p-ISSN: 1907-8056
e-ISSN: 2527-5410
AGROINTEK
Jurnal Teknologi Industri Pertanian
journal homepage: journal.trunojoyo.ac.id/agrointek

Karakteristik *biodegradable film* komposit berbahan pati termodifikasi-kitosan-glukomanan dengan penambahan *plasticizer* gliserol dan sorbitol

Syahla Salsabila, Pepita Haryanti, Condro Wibowo*

Ilmu Pangan, Universitas Jenderal Soedirman, Banyumas, Indonesia

Article history
Diterima:
29 November 2023
Diperbaiki:
31 Mei 2024
Disetujui:
3 Oktober 2024

Keyword
biodegradable film;
chitosan;
glucomannan;
modified cassava starch;
plasticizer

ABSTRACT

The starch-based film is known to exhibit poor mechanical properties. Combining multiple materials as composite could be an alternative solution to the problem. The suitability of ratios between modified cassava starch, chitosan, and glucomannan as composite film with addition of sorbitol or glycerol was studied further to analyze physical, chemical, barrier properties of biodegradable films created. The research was conducted in a completely randomized design with twelve treatments. The treatment used different ratios of biodegradable composite film formulation (1:1:1, 1:1.4:0.6, and 1:0.4:1.6) and the addition of plasticizers (1%, 2% glycerol, and sorbitol). The water vapor transmission rate gave a significant value ($P < 0,05$) for all factors tested, while thickness is significantly affected by the different ratios of film formulation. The results show that the film thickness ranged between 0.13 - 0.20 mm, and the water vapor transmission rate was 2.05 - 13.39 g/m^2.hour. Based on these values, it was found that formulation 1, with a ratio of 1:1:1 added with 2% sorbitol, produced a film with better mechanical properties with excellent qualities such as moisture content, color, optical properties, and biodegradability. Thus, it could be recommended as an alternative for food packaging.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi
Email : condro.wibowo@unsoed.ac.id
DOI 10.21107/agrointek.v20i1.23189

PENDAHULUAN

Sorotan global serta tren pola hidup sehat di masyarakat kini berfokus tidak hanya dalam menciptakan produk pangan yang berkualitas dan sehat namun juga ramah lingkungan. Evolusi terhadap pengembangan alternatif plastik yang memiliki sifat fungsional baik dan dapat diuraikan menjadi penting untuk dilakukan (Kumari et al. 2021). *Biodegradable film* dapat didefinisikan sebagai sebuah lapisan tipis tersusun dari polimer dan campurannya yang dapat terurai menjadi senyawa molekul rendah (Abduwaiti et al. 2021). Pengembangan bahan pengemas *biodegradable* yang berasal dari sumber daya tumbuhan dan hewan seperti polisakarida, protein, lipid, dan kompositnya kerap kali diteliti dalam beberapa dekade terakhir (Nair et al. 2017).

Penggunaan pati sebagai polisakarida telah banyak diteliti dan diaplikasikan pada pembuatan *biodegradable film* sebagai alternatif kemasan plastik dikarenakan merupakan material dengan biaya sintesis rendah, dapat diperbaharui, dan proses ekstraksi mudah dengan hasil tinggi (Xiao et al. 2019). Pati sebagai *film* memiliki sifat tidak beracun, tidak berbau dan tidak berwarna. *Biodegdadable film* berbahan pati memiliki sifat penghambat seperti mudah pecah, sifat mekanik yang kurang baik dan sensitif terhadap air (Dai et al. 2021). Pati singkong merupakan salah satu jenis pati yang telah banyak dimanfaatkan sebagai penyusun *film* (Chollakup et al. 2020). Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan fungsionalitasnya adalah dengan modifikasi melalui fermentasi mikroorganisme (Oyeyinka et al. 2020). Proses modifikasi akan meningkatkan karakteristik fisik dan kimia pati dengan mengubah struktur molekulnya (Dai et al. 2019). Proses modifikasi meliputi degradasi polimer amilosa dan amilopektin, sehingga memberikan perubahan signifikan terhadap struktur dan morfologi pati. Pati singkong termodifikasi sebagai *film* menunjukkan karakteristik yang lebih baik jika dibandingkan dengan pati alaminya (Jorge et al. 2023).

Penyusunan *film* dengan metode komposit dapat menjadi solusi terhadap permasalahan dan kekurangan dari pati sebagai polimer penyusun *film* (Sun et al. 2019). Penelitian sebelumnya terkait *film* konjak glukomanan, kitosan dan *blend film* antara konjak glukomanan-kitosan belum menunjukkan hasil yang optimal seperti sifat *barrier* dan mekanik yang buruk (Jannatyha et al., 2020; Sun et al., 2019; Wu et al., 2019). Riset penggunaan kitosan sebagai polimer penyusun *film* menghasilkan karakteristik *film* dengan sifat mekanik yang baik namun memiliki kekurangan dalam sifat fisiknya terutama kelarutan dalam air, kadar air dan penghalang terhadap uap air (Zhuang et al. 2018, Jannatyha et al. 2020). *Film* berbasis konjak glukomanan memiliki kemampuan pembentukan *film* yang sangat baik dan memiliki sifat biodegradabilitas (Wang et al. 2017), namun memiliki sifat *barrier* yang lemah (Wu et al., 2019). Penggabungan antara pati singkong termodifikasi, kitosan dan glukomanan sebagai *film* komposit dapat mengatasi kelemahan setiap material sebagai penyusun *film*. Perbandingan yang tepat tantara ketiga material tersebut penting untuk dipelajari untuk membandingkan dampaknya terhadap karakteristik fisik, mekanik, serta *barrier film*. Penambahan *plasticizer* yang sesuai dengan komposit antara pati singkong termodifikasi, kitosan, dan glukomanan dapat meningkatkan sifat dari film berbasis polisakarida.

Plasticizer merupakan molekul volatilitas rendah yang ditambahkan ke bahan biopolimer untuk memungkinkan modifikasi sifat fungsional *film* dengan meningkatkan ekstensibilitas, fleksibilitas, elastisitas, kekakuan, dan sifat mekaniknya (Suderman et al. 2018). Penggunaan *plasticizer* dengan berat molekul rendah seperti gliserol (Luchese et al. 2018, Sun et al. 2019, 2020, Ma et al. 2021) dan sorbitol (Kavas et al. 2015, Rahmawati et al. 2019, Xu et al. 2019) telah banyak diteliti dalam *biodegradable film* (Islam et al. 2020). Konsentrasi *plasticizer* dalam jumlah tertentu dapat memberikan pengaruh pemlastis yang baik. Efisiensi *plasticizer* sangat tergantung pada konsentrasinya (Suderman et al. 2018). Penggunaan konsentrasi dan jenis *plasticizer* yang tepat untuk berbagai jenis polisakarida untuk pembuatan *film* perlu dianalisa terutama dari segi peningkatan sifat mekaniknya.

