ke dalam gelas beaker yang berisi larutan karagenan, kemudian diaduk hingga tercampur rata. Saat asam stearat sudah mencair, masukkan campuran pati-karagenan, PVA dan larutan indikator

warna tersebut ke dalam gelas beaker asam stearat cair, kemudian diaduk dengan suhu 70±1°C selama 6 menit hingga membentuk gel. Kemudian gel dicetak dengan teflon dan dikeringkan pada oven selama 19 jam dengan suhu 40±1°C. Teflon kemudian diangkat dan didinginkan pada suhu ruang hingga film dapat dilepaskan dari teflon.

Rancangan percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dua faktor. Faktor pertama adalah konsentrasi *plasticizer* asam stearat (P), yaitu 0,4% (P1), 0,5% (P2) dan 0,6% (P3). Faktor kedua adalah konsentrasi amonium molibdat (A), yaitu 1g (A1), 2g (A2) dan 3g (A3). Seluruh perlakuan diulang sebanyak 2 kali sehingga akan didapatkan 18 unit percobaan. Apabila terdapat pengaruh signifikan, dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Adapun kombinasi perlakuannya adalah sebagai berikut:

P1A1 : *Plasticizer* asam stearat 0,4%, amonium molibdat 1 g

P1A2 : *Plasticizer* asam stearat 0,4%, amonium molibdat 2 g

P1A3 : *Plasticizer* asam stearat 0,4%, amonium molibdat 3 g

P2A1 : *Plasticizer* asam stearat 0,5%, amonium molibdat 1 g

P2A2 : *Plasticizer* asam stearat 0,5%, amonium molibdat 2 g

P2A3 : *Plasticizer* asam stearat 0,5%, amonium molibdat 3 g

P3A1 : *Plasticizer* asam stearat 0,6%, amonium molibdat 1 g

P3A2 : *Plasticizer* asam stearat 0,6%, amonium molibdat 2 g

P3A3 : *Plasticizer* asam stearat 0,6%, amonium molibdat 3 g

Parameter Penelitian

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian ini menggunakan alat uji TA XT Plus dan nilainya dihitung dengan persamaan berikut (Putra et al., 2019):

$$\text{Kuat Tarik (MPa)} = \frac{F}{A_0} \quad [1]$$

Keterangan:

F : Beban saat putus (N)

A₀ : Luas penampang awal (m²)

Pemanjangan (*Elongation*)

Nilai ini dapat dilihat dari perubahan panjang pada sampel dan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut (Putra et al., 2019):

$$\text{Pemanjangan (\%)} = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad [2]$$

Keterangan:

Δl : Selisih panjang (panjang akhir – panjang mula-mula) (cm)

l_0 : Panjang mula-mula (cm)

Elastisitas (*Modulus Young*)

Menggunakan perbandingan antara kuat tarik dan pemanjangan. Persamaannya adalah sebagai berikut (Nurhabibah & Kusumaningrum, 2021):

$$\text{Elastisitas (MPa)} = \frac{F \cdot l_0}{A_0 \cdot \Delta l} \quad [3]$$

Penyerapan Air (*Swelling*)

Bioplastik dipotong dengan ukuran 1 x 1 cm, kemudian ditimbang berat sampel bioplastik awal (W_0). Sampel bioplastik direndam pada 10 ml akuades selama 5 menit. Setelah 5 menit bioplastik diangkat dan dikeringkan, lalu ditimbang berat akhirnya (W) (Farah, 2021)

$$\text{Penyerapan air (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \quad [4]$$

Ketebalan (*Thickness*)

Nilai ketebalan bioplastik didapatkan dengan rumus berikut (Nurhabibah & Kusumaningrum, 2021):

$$\text{Ketebalan (mm)} = \frac{\text{titik (1 + 2 + 3 + 4 + 5)}}{5} \quad [5]$$

Perubahan Warna Kemasan Cerdas Bioplastik

Film dengan karakteristik fisik terbaik dipotong (3 cm x 3 cm), kemudian ditempelkan pada permukaan buah alpukat. Selanjutnya buah alpukat dan film cerdas bioplastik dikemas dengan plastik wrap. Perubahan warna indikator dikuantifikasi dengan *color meter* untuk mendapatkan nilai L^* , a^* , b^* selama 10 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kemasan Cerdas Bioplastik

Penelitian ini menghasilkan kemasan cerdas bioplastik berupa lembaran berwarna biru yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kemasan cerdas bioplastik hasil penelitian

