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

Formulasi dan karakterisasi *biodegradable film* berbahan *chitosan* dan *sodium alginate* dengan kombinasi pati ganyong dan konjak glukomanan

David Rusliman, Rumpoko Wicaksono, Condro Wibowo*

Teknologi Pangan, Universitas Jenderal Soedirman, Banyumas, Indonesia

Article history
Diterima:
9 Februari 2024
Diperbaiki:
18 Mei 2024
Disetujui:
3 Oktober 2024

Keyword
biodegradable film;
chitosan;
canna starch;
konjac glucomannan;
sodium alginate;

ABSTRACT

Biodegradable film is an alternative way to reduce conventional plastic based on petroleum, which is difficult to degrade and can cause severe environmental pollution. Biodegradable films based on chitosan, sodium alginate, sodium alginate combined with canna starch and konjac glucomannan were investigated in this research. This research aims to determine the mechanical characteristics and optimum of different polymer types and the plasticizer concentration added to the biodegradable film solution. This research was done in a completely randomized design on twelve treatment combinations. The total formulation used for each type of polymer is 2% (w/v), and the concentration of sorbitol is 1% (v/v), 1,5% (v/v), and 2% (v/v). The average thickness of this research is 0,15 – 0,20 mm, the average moisture content value for each treatment ranges from 18% - 30%, the elongation value ranges from 11,75 – 59,94%, the tensile strength value ranges from 0,033 – 0,277 MPa and Water Vapor Transpiration Rate value (WVTR) range from 2,65 – 5,91 (g/m^2.hour). The mechanical characteristics of food packaging materils are based on the value of elongation, WVTR, and tensile strength. Code P4S2 has the applicable value of elongation, WVTR, and tensile strength, with an elongation value of 51.75%, WVTR of 3.36 (g/m^2.hour) and tensile strength of 0,05 MPa.

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.v19i2.24744

PENDAHULUAN

Kemasan plastik merupakan kemasan yang banyak digunakan pada berbagai sektor kehidupan, di mana kemasan plastik ini diketahui memiliki kelebihan yaitu ringan, mudah dibawa dan digunakan, relatif tahan terhadap berbagai jenis karakteristik produk yang dikemas serta memiliki kekuatan mekanis yang baik (Zhang et al. 2023). Kelebihan dari plastik konvensional tersebut juga memiliki kekurangan yaitu dapat mencemari ekosistem lingkungan karena sulit terdegradasi (Dai et al. 2021). Dewasa ini banyak dikembangkan berbagai teknologi untuk mengurangi ketergantungan terhadap kemasan plastik, salah satunya adalah *biodegradable film. Biodegradable film* merupakan lapisan tipis yang mudah terdegradasi atau terurai dan memiliki kemampuan perlindungan layaknya plastik berbahan petroleum (plastik konvensional) yang diaplikasikan pada produk pangan untuk menghindari paparan kontaminan pada produk, menjaga kualitas dan mutu produk, mempertahankan kandungan nutrisi, dan dapat memperpanjang umur simpan produk (Kong et al. 2023).

Biodegradable film umumnya dibuat dari bahan polisakarida, protein, dan lipid (Suhag et al. 2020). Bahan utama tersebut akan menentukan bagaimana karakteristik *biodegradable film* yang dihasilkan. *Chitosan* (Liu et al. 2019; Wantat et al. 2022)*, sodium alginate* (Kontominas, 2020; Tong et al. 2023)*,* pati ganyong (Purwitasari et al. 2023; Wibowo et al. 2019)dan konjak glukomanan (Liu et al. 2020; Ni et al. 2021) merupakan contoh bahan dari polisakarida yang dapat diaplikasikan sebagai *biodegradable film.* Bahan baku polisakarida cukup melimpah dan memiliki kelebihan serta kekurangan masing – masing, sehingga menarik untuk dikaji bagaimana karakteristik *biodegradable film* yang terbentuk dari bahan tersebut (Wibowo et al. 2024).

Penelitian ini menggunakan *chitosan* sebagai polimer yang sudah banyak digunakan sebagai bahan baku dari *biodegradable film*. *Chitosan* yang sudah umum digunakan memiliki ukuran partikel yang relatif besar dan memiliki kekurangan yaitu reaktivitasnya rendah, dari kekurangan tersebut digunakan mikro partikel *chitosan* yang diharapkan mampu memiliki reaktivitas yang lebih baik dibandingkan dengan *chitosan* dalam ukuran partikel yang besar (Rosyada et al. 2019).