Penelitian terdahulu telah menunjukkan kemampuan sinergisme antara pati singkong, konjak glukomanan dan kitosan (Nair et al. 2017, Luchese et al. 2018, Sun et al. 2019, 2020, Ma et al. 2021, Harsojuwono et al. 2021). Namun hasil menunjukkan bahwa tanpa penambahan *filler* dan perlakuan tambahan, *film* komposit tersebut menunjukkan sifat permeabilitas yang rendah (Nair et al. 2017). Hal serupa ditemukan pada penelitian mengenai *film* komposit antara pati termodifikasi dan glukomanan (Harsojuwono et

al. 2020). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan yang sesuai antara pati singkong termodifikasi, kitosan, dan glukomanan sebagai material penyusun *film* komposit, serta penambahan sorbitol dan gliserol sebagai *plasticizer* yang sesuai terhadap karakteristik akhir *biodegradable film* komposit.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan adalah pati singkong komersial merek Rose Brand dari PT Budi Starch & Sweetener (Jakarta, Indonesia), kitosan dari PT Agrotekno Estetika Laboratoris (Yogyakarta, Indonesia), glukomanan dari Chengdu Root Industry Co., LTD. (Chengdu, China), ragi roti instan merek Fermipan diimpor oleh PT Sangra Ratu Boga (Jakarta, Indonesia), sorbitol, gliserol, aquadest, NaCl, dan *silica gel* dari Prima Chemical & Packaging (Purwokerto, Indonesia).

Rancangan Percobaan

Penelitian eksperimental yang dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial. Faktor yang diujikan berupa perbandingan polimer penyusun *film* berupa pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan dalam 3 taraf (1:1:1, 1:1,4:0,6, 1:0,4:1,6) dan konsentrasi serta jenis *plasticizer* dalan 4 taraf (1% gliserol, 2% gliserol, 1% sorbitol, 2% sorbitol).

Pembuatan Pati Termodifikasi

Modifikasi pati secara enzimatis dilakukan dengan metode fermentasi mengacu pada penelitian Kustyawati et al. (2016) dengan modifikasi. *Starter* dibuat dengan melarutkan 1 gram ragi roti instant komersial dalam 9 ml akuades. Suspensi pati dibuat dengan mencampurkan 100 gram pati singkong dalam 100 ml akuades. 2% larutan *starter* ragi ditambahkan ke dalam suspensi pati dan dihomogenkan. Fermentasi dilakukan selama 48 jam pada suhu ruang dalam kondisi wadah tertutup. Suspensi difiltrasi menggunakan kain saring dan endapan dikeringkan dengan menggunakan *cabinet dryer* pada suhu ± 50°C selama 5 jam. Hasil pengeringan digiling dan diayak menggunakan pengayak mesh 80.

Pembuatan *Film* Komposit

Pembuatan *film* komposit dilakukan dengan mengkombinasikan larutan *film* pati singkong, kitosan, dan glukomanan. Pembuatan larutan *film* dilakukan berdasarkan Ma et al. (2021) dengan modifikasi. Larutan pati singkong termodifikasi 2% (b/v) disiapkan dengan melarutkan dalam akuades dan dipanaskan pada suhu 80 °C selama 30 menit dengan pengadukan konstan untuk mencapai gelatinisasi pati. Larutan kitosan 2% (b/v) disiapkan dengan melarutkan dalam asam asetat 1% (v/v) dan dilakukan pengadukan konstan selama 60 menit pada suhu ruang. Larutan glukomanan 1% (b/v) dibuat dengan melarutkan dalam akuades dan dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit. Ketiga larutan dicampurkan dengan perbandingan 1:1:1, 1:1.4:0.6, dan 1:0.4:1.6 untuk pati singkong:kitosan:glukomanan. Terhadap ketiga perbandingan tersebut masing-masing ditambahkan gliserol dan sorbitol pada konsentrasi 1, 2% (v/v total larutan). Sebanyak 250 ml larutan *film* kemudian dituangkan pada pelat kaca berukuran 375 cm^2 dan dikeringkan menggunakan *food dehydrator* pada suhu 30º selama 16 jam.

Kadar Air

Kadar air *biodegradable film* diukur dengan menggunakan metode gravimetri dengan sesuai AOAC (2005). Cawan aluminium dikeringkan dalam oven selama 30 menit dengan suhu 100-105 ºC. Kemudian cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan setelah dingin segera ditimbang. Sampel sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam cawan dan ditimbang kemudian cawan yang berisi sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 100-105 ºC selama 6 jam sampai tercapai bobot konstan. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator sekitar 30 menit dan segera ditimbang. Perhitungan kadar air dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1),

$$Kadar\ Air\ (\%) = \frac{(W0\ (g) - W1\ (g))}{W0\ (g)} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana kadar air dinyatakan dalam satuan %, W0 sebagai berat awal dan W1 sebagai berat akhir setelah pengeringan.

Ketebalan *Film*

Ketebalan diukur menggunakan mikrometer digital menurut Santana et al. (2019). Hasil pengukuran diambil dari 10 pengukuran pada beberapa titik secara acak pada seluruh *film* kemudian diambil rata-ratanya. Sampel dikondisikan selama 24 jam (60% RH, 23 ºC) sebelum dilakukan pengujian tes.

Warna *Film*

Analisis warna diukur dengan menggunakan *colorimeter* untuk mendapatkan nilai warna dalam skala Hunter (L, a, dan b) berdasarkan metode dalam Bhatia et al. (2023). Pengukuran dilakukan terhadap 10 titik pada *film*.

Sifat Optik *Film*

Sifat optik berupa *opacity* dan transparansi *film* dievaluasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada absorbansi 600 nm berdasarkan metode dalam Zhao et al., (2022). *Opacity* dihitung menurut Persamaan (2).

$$Opacity = \frac{A_{600}}{x} \quad (2)$$

Dimana A_{600} merupakan absorbansi cahaya pada panjang gelombang 600 nm dan nilai x merupakan ketebalan dari *film*.

Laju Transmisi Uap Air

Metode yang digunakan berdasarkan ASTM *Standard Method* E96-00 dalam Gontard et al. (1993) untuk pengukuran laju transmisi uap air dengan sedikit modifikasi menggunakan cawan. *Biodegradable film* digunting sesuai ukuran cawan, dengan silika gel di dalamnya. Cawan ditimbang dengan tingkat ketelitian 0.001 gram dan diletakkan di dalam desikator yang berisi larutan NaCl jenuh hingga RH mencapai 75%. Desikator beserta cawan ditempatkan pada suhu kamar. Cawan ditimbang setiap 24 jam dan pertambahan berat dicatat. Untuk mengukur tingkat laju transmisi uap air dinyatakan pada Persamaan (3).

$$WVTR = \frac{n}{T \times A} \quad (3)$$

Dimana WVTR dinyatakan dalam satuan g/m^2.24 jam, dengan n sebagai selisih pertambahan berat (g), T sebagai selisih waktu yang digunakan (24 jam), dan A luas penampang *biodegradable film* komposit atau cawan petri (m^2).

Biodegradabilitas

Biodegradabilitias pada *film* komposit dianalisa dengan menggunakan uji penguburan tanah berdasarkan standar ASTM D570-98 dalam Fitriani et al. (2023) dengan modifikasi. *Film* dipotong dengan ukuran 4 cm^2 dan didokumentasikan sebagai pengamatan hari ke-0. Potongan *film* kemudian ditanamkan dalam wadah yang telah berisi tanah pada kedalaman 4 cm. Wadah disimpan pada kondisi suhu 25ºC dan kelembaban 55%. Perubahan pada kenampakan sample didokumentasikan pada lama waktu penyimpanan 0, 7, 14 dan 21 hari.