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Berdasarkan hasil analisis ragam, interaksi perlakuan konsentrasi asam stearat dan amonium molibdat berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap kuat tarik kemasan cerdas bioplastik. Nilai kuat tarik kemasan cerdas bioplastik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai kuat tarik (MPa) kemasan cerdas bioplastik

| Perlakuan Konsentrasi Plasticizer Asam Stearat (P) | Perlakuan Konsentrasi Amonium Molibdat (A) | | |
|--|--|---------------------|--------------------|
| | A1 (1g) | A2 (2g) | A3 (3g) |
| P1 (0,4%) | 13,85 ^a | 6,25 ^{cde} | 5,95 ^{de} |
| P2 (0,5%) | 10,09 ^b | 6,29 ^{cde} | 5,10 ^{de} |
| P3 (0,6%) | 7,68 ^c | 7,08 ^{cd} | 4,48 ^e |

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$).

Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan P1A1 adalah perlakuan dengan nilai kuat tarik tertinggi yaitu sebesar 13,85 MPa dan setelah dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT), perlakuan P1A1 memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Perlakuan P3A3 menghasilkan nilai terendah yaitu sebesar 4,48 MPa yang berpengaruh tidak nyata dengan perlakuan 0,4%-0,5% asam stearat dengan 2g-3g amonium molibdat. Berdasarkan data yang diperoleh, peningkatan konsentrasi *plasticizer* menyebabkan nilai kuat tarik kemasan cerdas bioplastik mengalami penurunan karena *plasticizer* bersifat mengurangi gaya intermolekul sehingga molekul dapat bebas bergerak (mobilitas tinggi). Mobilitas molekul yang

tinggi menyebabkan ikatan antar rantai molekul melemah sehingga nilai kuat tarik akan mengalami penurunan (Intandiana et al., 2015). Selain kondisi tersebut, *plasticizer* dengan konsentrasi tinggi dapat menurunkan gaya tarik antar polimer saat terjadi penguapan air yang mengakibatkan film menjadi mudah putus. Pernyataan tersebut sesuai dengan penelitian Sitompul dan Zubaidah (2017) bahwa seiring dengan penambahan konsentrasi *plasticizer*, nilai kuat tarik film bioplastik akan semakin menurun. Asam stearat merupakan lemak/lipid yang tidak larut dengan baik dalam air, sehingga ikatan antar polimer akan sulit terbentuk jika lipid yang ditambahkan ke dalam larutan bioplastik dalam konsentrasi yang tinggi (Pranindyah, 2017).

Menurut SNI 7818:2014, nilai kuat tarik film bioplastik sekurang-kurangnya mencapai 13,70 MPa. Berdasarkan penelitian ini, nilai kuat tarik film kemasan cerdas bioplastik berkisar antara 4,48-13,85 MPa dan tertinggi diperoleh pada sampel dengan 0,4% asam stearat dan 1g amonium molibdat yaitu sebesar 13,85 MPa yang menandakan kemasan cerdas bioplastik sudah memenuhi standar nilai kuat tarik bioplastik (SNI 7818:2014).

Pemanjangan (*Elongation*)

Hasil analisis ragam mengidentifikasi bahwa interaksi perlakuan konsentrasi asam stearat dan amonium molibdat berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap pemanjangan kemasan cerdas bioplastik. Nilai pemanjangan kemasan cerdas bioplastik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai pemanjangan (%) kemasan cerdas bioplastik

| Perlakuan Konsentrasi <i>Plasticizer</i> Asam Stearat (P) | Perlakuan Konsentrasi Amonium Molibdat (A) | | |
|--|--|--------------------|--------------------|
| | A1 (1g) | A2 (2g) | A3 (3g) |
| P1 (0,4%) | 3,60 ^d | 3,60 ^d | 3,60 ^d |
| P2 (0,5%) | 4,97 ^{bc} | 4,65 ^c | 4,29 ^{cd} |
| P3 (0,6%) | 5,04 ^{bc} | 5,76 ^{ab} | 6,57 ^a |

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan adanya pengaruh nyata ($P < 0,05$).