Analisis Statistika

Data yang diperoleh dari pengamatan dianalisis dengan menggunakan *two-way analysis of variance* (ANOVA) dengan tingkat ketelitian 95% dan dilanjutkan dengan Analisis DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) untuk mengetahui perbedaan antara perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Hasil pengukuran kadar air menunjukkan nilai berkisar pada 15,65 – 34,78% yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil tersebut memiliki nilai yang lebih rendah pada jika dibandingkan dengan hasil terdahulu dengan polimer pati singkong, kitosan dan glukomanan yang berkisar pada 28,43 – 36,19% (Ma et al., 2021). Sedangkan untuk film berbasis pati singkong, kitosan, dan glukomanan memiliki kadar air secara berturut-turut 6,5 – 7,6% (Cortés-Rodríguez et al., 2020), 23,9 – 32,8% (Homez-Jara et al., 2018) dan 23,60% (Liu et al., 2020).

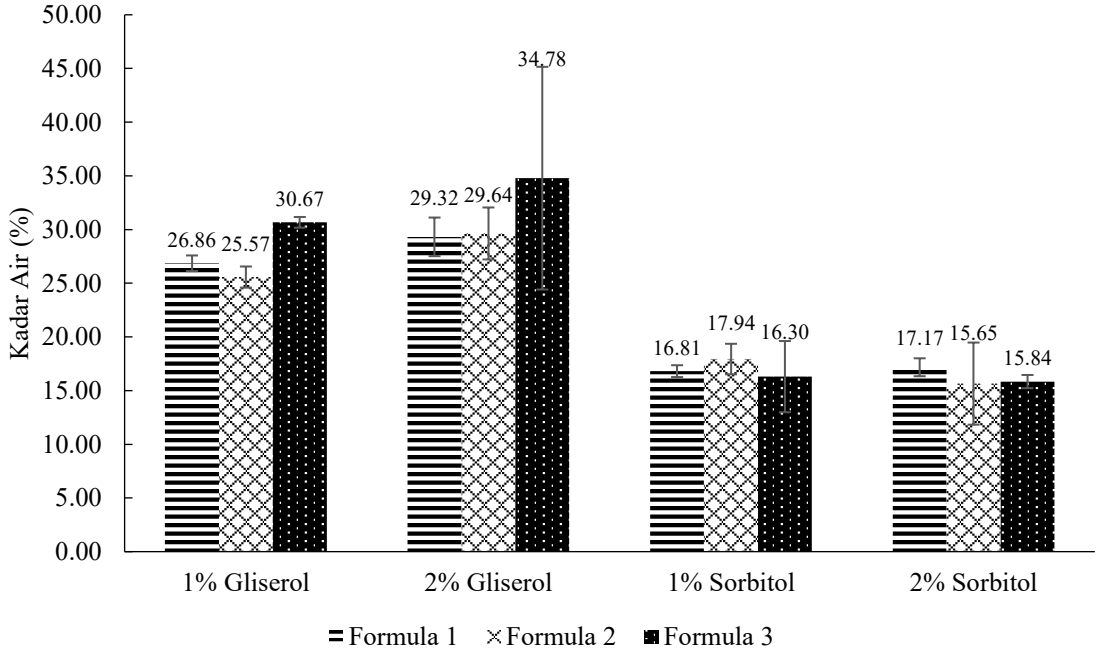
Konsentrasi serta jenis plasticizer memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air film. Film dengan penambahan sorbitol memiliki nilai kadar air yang lebih rendah jika dibandingkan dengan film dengan penambahan gliserol. Melemahnya ikatan inter dan intramolekular dari granula pati meningkatkan adsorpsi molekul air disekitarnya (Pérez-Vergara et al. 2020). Sorbitol memiliki berat molekul yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan gliserol (Ibrahim et al. 2019). Molekul *plasticizer* yang lebih kecil, akan lebih mudah dapat masuk di antara rantai polimer untuk membatasi pembentukan ikatan hidrogen antar polimer dan meningkatkan volume bebas untuk menyerap lebih banyak air (Saberi et al. 2017). Penambahan konsentrasi plasticizer menyebabkan peningkatan kadar air akibat dari kemampuan retensi air oleh sorbitol dan gliserol (Jaderi et al. 2023). Perbedaan kemampuan menahan air antara gliserol dan sorbitol dapat dikaitkan dengan ikatan antarmolekul dan struktur molekul *plasticizer* yang memungkinkan *plasticizer* dapat lebih mudah berinteraksi dengan molekul air dibandingkan dengan antarmolekul rantai polimer (Ibrahim et al. 2019). Pada konsentrasi *plasticizer* sama, ditemukan bahwa nilai kadar air *film* dengan

gliserol lebih tinggi dibandingkan dengan sorbitol. Fenomena tersebut dapat dikorelasikan dengan berat molekul yang lebih kecil dan sifat hirofilik dari gliserol jika dibandingkan dengan sorbitol (Farhan and Hani 2017). Gliserol memiliki berat molekul 92 dengan tiga gugus hidroksil, sedangkan sorbitol berat molekul 182 dengan enam gugus hidroksil. Meskipun sorbitol menghadirkan lebih banyak gugus hidroksil untuk berinteraksi dengan air melalui ikatan hidrogen, gliserol menunjukkan afinitas air yang lebih besar sehingga memiliki sifat hidrofilik (Suzana et al. 2009).

Ketebalan

Nilai ketebalan yang didapatkan berada pada 0,13 – 0,20 mm untuk setiap kombinasi perlakukan antara formulasi dengan berbagai jenis serta konsentrasi *plasticizer* yang ditunjukkan pada Tabel 1. Penelitian terdahulu oleh (Luchese et al. 2018), mengenai *film* komposit kitosan dengan pati singkong memiliki ketebalan yang berada pada kisaran nilai 0,08 – 0,13 mm. Sedangkan untuk ketebalan *film* dengan bahan konjak glukomanan dengan kitosan dan pati singkong dengan glukomanan secara berturut-turut 0,099 dan 0,103 mm (Ma et al. 2021).

Perbedaan perbandingan polimer penyusun *biodegradable film* komposit memiliki pengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap ketebalan. Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa *film* dengan perbandingan antara pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan sebesar 1 : 1 : 1 memiliki rata-rata ketebalan lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan formula *film* lainnya. Terdapat perbedaan ketebalan secara statistika tersebut membuktikan bahwa terdapat perbedaan kompatibilitas antar berbagai perbandingan jumlah polimer yang digunakan. Perbandingan komposisi antara pati singkong, kitosan, dan glukomanan pada berbagai taraf menghasilkan ketebalan *film* yang berbeda didasarkan pada jumlah massa kering bahan yang digunakan. Ketebalan *film* dapat dipengaruhi dengan jumlah massa kering yang terdapat pada film (Fakhouri et al. 2015, Kumar et al. 2021). Perbedaan metode yang digunakan dalam pembuatan *biodegradable film* komposit dapat menjadi alasan terdapat perbedaan ketebalan (Galus et al. 2012).