Pemanjangan (*elongation*) adalah besarnya pertambahan panjang yang disebabkan oleh tarikan beban pada saat putus (Nuriyah et al., 2018). Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai pemanjangan tertinggi terdapat pada konsentrasi asam stearat 0,6% dan konsentrasi amonium molibdat 3g (P3A3) yaitu sebesar 6,57%. Setelah dilakukan uji lanjut, perlakuan ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi 0,6% asam stearat dengan 2g amonium molibdat (P3A2). Sedangkan nilai terendah diperoleh pada perlakuan konsentrasi asam stearat 0,4% dan konsentrasi amonium molibdat 1g-3g (P1A1, P1A2 dan P1A3) yaitu sebesar 3,60% yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0,5% asam stearat dengan 3g amonium molibdat (P2A3).

Nilai pemanjangan yang tinggi menandakan film bioplastik bersifat fleksibel. Peningkatan nilai pemanjangan film kemasan cerdas bioplastik sejalan dengan peningkatan konsentrasi asam stearat yang digunakan. Semakin banyak konsentrasi asam stearat yang ditambahkan, maka nilai pemanjangan film akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh penambahan lipid/lemak berupa asam stearat yang

dapat menurunkan kekuatan struktural film sehingga akan meningkatkan pemanjangan film (Pranindyah, 2017). *Plasticizer* asam stearat dapat menguatkan gaya intermolekul antar rantai polimer yang saling berdekatan, sehingga fleksibilitas bioplastik meningkat pada waktu yang bersamaan (Haloho et al., 2021). Putra et al. (2019) menyatakan bahwa persentase pemanjangan suatu film akan semakin besar seiring dengan penambahan konsentrasi *plasticizer*. Menurut SNI 7818:2014, nilai pemanjangan bioplastik adalah 21%-220%. Berdasarkan penelitian ini, nilai pemanjangan film kemasan cerdas bioplastik berkisar antara 3,60%-6,57% dan nilai tertinggi diperoleh pada sampel dengan 0,6% asam stearat dan 3g amonium molibdat yaitu sebesar 6,57% yang menunjukkan bahwa kemasan cerdas bioplastik belum memenuhi SNI 7818:2014.

Elastisitas (Modulus Young)

Hasil analisis ragam menyatakan bahwa interaksi perlakuan konsentrasi asam stearat dan amonium molibdat berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap elastisitas kemasan cerdas bioplastik. Nilai

Tabel 3. Nilai elastisitas (MPa) kemasan cerdas bioplastik

| Perlakuan Konsentrasi <i>Plasticizer</i> Asam Stearat (P) | Perlakuan Konsentrasi Amonium Molibdat (A) | | |
|--|--|----------------------|----------------------|
| | A1 (1g) | A2 (2g) | A3 (3g) |
| P1 (0,4%) | 384,93 ^a | 125,79 ^{de} | 118,36 ^{de} |
| P2 (0,5%) | 280,58 ^b | 136,40 ^{de} | 95,76 ^{ef} |
| P3 (0,6%) | 213,44 ^c | 165,26 ^d | 68,17 ^f |

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$).

elastisitas kemasan cerdas bioplastik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan perlakuan konsentrasi asam stearat 0,4% dan konsentrasi amonium molibdat 1g (P1A1) menghasilkan nilai elastisitas tertinggi yaitu 384,93 MPa dan setelah dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT), perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan nilai elastisitas terendah diperoleh pada perlakuan 0,6% asam stearat dan 3g amonium molibdat (P3A3) yaitu sebesar 68,17 MPa yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0,5% asam stearat dan 3g amonium molibdat (P2A3). Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa peningkatan nilai elastisitas sejalan dengan nilai kuat tarik, namun berlawanan dengan persentase pemanjangan film yang dibuktikan dengan perlakuan 0,4% asam stearat dan 1g amonium molibdat (P1A1) memiliki kuat tarik tertinggi, persentase pemanjangan terendah dan nilai elastisitas tertinggi. Hal ini disebabkan oleh elastisitas suatu film dipengaruhi oleh nilai kuat tarik dan pemanjangan film (Hayati, 2018). Semakin tinggi nilai kuat tarik dengan nilai pemanjangan yang rendah, maka tingkat elastisitas film akan semakin

tinggi. Selain itu, faktor lain yang menyebabkan peningkatan nilai elastisitas film adalah karena *plasticizer* dapat memperlemah ikatan intermolekuler antar rantai polimer yang berdekatan, sehingga akan menurunkan nilai kuat tarik sedangkan nilai fleksibilitas (pemanjangan) film akan meningkat, sehingga nilai elastisitas film kemasan cerdas bioplastik menurun (Utami et al., 2014).