Gambar 1 Rata-rata persentase kadar air *biodegradable film* komposit. Keterangan: Perbandingan polimer pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan (P) 1:1:1 (P1), 1:1.4:0.6 (P2), 1:0.4:1.6 (P3), dan konsentrasi plasticizer (Q) 1% gliserol (Q1), 2% gliserol (Q2), 1% sorbitol (Q3), 2% sorbitol (Q4).

Tabel 1 Pengaruh perbandingan polimer dan konsentrasi serta jenis *plasticizer* terhadap nilai rata-rata ketebalan (A), warna berupa nilai L (B), a (C), b (D), dan *opacity* (E) *biodegradable ilm* komposit.

A

Perbandingan Polimer	Konsentrasi dan Jenis *Plasticizer*			
	1% Gliserol	2% Gliserol	1% Sorbitol	2% Sorbitol
Formula 1	0,18 ± 0,013	0,20 ± 0,025	0,19 ± 0,016	0,19 ± 0,019
Formula 2	0,17 ± 0,064	0,15 ± 0,013	0,13 ± 0,018	0,17 ± 0,004
Formula 3	0,13 ± 0,017	0,13 ± 0,013	0,15 ± 0,031	0,18 ± 0,012

B

Perbandingan Polimer	Konsentrasi dan Jenis *Plasticizer*			
	1% Gliserol	2% Gliserol	1% Sorbitol	2% Sorbitol
Formula 1	97,85 ± 0,490^{b}	95,47 ± 1,577^{d}	98,70 ± 0,523^{a}	97,42 ± 0,496^{bc}
Formula 2	97,28 ± 1,358^{bc}	96,17 ± 0,900^{cd}	84,40 ± 0,137^{e}	83,39 ± 0,992^{e}
Formula 3	83,56 ± 0,308^{e}	82,85 ± 0,502^{e}	82,42 ± 2,695^{e}	83,25 ± 0,263^{e}

C

Perbandingan Polimer	Konsentrasi dan Jenis *Plasticizer*			
	1% Gliserol	2% Gliserol	1% Sorbitol	2% Sorbitol
Formula 1	1,34 ± 0,316^{b}	0,52 ± 0,363^{c}	1,62 ± 0,084^{a}	0,94 ± 0,191^{c}
Formula 2	1,32 ± 0,330^{b}	1,06 ± 0,043^{bc}	-0,29 ± 0,018^{d}	-0,30 ± 0,260^{d}
Formula 3	-0,97 ± 0,059^{de}	-1,17 ± 0,088^{de}	-1,67 ± 0,808^{e}	-1,43 ± 0,141^{e}

D

Perbandingan Polimer	Konsentrasi dan Jenis *Plasticizer*			
	1% Gliserol	2% Gliserol	1% Sorbitol	2% Sorbitol
Formula 1	15,56 ± 0,276^{d}	17,55 ± 0,640^{e}	16,38 ± 1,001^{de}	16,63 ± 0,515^{de}
Formula 2	17,82 ± 1,842^{e}	17,00 ± 0,640^{de}	9,82 ± 0,580^{b}	11,53 ± 1,452^{c}
Formula 3	5,28 ± 0,260^{a}	5,53 ± 0,210^{a}	5,58 ± 0,908^{a}	5,38 ± 0,269^{a}

E

Perbandingan Polimer	Konsentrasi dan Jenis *Plasticizer*			
	1% Gliserol	2% Gliserol	1% Sorbitol	2% Sorbitol
Formula 1	1,38 ± 0,869	1,09 ± 0,329	0,84 ± 0,146	1,01 ± 0,096
Formula 2	1,07 ± 0,304	1,49 ± 0,445	1,26 ± 0,286	1,07 ± 0,195
Formula 3	1,59 ± 0,410	1,80 ± 0,368	1,57 ± 0,731	1,62 ± 0,431

Keterangan: Angka pada satu tabel yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata secara statistika (P > 0,05)

Warna

Seluruh faktor beserta interaksi antar faktor memberikan pengaruh nyata terhadap nilai L, a, dan b *film*. Rata-rata nilai L, a, dan b *biodegradable film* komposit ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil Uji Duncan untuk nilai L menunjukkan bahwa *film* dengan perbandingan nilai pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan sebesar 1:1:1 memiliki nilai tertinggi dan berbeda nyata dengan formula lainnya. Nilai L yang lebih besar pada *film dengan* komposisi kitosan lebih tinggi didukung dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa *film* kitosan memiliki warna kuning terang dengan nilai L, a, dan b sebesar 96.99 ± 0.09, -0.94 ± 0.03, dan 6.29 ± 0.23 secara berurutan (Moalla et al. 2021). *Film* dengan penambahan gliserol memiliki nilai L lebih besar jika dibandingkan dengan sorbitol. Nilai kecerahan tersebut dapat dipengaruhi oleh kemungkinan adanya reaksi Maillard antara sebagian kecil dari monosakarida dengan protein pada kitosan yang menyebabkan *film* menjadi lebih gelap (Zhong et al. 2011, Ma et al. 2021). Perbedaan berat molekul dan ukuran partikel dari gliserol dan sorbitol dapat menjadi pengaruh adanya perbedaan kecerahan *film.* Dispersi partikel yang lebih baik dapat mengakibatkan lebih mudahnya cahaya untuk ditransmisikan sehingga kecerahan akan meningkat (Arifin et al. 2022). Berdasarkan uji Duncan didapatkan bahwa peningkatan konsentrasi penambahan *plasticizer* menghasilkan nilai rata-rata kecerahan yang berbeda. Hasil serupa ditemukan pada penelitian sebelumnya bahwa dengan peningkatan konsentrasi *plasticizer* akan menurunkan nilai L pada *film* (Pak et al., 2020).

Perbandingan polimer memberikan pengaruh berupa terjadinya perbedaan nilai a pada *film*. *Film* dengan jumlah perbandingan kitosan yang lebih besar menunjukkan nilai a yang lebih positif dan berbeda nyata secara statistika. Hal ini bersesuaian dengan kondisi alami film berbahan kitosan yang cenderung berwarna kuning terang (Yan et al. 2021, Moalla et al. 2021). Nilai a pada film dengan penambahan *plasticizer* berbeda menunjukkan perbedaan pada konsentrasi yang sama. Hal tersebut bersesuaian dengan penelitian sebelumnya bahwa film dengan sorbitol memiliki nilai a yang lebih rendah jika dibandingkan dengan gliserol (Arifin et al. 2022).

Film dengan komposisi kitosan lebih tinggi menunjukkan warna lebih kuning. Hal tersebut diakibatkan dengan jumlah kitosan yang lebih tinggi sehingga menyebabkan kemungkinan terjadinya reaksi Maillard (Leceta et al. 2013). Reaksi Maillard terjadi selama proses pembuatan *film* dikarenakan terdapat reaksi antara sebagian komponen pati yang terhidrolisis menjadi gula reduksi dengan komponen protein kitosan. Melanoidin sebagai senyawa hasil dari reaksi Maillard menyebabkan perubahan warna menjadi kuning gelap, yang diindikasikan dengan nilai b yang semakin positif (Li et al. 2021). *Film* dengan penambahan sorbitol memiliki nilai b yang lebih rendah jika dibandingkan dengan *film* dengan penambahan gliserol. Fenomena serupa ditemukan bahwa gliserol dianggap dapat lebih mudah memodifikasi nilai b pada *film* berbahan pati jika dibandingkan dengan sorbitol (Li et al. 2021).

Sifat Optik

Formulasi *biodegradable film* komposit memberikan pengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap sifat opasitas *film*. Rata-rata nilai *opacity biodegradable film* komposit ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil uji Duncan menunjukkan *film* dengan perbandingan 1:0,4:1,6 antara pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan memiliki nilai opasitas tertinggi. Nilai *opacity* biopolimer adalah hasil dari morfologi material. Bahan dengan sifat amorf dapat meningkatkan transmisi cahaya, menghasilkan nilai *opacity* lebih rendah (Fakhoury et al. 2012). Dapat diartikan bahwa *film* dengan bahan bersifat amorf akan lebih transparan bila dibandingkan dengan bahan dengan struktur lebih kristalin (Leonardelli et al. 2020). Susunan rantai acak pada polimer yang bersifat amorf menyebabkan cahaya lebih mudah untuk diteruskan melewati material tanpa pengamburan atau pemantulan. Keberadaan kedua fase pada polimer semikristalin menyebabkan cahaya tampak dapat tersebar pada banyak zona batasan antara daerah kristalin dan amorf. Hamburan cahaya ini menyebabkan lebih sedikit cahaya yang ditransmisikan melalui polimer, sehingga menghasilkan opasitas pada sebagian besar produk polimer semikristalin (Lin et al. 2020).

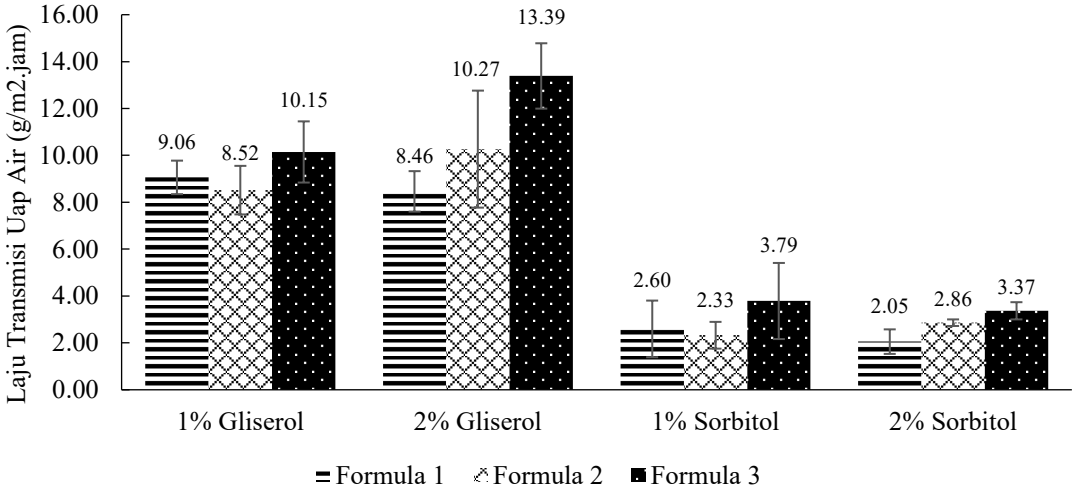
Hal tersebut dapat dikorelasikan dengan perbedaan formulasi yang digunakan. *Film* dengan perbandingan 1:0,4:1,6 antara pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan memiliki jumlah konjak glukomanan tertinggi jika dibandingkan dengan formula lainnya. Dalam bentuk murninya, konjak glukomanan memiliki

sifat lebih amorf (Tatirat and Charoenrein 2011). Sedangkan kitosan dan pati singkong digambarkan sebagai polimer semikristalin (Song et al. 2017, Lopes et al. 2020). Penggabungan diantara ketiga polimer dengan sifat kristalinitas dan amorf berbeda tersebut, menghasilkan *biodegradable film* komposit dengan nilai opasitas yang berada pada 0,84 – 1,80. Nilai tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu pada *film* berbahan konjak glukomanan dan kitosan sebesar 4,27 (Sun et al. 2020). Pada penelitian lain didapatkan bahwa nilai opasitas *film* konjak glukomanan dan kitosan sebesar 1,12 (Ma et al. 2021). Nilai serupa didapatkan pada *film* berbahan pati singkong:kitosan dengan penambahan gelatin pada 1,06 – 1,55 (Escamilla-García et al. 2017)

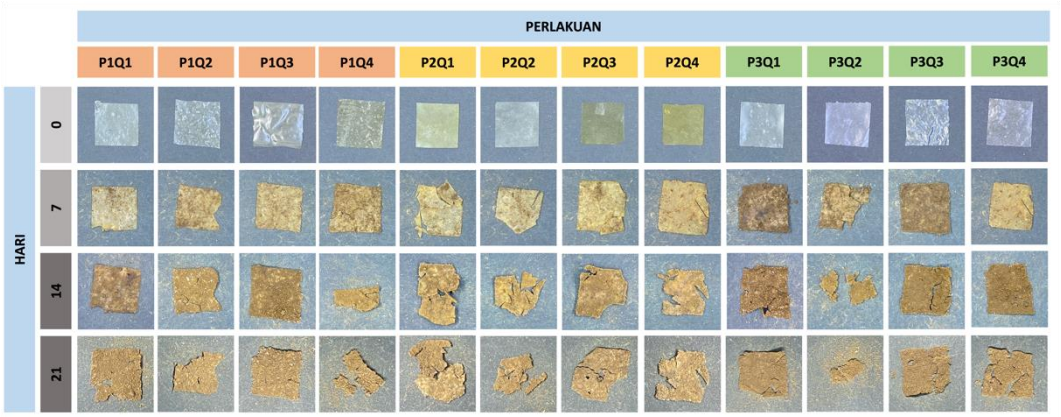
Laju Transmisi Uap Air

Laju transmisi uap air berada pada kisaran 2,05 g/m^2.jam hingga 13,39 g/m^2.jam yang ditunjukkan pada Gambar 2. Jenis perbandingan polimer memberikan pengaruh nyata terhadap nilai laju transmisi uap air. Uji Duncan menunjukkan perbedaan antara nilai laju transmisi uap air *film* dengan formulasi perbandingan antara pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan sebesar 1:0,4:1,6 dibandingkan dengan formulasi *film* lainnya. Tingginya jumlah konjak glukomanan pada *film* dengan formulasi perbandingan antara pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan sebesar 1:0,4:1,6 menyebabkan meningkatnya nilai laju transmisi uap air akibat dari sifat hidrofiliknya (Sun et al. 2019). Formulasi *film* yang memiliki jumlah kitosan yang lebih tinggi dapat dikaitkan dengan sifat natif dari kitosan yang tidak larut dalam air, karena kekuatan antarmolekulnya yang intens (Indriyati et al. 2021). Hal serupa ditemukan pada penelitian terdahulu bahwa blend *film* antara kitosan dengan pati singkong yang menunjukkan permeabilitas lebih rendah jika dibandingkan dengan *film* pati singkong murni (Luchese et al. 2018).