Menurut SNI 7818:2014, nilai elastisitas bioplastik adalah 40 MPa-1120 MPa. Berdasarkan penelitian ini, nilai elastisitas kemasan cerdas bioplastik berkisar antara 68,17 MPa-384,93 MPa dan nilai tertinggi diperoleh pada sampel dengan 0,4% asam stearat dan 1g amonium molibdat yaitu sebesar 384,93 MPa yang menunjukkan bahwa kemasan cerdas bioplastik sudah memenuhi SNI 7818:2014.

Penyerapan Air (*Swelling*)

Hasil analisis ragam mengidentifikasi bahwa interaksi perlakuan konsentrasi asam stearat dan amonium molibdat berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap penyerapan air kemasan cerdas bioplastik. Nilai penyerapan air kemasan cerdas bioplastik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai penyerapan air (%) kemasan cerdas bioplastik

| Perlakuan Konsentrasi <i>Plasticizer</i> Asam Stearat (P) | Perlakuan Konsentrasi Amonium Molibdat (A) | | |
|--|--|-------------------|-------------------|
| | A1 (1g) | A2 (2g) | A3 (3g) |
| P1 (0,4%) | 0,81 ^a | 0,80 ^a | 0,79 ^a |
| P2 (0,5%) | 0,69 ^b | 0,63 ^c | 0,60 ^d |
| P3 (0,6%) | 0,56 ^c | 0,54 ^e | 0,44 ^f |

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$).

Nilai penyerapan air (*swelling*) terendah diperoleh pada perlakuan 0,6% asam stearat dan 3g amonium molibdat (P3A3) yaitu sebesar 0,44% dan setelah dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT), perlakuan ini memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan nilai penyerapan air tertinggi diperoleh pada perlakuan 0,4% asam stearat dengan 1g amonium molibdat (P1A1) yaitu sebesar 0,81% yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0,4% asam stearat dengan 2g amonium molibdat (P1A2) dan perlakuan 0,4% asam stearat dengan 3g amonium molibdat (P1A3).

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada tabel 4, semakin tinggi konsentrasi asam stearat, nilai penyerapan air semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh penambahan *plasticizer* asam stearat yang bersifat hidrofobik ke dalam larutan bioplastik. Sifat hidrofobik dari asam stearat menunjukkan rendahnya kemampuan untuk mengikat air. Saputro & Ovita

(2017) menyatakan bahwa penambahan bahan yang bersifat hidrofobik akan memperkecil nilai penyerapan air. Maka, semakin banyak konsentrasi bahan yang bersifat hidrofobik yang ditambahkan akan mengurangi persentase penyerapan air dari film kemasan cerdas bioplastik. Asam stearat merupakan lemak jenuh yang memiliki sifat hidrofobik atau tidak suka air yang dapat membentuk jaringan kristal sehingga, asam stearat menjadi penghalang bagi molekul air masuk ke dalam sampel bioplastik (Haloho et al., 2021). Selain *plasticizer* asam stearat, nilai ketahanan air bioplastik juga dipengaruhi oleh penambahan PVA. Purnavita & Dewi (2021) melaporkan bahwa dengan penambahan PVA maksimal 2g memberikan hasil ketahanan air yang lebih baik jika dibandingkan dengan tanpa penambahan PVA pada larutan bioplastik, dimana ketahanan air yang baik menandakan bahwa semakin sedikit air yang diserap oleh film bioplastik.

Menurut Standar Internasional EN 317 (1993), nilai penyerapan air bioplastik adalah maksimum 1,44%. Berdasarkan penelitian ini nilai penyerapan air berkisar antara 0,44%-0,81% yang menandakan bahwa film kemasan cerdas bioplastik sudah memenuhi Standar Internasional EN 317 (1993).

Ketebalan (*Thickness*)

Berdasarkan hasil analisis ragam, interaksi perlakuan konsentrasi asam stearat dan amonium molibdat berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap ketebalan kemasan cerdas bioplastik. Nilai ketebalan (*thickness*) kemasan cerdas bioplastik dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai ketebalan (mm) kemasan cerdas bioplastik

| Perlakuan Konsentrasi <i>Plasticizer</i> Asam Stearat (P) | Perlakuan Konsentrasi Amonium Molibdat (A) | | |
|--|--|---------------------|--------------------|
| | A1 (1g) | A2 (2g) | A3 (3g) |
| P1 (0,4%) | 0,23 ^e | 0,27 ^{bc} | 0,26 ^{cd} |
| P2 (0,5%) | 0,25 ^d | 0,26 ^{cd} | 0,28 ^{ab} |
| P3 (0,6%) | 0,26 ^{cd} | 0,27 ^{abc} | 0,29 ^a |

Keterangan: Huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan adanya pengaruh nyata ($P < 0,05$).