Jenis serta konsentrasi *plasticizer* memberikan pengaruh nyata terhadap nilai laju transmisi uap air. Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa *film* dengan gliserol memiliki laju transmisi uap air yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *film* dengan sorbitol. Hasil serupa ditemukan pada penelitian terdahulu dimana peningkatan konsentrasi gliserol terhadap laju transmisi uap air dapat dikorelasikan dengan peningkatan jarak antara molekul akibat masuknya molekul gliserol sehingga meningkatkan difusibilitas uap air (Singh et al. 2015). Fenomena tersebut berkaitan juga dengan tingginya kadar air pada *film* dengan *plasticizer* gliserol, dimana gliserol memiliki berat molekul lebih kecil serta hidrofilisitas dari gliserol jika dibandingkan dengan sorbitol (Farhan and Hani 2017). Keberadaan *plasticizer* meningkatkan konsentrasi residu polar dalam *film* berbasis hidrokoloid, sehingga memiliki kecenderungan hidrofilik yang lebih besar (Singh et al. 2015).



Gambar 2 Rata-rata nilai laju transmisi uap air *biodegradable film* komposit. Keterangan: Perbandingan polimer pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan (P) 1:1:1 (P1), 1:1.4:0.6 (P2), 1:0.4:1.6 (P3), dan konsentrasi plasticizer (Q) 1% gliserol (Q1), 2% gliserol (Q2), 1% sorbitol (Q3), 2% sorbitol (Q4).



Keterangan: P = Perbandingan formulasi polimer *biodegradable film* komposit antara pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan; Q = Konsentrasi dan jenis *plasticizer.*

Gambar 3 Pengamatan terhadap perubahan kenampakan *biodegradable film* komposit dengan metode soil burial test pada hari ke 0, 7,14, dan 21.

Biodegradabilitas

Biodegradasi merupakan proses kimia yang terjadi akibat keberadaan mikroorganisme di lingkungan yang bergantung pada kondisi lingkungan (suhu, cahaya, oksigen, kelembaban) dan struktur kimia (Nissa et al. 2019). Kemampuan terurai biodegradable film biasanya diukur dengan mengubur film di dalam tanah selama waktu tertentu, diikuti dengan pengambilan dan pengamatan terhadap film yang tersisa (Qi et al. 2021). Proses perubahan dalam uji biodegradabilitas dengan metode soil burial test terjadi dalam tiga langkah yaitu depolimerisasi polimer menjadi monomer dan oligomer, kemudian monomer menjadi biomassa oleh mikroba, dan terjadi respirasi biomassa (Mantia et al. 2020).

Secara umum seluruh film menunjukkan perubahan fisik berupa penyusutan ukuran akibat terdegradasinya film. Seluruh film menunjukkan fenomena biodegradabilitas pada hari ke-14 pengamatan. Hasil tersebut dapat dikorelasikan dengan terdapatnya jumlah kitosan pada seluruh formulasi film. Penelitian serupa menunjukkan bahwa penambahan kitosan pada film berbasis pati mempengaruhi laju penurunan biodegradabilitas pada soil burial test (Chaisuwan et al. 2023). Sifat tidak larut air dari kitosan menyebabkan sukar bereaksinya atau sulit terdegradasinya film oleh kandungan air yang terdapat pada tanah. Glukomanan memiliki kecenderungan afinitas dengan molekul air disebabkan adanya gugus asetil dan hidroksil (Ni et al. 2021). Gliserol menunjukkan afinitas air yang lebih besar dibandingkan dengan sorbitol, sehingga memiliki sifat hidrofilik (Suzana et al. 2009). Kemampuan film komposit dalam menyerap air dapat mempengaruhi biodegradabilitasnya. Mikroorganisme menggunakan matriks polimer sebagai sumber energi, sedangkan air yang diserap memfasilitasi pertumbuhan mikroba pada film dan meningkatkan aktivitas enzimatik mikroorganisme yang melemahkan rantai polimer (Gan et al. 2021). Semakin tinggi jumlah air yang dapat diserap oleh biodegradable film komposit maka semakin cepat degradasinya. Perbandingan jumlah glukomanan yang lebih tinggi dan penambahan 2% gliserol pada film P3Q2 menunjukkan kemampuan biodegradasi yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan kemampuan mengikat molekul air yang tinggi pada film tersebut, sehingga akan menfasilitasi aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan film tersebut.

KESIMPULAN

Jenis perbandingan polimer menghasilkan perbedaan terhadap nilai rata-rata ketebalan, warna (L, a, b), laju transmisi uap air, dan opacity. Jenis serta konsentrasi plasticizer menghasilkan perbedaan terhadap nilai rata-rata kadar air, warna (L, a, b), dan laju transmisi uap air. Interaksi antara jenis perbandingan polimer dan jenis serta konsentrasi plasticizer menghasilkan perbedaan nilai rata-rata warna (L, a, b). Film dengan perbandingan 1:1:1 antara pati singkong termodifikasi : kitosan : glukomanan memiliki sifat mekanik berupa ketebalan dan laju transmisi uap air yang lebih baik jika dibandingkan dengan

formulasi lainnya. Perlakuan film formula 1 dengan penambahan 2% sorbitol memiliki nilai ketebalan 0,19 mm dan laju transmisi uap air 2,05 g/m2.jam. Parameter kadar air, warna, sifat optik dan biodegradabilitas dari film dengan formulasi tersebut menunjukkan hasil yang baik jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Sehingga film yang dihasilkan dapat direkomendasikan menjadi pengemas produk pangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Indonesia melalui program pendanaan "Hibah Penelitian Pascasarjana" dengan nomor kontrak: 128/E5/PG.02.00.PL/2023.

DAFTAR PUSTAKA

Abduwaiti, A., X. Liu, C. Yan, Y. Xue, T. Jin, H. Wu, P. He, Z. Bao, and Q. Liu. 2021. Testing biodegradable films as alternatives to plastic-film mulching for enhancing the yield and economic benefits of processed tomato in xinjiang region. *Sustainability (Switzerland)* 13(6).

AOAC (Assosiation of Official Analytical Chemist). 2005. *Official methods of analysis of AOAC International*. Page (W. Horwitz and G. W. Latimer Jr., editors). 18th Edition. AOAC International, Washington DC.

Arifin, H. R., M. Djali, B. Nurhadi, S. A. Hasim, A. Hilmi, and A. V. Puspitasari. 2022. Improved properties of corn starch-based bio-nanocomposite film with different types of plasticizers reinforced by nanocrystalline cellulose. *International Journal of Food Properties* 25(1):509–521.

Bhatia, S., A. Al-Harrasi, M. Jawad, Y. A. Shah, M. S. Al-Azri, S. Ullah, E. Oz, F. Oz, E. Koca, and L. Y. Aydemir. 2023. Development, Characterization, and Assessment of Antioxidant Pectin-Sodium Alginate Based Edible Films Incorporated with Cassia Essential Oil . *International Journal of Food Science & Technology*.

Chaisuwan, K., D. Anurakumphan, S. Hemmanee, J. Ruamcharoen, and M. Leelakriangsak. 2023. Soil Burial Degradation of Starch-Based Films on Microbial Load and Plant Growth. *Journal of Sustainability Science and Management* 18(3):110–124.

Chollakup, R., S. Pongburoos, W. Boonsong, N. Khanoonkon, K. Kongsin, R. Sothornvit, P. Sukyai, U. Sukatta, and N. Harnkarnsujarit. 2020. Antioxidant and antibacterial activities of cassava starch and whey protein blend films containing rambutan peel extract and cinnamon oil for active packaging. *LWT* 130.

Dai, L., H. Yu, J. Zhang, and F. Cheng. 2021. Preparation and characterization of cross-linked starch nanocrystals and self-reinforced starch-based nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules* 181:868–876.

Dai, L., J. Zhang, and F. Cheng. 2019. Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules* 132:897–905.

Escamilla-García, M., A. Reyes-Basurto, B. E. García-Almendárez, E. Hernández-Hernández, G. Calderón-Domínguez, G. Rossi-Márquez, and C. Regalado-González. 2017. Modified starch-chitosan edible films: Physicochemical and mechanical characterization. *Coatings* 7(12).

Fakhouri, F. M., S. M. Martelli, T. Caon, J. I. Velasco, and L. H. I. Mei. 2015. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology* 109:57–64.

Fakhoury, F. M., S. Maria Martelli, L. Canhadas Bertan, F. Yamashita, L. H. Innocentini Mei, and F. P. Collares Queiroz. 2012. Edible films made from blends of manioc starch and gelatin - Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. *LWT* 49(1):149–154.

Farhan, A., and N. M. Hani. 2017. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Hydrocolloids* 64:48–58.

Fitriani, F., S. Aprilia, N. Arahman, M. R. Bilad, F. Djuned, U. Fathanah, H. Meilina, and A. Amin. 2023. Studies of exposure UV light,

soil Burial, and storage ability effect on characteristics of biocomposite films. *Materials Today: Proceedings*.

Galus, S., H. Mathieu, A. Lenart, and F. Debeaufort. 2012. Effect of modified starch or maltodextrin incorporation on the barrier and mechanical properties, moisture sensitivity and appearance of soy protein isolate-based edible films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16:148–154.

Gan, P. G., S. T. Sam, M. F. Abdullah, M. F. Omar, and W. K. Tan. 2021. Water resistance and biodegradation properties of conventionally-heated and microwave-cured cross-linked cellulose nanocrystal/chitosan composite films. *Polymer Degradation and Stability* 188.

Gontard, N., S. Guilbert, and J.-L. Cuq. 1993. Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. *Journal of Food Science* 58(1):206–2011.

Harsojuwono, B. A., A. Hartiati, and S. Hatiningsih. 2021. Characteristics of the Glucomannan - Modified Cassava Starch Biothermoplastic Composites on the Variety of Types and Concentrations of Reinforcing Materials. *International Journal of Pharmaceutical Research* 13(02):912–923.

Harsojuwono, B. A., S. Mulyani, and I. W. Arnata. 2020. Bio-plastic composite characteristics of the modified cassava starch-glucomannan in variations of types and addition of fillers. *Journal of Applied Horticulture* 22(3):176–183.

Ibrahim, M. I. J., S. M. Sapuan, E. S. Zainudin, and M. Y. M. Zuhri. 2019. Physical, thermal, morphological, and tensile properties of cornstarch-based films as affected by different plasticizers. *International Journal of Food Properties* 22(1):925–941.

Indriyati, F. Dara, I. Primadona, Y. Srikandace, and M. Karina. 2021. Development of bacterial cellulose/chitosan films: structural, physicochemical and antimicrobial properties. *Journal of Polymer Research* 28(3).

Islam, H. B. M. Z., M. A. B. H. Susan, and A. Bin Imran. 2020. Effects of Plasticizers and Clays on the Physical, Chemical, Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Potato Starch-Based Nanocomposite Films. *ACS Omega* 5(28):17543–17552.

Jaderi, Z., F. Tabatabaee Yazdi, S. A. Mortazavi, and A. Koocheki. 2023. Effects of glycerol and sorbitol on a novel biodegradable edible film based on Malva sylvestris flower gum. *Food Science and Nutrition* 11(2):991–1000.

Jannatyha, N., S. Shojaee-Aliabadi, M. Moslehishad, and E. Moradi. 2020. Comparing mechanical, barrier and antimicrobial properties of nanocellulose/CMC and nanochitosan/CMC composite films. *International Journal of Biological Macromolecules* 164:2323–2328.

Jorge, F. F., C. C. Edith, R. S. Eduardo, S. M. Jairo, and C. V. Héctor. 2023. Hydrothermal processes and simultaneous enzymatic hydrolysis in the production of modified cassava starches with porous-surfaces. *Heliyon* 9(7).

Kavas, G., N. Kavas, and D. Saygili. 2015. The Effects of Thyme and Clove Essential Oil Fortified Edible Films on the Physical, Chemical and Microbiological Characteristics of Kashar Cheese. *Journal of Food Quality* 38(6):405–412.

Kumar, R., G. Ghoshal, and M. Goyal. 2021, April 1. Biodegradable composite films/coatings of modified corn starch/gelatin for shelf life improvement of cucumber. Springer.

Kumari, N., S. P. Bangar, M. Petrů, R. A. Ilyas, A. Singh, and P. Kumar. 2021. Development and characterization of fenugreek protein-based edible film. *Foods* 10(9):1–13.

Kustyawati, M. E., A. Rangga, and S. Setyani. 2016. The Role of Saccharomyces cerevisiae as Modification Agent on The Cassava Starch. Pages 117–124 *Improving Food Security : The Challenges for Enhancing Resilience to Climate Change*.

Leceta, I., P. Guerrero, and K. De La Caba. 2013. Functional properties of chitosan-based films. Pages 339–346 *Carbohydrate Polymers*.

Leonardelli, C., W. P. Silvestre, and C. Baldasso. 2020. Effect of Chitosan Addition in Whey-based Biodegradable Films. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 63.

Li, Y., K. Chen, Q. Yang, H. Hong, L. Feng, and Y. Luo. 2021. Development and characterization of novel antioxidant films based on chitosan and Maillard reaction products. *LWT* 141.

Lin, Y., E. Bilotti, C. W. M. Bastiaansen, and T. Peijs. 2020, October 1. Transparent semi-crystalline polymeric materials and their nanocomposites: A review. John Wiley and Sons Inc.

Lopes, P. P., E. H. Tanabe, and D. A. Bertuol. 2020. Chitosan as biomaterial in drug delivery and tissue engineering. Pages 407–431 *Handbook of Chitin and Chitosan: Volume 3: Chitin- and Chitosan-based Polymer Materials for Various Applications*. Elsevier.

Luchese, C. L., J. M. F. Pavoni, N. Z. dos Santos, L. K. Quines, L. D. Pollo, J. C. Spada, and I. C. Tessaro. 2018. Effect of chitosan addition on the properties of films prepared with corn and cassava starches. *Journal of Food Science and Technology* 55(8):2963–2973.

Ma, S., Y. Zheng, R. Zhou, and M. Ma. 2021. Characterization of chitosan films incorporated with different substances of konjac glucomannan, cassava starch, maltodextrin and gelatin, and application in mongolian cheese packaging. *Coatings* 11(1):1–16.