Tabel 5 menunjukkan nilai ketebalan tertinggi diperoleh pada perlakuan konsentrasi asam stearat 0,6% dengan konsentrasi amonium molibdat 3g (P3A3) yaitu sebesar 0,29 mm, dan berdasarkan uji lanjut DMRT, perlakuan tersebut memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0,6% asam stearat dengan 2g amonium molibdat (P3A2) serta 0,5% asam stearat dengan 3g amonium molibdat (P2A3). Sedangkan nilai ketebalan terendah diperoleh pada perlakuan konsentrasi asam stearat 0,4% dengan 1g amonium molibdat (P1A1) yaitu sebesar 0,23 mm yang berpengaruh nyata dengan perlakuan lainnya.

Jumlah total padatan dalam larutan dan ukuran cetakan yang digunakan akan mempengaruhi nilai ketebalan suatu kemasan cerdas bioplastik. Semakin banyak komposisi bahan, maka larutan bioplastik yang dihasilkan akan semakin kental dan nilai ketebalan akan semakin meningkat. Total padatan yang lebih besar menyebabkan bahan sulit dilarutkan, sehingga film yang dihasilkan akan lebih tebal dan memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi (Pranindyah, 2017). Menurut Hayati (2018) *plasticizer* yang berikatan dengan pati akan membentuk polimer pati-*plasticizer*. Bioplastik yang terbentuk dari ikatan antara pati dengan pati, saat ditambahkan *plasticizer* akan menjadi ikatan antara pati-*plasticizer*-pati, sehingga ketebalan meningkat seiring dengan bertambahnya *plasticizer* dalam film. Pranindyah (2017) melaporkan bahwa nilai ketebalan film cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi lipid yang digunakan.

Menurut Japanese Industrial Standards (2017), nilai ketebalan bioplastik yaitu $\leq 0,25$ mm. Berdasarkan penelitian ini, nilai ketebalan film kemasan cerdas bioplastik berkisar antara 0,23 mm-0,29 mm dan nilai

terendah diperoleh pada sampel dengan 0,4% asam stearat dan 1g amonium molibdat yaitu sebesar 0,23 mm yang menandakan film kemasan cerdas bioplastik sudah memenuhi Japanese Industrial Standards (2017).

Perubahan Warna Kemasan Cerdas Bioplastik

Perubahan warna film kemasan cerdas dilakukan menggunakan sistem L^* , a^* , b^* . Nilai L^* menunjukkan kecenderungan warna dari gelap sampai terang. Nilai a^* menunjukkan warna dari hijau sampai merah, sedangkan nilai b^* menunjukkan warna dari biru sampai kuning. Pengamatan terhadap perubahan warna dilakukan pada sampel kemasan cerdas bioplastik yang menghasilkan karakteristik fisik terbaik. Perlakuan terbaik yang diperoleh adalah 0,4% asam stearat dan 1g amonium molibdat (P1A1). Berdasarkan hasil pengamatan terhadap perubahan warna kemasan yang dilakukan selama 10 hari menunjukkan bahwa film kemasan cerdas bioplastik memberikan respon sensitif terhadap gas etilen. Hal ini dibuktikan dengan indikator warna pada penelitian ini yang menggunakan amonium molibdat mampu memberikan respon yang baik terhadap kematangan buah alpukat.

Hasil uji warna menunjukkan adanya perubahan warna pada kemasan cerdas bioplastik. Pada penelitian ini warna awal kemasan cerdas bioplastik adalah biru tua. Warna biru tua diperoleh dari amonium molibdat yang dilarutkan ke dalam asam asetat 1%. Ngibad (2019) menyatakan bahwa asam yang bereaksi dengan amonium molibdat menghasilkan molibdenum berwarna biru. Nilai L^* pada hari ke-0 sebesar 34,6 hingga pada hari ke-10 menjadi 22,3 yang menunjukkan bahwa warna film menjadi semakin gelap seiring dengan peningkatan

kematangan buah alpukat. Nilai a^* berkisar antara 3,2 hingga -3,1 yang menunjukkan bahwa warna film berubah menjadi kehijauan seiring dengan bertambahnya usia buah alpukat. Nilai b^* berkisar antara -22,1 hingga -13,8 yang menunjukkan bahwa warna film berubah dari biru tua menjadi biru muda.