Mantia, F. P. L., L. Ascione, M. C. Mistretta, M. Rapisarda, and P. Rizzarelli. 2020. Comparative investigation on the soil burial degradation behaviour of polymer films for agriculture before and after photo-oxidation. *Polymers* 12(4).

Moalla, S., I. Ammar, M. L. Fauconnier, S. Danthine, C. Blecker, S. Besbes, and H. Attia. 2021. Development and characterization of chitosan films carrying Artemisia campestris antioxidants for potential use as active food packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules* 183:254–266.

Nair, S. B., J. Alummoottil N, and S. Moothandasserry S. 2017. Chitosan-konjac glucomannan-cassava starch-nanosilver composite films with moisture resistant and antimicrobial properties for food-packaging applications. *Starch/Staerke* 69(1–2).

Ni, Y., Y. Liu, W. Zhang, S. Shi, W. Zhu, R. Wang, L. Zhang, L. Chen, J. Sun, J. Pang, and J. Wang. 2021, December 1. Advanced konjac glucomannan-based films in food packaging: Classification, preparation, formation mechanism and function. Academic Press.

Nissa, R. C., A. K. Fikriyyah, A. H. D. Abdullah, and S. Pudjiraharti. 2019. Preliminary study of biodegradability of starch-based bioplastics using ASTM G21-70, dip-hanging, and Soil Burial Test methods. Page *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing.

Oyeyinka, S. A., A. A. Adeloye, O. O. Olaomo, and E. Kayitesi. 2020. Effect of fermentation time on physicochemical properties of starch extracted from cassava root. *Food Bioscience* 33.

Pak, E. S., S. N. Ghaghelestani, and M. A. Najafi. 2020. Preparation and characterization of a new edible film based on Persian gum with glycerol plasticizer. *Journal of Food Science and Technology* 57(9):3284–3294.

Pérez-Vergara, L. D., M. T. Cifuentes, A. P. Franco, C. E. Pérez-Cervera, and R. D. Andrade-Pizarro. 2020. Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS Journal* 21:39–49.

Qi, R., D. L. Jones, Q. Liu, Q. Liu, Z. Li, and C. Yan. 2021. Field test on the biodegradation of poly(butylene adipate-co-terephthalate) based mulch films in soil. *Polymer Testing* 93.

Rahmawati, M., M. Arief, and W. H. Satyantini. 2019. The Effect of Sorbitol Addition on the Characteristic of Carrageenan Edible Film. Page *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing.

Saberi, B., S. Chockchaisawasdee, J. B. Golding, C. J. Scarlett, and C. E. Stathopoulos. 2017. Physical and mechanical properties of a new edible film made of pea starch and guar gum as affected by glycols, sugars and polyols. *International Journal of Biological Macromolecules* 104:345–359.

Santana, J. S., K. de Carvalho Costa, P. R. Rodrigues, P. R. C. Correia, R. S. Cruz, and J. I. Druzian. 2019. Morphological, barrier, and mechanical properties of cassava starch films reinforced with cellulose and starch

nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science* 136(4).

Singh, T. P., M. K. Chatli, and J. Sahoo. 2015. Development of chitosan based edible films: process optimization using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology* 52(5):2530–2543.

Song, M. R., S. H. Choi, S. M. Oh, H. yun Kim, J. E. Bae, C. S. Park, B. Y. Kim, and M. Y. Baik. 2017. Characterization of amorphous granular starches prepared by high hydrostatic pressure (HHP). *Food Science and Biotechnology* 26(3):671–678.

Suderman, N., M. I. N. Isa, and N. M. Sarbon. 2018, August 1. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. Elsevier Ltd.

Sun, J., Y. Du, J. Ma, Y. Li, L. Wang, Y. Lu, J. Zou, J. Pang, and C. Wu. 2019. Transparent bionanocomposite films based on konjac glucomannan, chitosan, and TEMPO-oxidized chitin nanocrystals with enhanced mechanical and barrier properties. *International Journal of Biological Macromolecules* 138:866–873.

Sun, J., H. Jiang, H. Wu, C. Tong, J. Pang, and C. Wu. 2020. Multifunctional bionanocomposite films based on konjac glucomannan/chitosan with nano-ZnO and mulberry anthocyanin extract for active food packaging. *Food Hydrocolloids* 107.

Suzana, M., G. Maria Victória Eiras, G. Alejandra, M. Miriam, and Z. Noemi E. 2009. Antiplasticizing effect of glycerol and sorbitol on the properties of cassava starch films Efeito antiplastificante de glicerol e sorbitol nas propriedades de filmes de amido de mandioca. *Brazilian Journal of Food Technology* 11(3):194–200.

Tatirat, O., and S. Charoenrein. 2011. Physicochemical properties of konjac glucomannan extracted from konjac flour by a simple centrifugation process. *LWT* 44(10):2059–2063.

Wang, K., K. Wu, M. Xiao, Y. Kuang, H. Corke, X. Ni, and F. Jiang. 2017. Structural characterization and properties of konjac glucomannan and zein blend films. *International Journal of Biological Macromolecules* 105:1096–1104.

Wu, C., Y. Li, Y. Du, L. Wang, C. Tong, Y. Hu, J. Pang, and Z. Yan. 2019a. Preparation and characterization of konjac glucomannan-based bionanocomposite film for active food packaging. *Food Hydrocolloids* 89:682–690.

Wu, C., Y. Zhu, T. Wu, L. Wang, Y. Yuan, J. Chen, Y. Hu, and J. Pang. 2019b. Enhanced functional properties of biopolymer film incorporated with curcurmin-loaded mesoporous silica nanoparticles for food packaging. *Food Chemistry* 288:139–145.

Xiao, H., F. Yang, Q. Lin, Q. Zhang, W. Tang, L. Zhang, D. Xu, and G. Q. Liu. 2019. Preparation and properties of hydrophobic films based on acetylated broken-rice starch nanocrystals for slow protein delivery. *International Journal of Biological Macromolecules* 138:556–564.

Xu, J., R. Xia, L. Zheng, T. Yuan, and R. Sun. 2019. Plasticized hemicelluloses/chitosan-based edible films reinforced by cellulose nanofiber with enhanced mechanical properties. *Carbohydrate Polymers* 224.

Yan, J., R. Cui, Y. Qin, L. Li, and M. Yuan. 2021. A pH indicator film based on chitosan and butterfly pudding extract for monitoring fish freshness. *International Journal of Biological Macromolecules* 177:328–336.

Zhao, J., Y. Wang, and C. Liu. 2022. Film Transparency and Opacity Measurements. *Food Analytical Methods* 15(10):2840–2846.

Zhong, Y., X. Song, and Y. Li. 2011. Antimicrobial, physical and mechanical properties of kudzu starch-chitosan composite films as a function of acid solvent types. *Carbohydrate Polymers* 84(1):335–342.

Zhuang, C., Y. Jiang, Y. Zhong, Y. Zhao, Y. Deng, J. Yue, D. Wang, S. Jiao, H. Gao, H. Chen, and H. Mu. 2018. Development and characterization of nano-bilayer films composed of polyvinyl alcohol, chitosan and alginate. *Food Control* 86:191–199.