Emisi gas etilen dari alpukat dapat dideteksi dengan kemasan cerdas bioplastik. Menurut Lang dan Hubert (2012), kemasan cerdas berupa bioplastik (plastik *biodegradable*) yang dilengkapi dengan sensor warna dilandaskan pada efek reduksi etilen yang menyebabkan perubahan warna pada ion logam tertentu. Kromofor molibdenum (Mo) pada amonium molibdat mengalami perubahan warna karena pengaruh dari gas etilen. Menurut De-Liang et al., (2010) dalam Iskandar et al. (2020) reaksi kimia antara gas etilen dan amonium molibdat yang berpengaruh terhadap perubahan warna label cerdas belum diketahui secara detail.

KESIMPULAN

Interaksi perlakuan konsentrasi asam stearat dan amonium molibdat berpengaruh nyata terhadap nilai elastisitas, kuat tarik, pemanjangan, penyerapan air dan ketebalan kemasan cerdas bioplastik. Karakteristik fisik kemasan cerdas bioplastik terbaik sesuai SNI diperoleh pada perlakuan 0,4% asam stearat dan 1g amonium molibdat dengan nilai kuat tarik sebesar 13,85 MPa, nilai pemanjangan sebesar 3,60%, nilai elastisitas sebesar 384,93 MPa, nilai penyerapan air sebesar 0,81% dan nilai ketebalan bioplastik sebesar 0,23 mm. Indikator warna kemasan cerdas bioplastik mampu memberikan respon terhadap tingkat kematangan buah alpukat berupa perubahan warna kemasan yang dihasilkan. Warna kemasan cerdas yang awalnya biru tua menjadi biru muda seiring dengan bertambahnya tingkat kematangan buah alpukat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aripin, S., Saing, B., & Kustiyah, E. (2017). Studi Pembuatan Bahan Alternatif Plastik Biodegradable Dari Pati Ubi Jalar Dengan Plasticizer Gliserol Dengan Metode Melt Intercalation. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 18. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i2.1185>
- Aritonang, D. H., Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2020). Karakteristik Komposit Bioplastik Pada Variasi Rasio Pati Ubi Talas Belitung (*Xanthosoma Sagittifolium*) dan Karagenan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 8(3), 348–359.
- Association Japanese Industrial Standard. (2017). Japanese Industrial Standards (JIS). Tokyo. Japan.
- Azrita, M. W., Ahmad, U., & Darmawati, E. (2019). Rancangan Kemasan Dengan Indikator Warna Untuk Deteksi Tingkat Kematangan Buah Alpukat. *JTEP*, 7(2), 155–162.
- Badan Standarisasi Nasional. (2014). Kantong Plastik Mudah Terurai. SNI 7818:2014. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- European Committee Standardization. (1993). BS EN 317:1993 Determination of Swelling In Thickness After Immersion In Water. CEN., February, 41778–41782.
- Farah, S. (2021). Karakteristik Bioplastik Dari Alginat Padina Sp. Dengan Pemplastis Gliserol. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Haloho, R. J., Hasojuwono, B. A., & Suwariani, N. P. (2021). Pengaruh Konsentrasi Asam Stearat dan Lama Pengadukan Proses Gelatinisasi terhadap Karakteristik Komposit Bioplastik Maizena-Glukomanan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(4), 488–503.
- Harsojuwono, B. A., & Arnata, W. (2015). Karakteristik Fisik dan Mekanik Bioplastik (Studi Konsentrasi Tapioka dan Perbandingan Campuran Pemplastis). In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi (Senastek)*.
- Hayati, N. (2018). Preparing of Cornstarch (*Zea mays*) Bioplastic Using ZnO Metal. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 1(1), 23–30.
- Iskandar, A., Yuliasih, I., & Warsiki, E. (2020). Performance Improvement Of Fruit Ripeness Smart Label Based On Ammonium Molibdat Color Indicators. *Indonesian Food Science & Technology Journal*, 3(2), 48–57. <https://doi.org/10.22437/ifstj.v3i2.10178>
- Lang, C., & Hubert, T. (2012). A colour ripeness indicator for apples. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 3244–3249.
- Makmur, C. L., Dewata, I., & Oktavia, B. (2021). Effect Of Addition Of Carrageenan On Tensile Strength And Biodegradation Of Edible Film From Cassava Peel Starch. *JKPL*, 2(2), 9–17.
- Melani, A., Herawati, N., & Kurniawan, A. F. (2017). Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Intercalation (Kajian Pengaruh Jenis Filler, Konsentrasi Filler dan Jenis Plasticizer). *Distilasi*, 2(2), 53–67.
- Ngibad, K. (2019). Analisis Kadar Fosfat dalam Air Sungai Ngelom Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. *J.Pijar MIPA*, 14(3), 197–201.
- Nurhabibah, S. A., & Kusumaningrum, W. B. (2021). Karakterisasi Bioplastik Dari K-Karagenan *Eucheuma Cottoni* Terplastisasi Berpenguat Nanoselulosa. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 43(2), 82–94.

- Nuriyah, L., Saroja, G., Ghufron, M., Razanata, A., Rosid, N. F. (2018). Karakteristik Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik Berbahan Pati Ubi Jalar Cilembu Dengan Variasi Jenis Pemplastis. *NATURAL B*, 4(4).
- Permana, E., Riski Gusti, D., Tarigan, I. L., Andika, Y., & Nirwana, A. C. (2021). Sifat Fisik Bioplastik Dari Pati Umbi Gadung Dan Pelepah Sawit. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 7(1), 45–54.
- Pranindyah, A. T. (2017). Pembuatan dan Karakterisasi Edible Film Komposit Dari Pati Ganyong (Canna Edulis Ker.) – Karagenan dan Asam Stearat.
- Purnavita, S., & Dewi, V. C. (2021). Kajian Ketahanan Bioplastik Pati Jagung Dengan Variasi Berat Dan Suhu Pelarutan Polivinil Alkohol. *Journal of Chemical Engineering*, 2(1), 14–22.
- Putra, D. M. D. P., Harsojuwono, B. A., & Hartiati, A. (2019). Studi Suhu Dan Ph Gelatinisasi Pada Pembuatan Bioplastik dari Pati Kulit Singkong. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7(3), 441–449.
- Putri, R. R. A., Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2021). Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Pemplastis Terhadap Karakteristik Komposit Bioplastik Pati Ubi Talas Belitung (Xanthosoma Sagittifolium)-Kitosan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 323–334.
- Radhiyatullah, A., Indriani, N., & Ginting, M. H. S. (2015). Pengaruh Berat Pati dan Volume Plasticizer Gliserol Terhadap Karakteristik Film Bioplastik Pati Kentang. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(3), 35–39. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i3.1479>
- Saputro, A. N. C., & Ovita, A. L. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik dari Kitosan-Pati Ganyong (Canna edulis). *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(1), 13–21.
- Sitompul, A. J. W. S., & Zubaidah, E. (2017). Pengaruh Jenis Dan Konsentrasi Plasticizer Terhadap Sifat Fisik Edible Film Kolang Kaling (Arenga pinnata). *Jurnal Pangan Dan Agroindustr*, 5(1), 13–25.
- Suryati, S., Meriatna, M., & Marlina, M. (2017). Optimasi Proses Pembuatan Bioplastik Dari Pati Limbah Kulit Singkong. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5(1), 78. <https://doi.org/10.29103/jtku.v5i1.81>
- Susetyarsi. (2012). Kemasan Produk Ditinjau Dari Bahan Kemasan, Bentuk Kemasan dan Pelabelan Pada Kemasan Pengaruhnya Terhadap Keputusan Pembelian Pada Produk Minuman Mizone Di Kota Semarang. *Jurnal STIE Semarang*, 4(3), 19–28.
- Syamani, F. A., Kusumaningrum, W. B., Akbar, F., Ismadi, Widyaningrum, B. A., & Pramasari, D. A. (2020). Characteristics Of Bioplastic Made From Modified Cassava Starch With Addition Of Polyvinyl Alcohol. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 591(1). <https://doi.org/10.1088/17551315/591/1/012016>
- Utami, M. R., Latifah, & Widiarti, N. (2014). Sintesis Plastik Biodegradable dari Kulit Pisang dengan Penambahan Kitosan dan Plasticizer Glisero. *IJCS - Indonesia Journal of Chemical Science*, 3(2252), 163–167.
- 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 Industri*, 8(4), 484–491.