Sodium alginate memiliki potensi sebagai *biodegradable film* yang memiliki formasi lapisan dan stabilitas emulsi yang baik (Bao et al. 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad et al. 2020; Baek et al. 2021; Li et al. 2022; Liu et al. 2021 menyatakan bahwa bahan baku *sodium alginate* memiliki karakteristik mekanis yang baik. *Sodium alginate* mudah larut dalam air sehingga potensial untuk dikombinasikan dengan polisakarida lain yang larut air, sebagai contoh adalah pati ganyong dan konjak glukomanan. Pati ganyong memiliki kelebihan di mana memiliki kandungan amilopektin yang tinggi sehingga memiliki fleksibilitas yang baik untuk digunakan pada pembuatan *biodegradable film* (Wibowo et al. 2019). Pati ganyong memiliki kekurangan di mana lapisan *film* yang terbentuk mudah mengalami *crack* atau patahan ketika sudah kering. Berdasarkan kekurangan tersebut, pada penelitian ini dilakukan kombinasi *sodium alginate* dan pati ganyong agar menghasilkan sifat *biodegradable film* yang baik.

Bahan baku lain yang dapat digunakan sebagai bahan baku *biodegradable film* yaitu konjak glukomanan yang berasal dari umbi porang. Dalam penelitian Xiang et al. (2021), penggunaan konjak glukomanan yang dikombinasikan dengan pati jagung dapat menghasilkan *biodegradable film* yang memiliki sifat *elongation* yang baik, dan memiliki kemampuan sebagai *barrier* yang baik terhadap uap air dan oksigen lingkungan. Selain itu, konjak glukomanan memiliki biokompabilitas, degradabilitas dan kemampuan pembentukan film yang baik (Zhang et al. 2022). Disamping kelebihan tersebut, terdapat kekurangan dari *biopolymer* berbahan konjak glukomanan yaitu memiliki viskositas tinggi yang berkisar 30.000 cps karena memiliki daya serap yang tinggi terhadap pelarut air (Zhang et al. 2022). Alternatif untuk mengatasi kekurangan tersebut adalah mengombinasikan konjak glukomanan dengan *sodium alginate* yang mudah larut air namun tidak memiliki kemampuan penyerapan air yang tinggi dan viskositasnya rendah.

Plasticizer perlu ditambahkan untuk meningkatkan elastisitas sehingga lapisan *biodegradable film* yang terbentuk tidak mudah mengalami kerusakan. *Plasticizer* yang dapat digunakan adalah sorbitol. Sorbitol memiliki kemampuan yang baik dalam meningkatkan karakteristik mekanis terutama elastisitas pada

biodegradable film yang dibentuk (Paudel et al. 2023).

Penggunaan *chitosan* berukuran mikro partikel, kombinasi antara *sodium alginate* dengan pati ganyong dan konjak glukomanan merupakan topik yang menarik untuk dikaji lebih lanjut mengenai karakteristik mekanis dari berbagai polimer yang digunakan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik mekanis dan formulasi terpilih dari perbedaan jenis polimer, serta konsentrasi *plasticizer* yang ditambahkan pada larutan *biodegradable film* untuk menghasilkan *film* yang memiliki karakteristik mekanis terbaik.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas *chitosan* dari PT Agrotekno Estetika Laboratoris (Yogyakarta, Indonesia) yang sudah dilakukan analisis ukuran partikel menggunakan *particle size analyzer* dengan ukuran partikel sebesar 1,326 µm, *sodium alginate* dari PT Mega Inovasi Organik (Jakarta, Indonesia), pati ganyong dari CV. Progress Jogja (Yogyakarta, Indonesia) dengan kadar total pati 86,23% (bk), kadar amilosa 25,81% (bk), kadar amilopektin 60,42% (bk) dan konjak glukomanan dari Chengdu Root Industry Co., LTD. (Chengdu, China), akuades, sorbitol, *silica gel* dan NaCl dari Toko Kimia Prima (Purwokerto, Indonesia).

Pembuatan biodegradable film

Pembuatan *biodegradable film* dilakukan dari *chitosan* yang dilarutkan dengan larutan asam asetat yang memiliki konsentrasi 1% (v/v). Selain menggunakan *chitosan* digunakan juga *sodium alginate*. Pembuatan kedua jenis bahan baku tersebut ditujukan sebagai pembanding dengan perlakuan kombinasi pati ganyong maupun konjak glukomanan. Metode pembuatan larutan dilakukan berdasarkan penelitian Li et al. (2022) dengan modifikasi. Berdasarkan polimer yang digunakan, akan dibuat larutan *chitosan* 2% (b/v), *sodium alginate* 2% (b/v), larutan *sodium alginate* yang dikombinasikan dengan pati ganyong dengan perbandingan *sodium alginate* 1% (b/v) dan pati ganyong 1% (b/v), dan larutan *sodium alginate* yang dikombinasikan dengan konjak glukomanan dengan perbandingan *sodium alginate* 1,5% (b/v) dan konjak glukomanan 0,5% (b/v). Seluruh perbedaan perlakuan polimer tersebut ditambahkan sorbitol dengan perbedaan konsentrasi 1% (v/v), 1,5% (v/v) dan 2% (v/v). Kombinasi perlakuan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Larutan disiapkan dengan cara melarutkan setiap polimer pada 300 ml akuades, ditambahkan sorbitol sesuai konsentrasi, untuk polimer *chitosan* hanya dilakukan pengadukan pada suhu ruang selama 60 menit dan pada bahan polisakarida yang lain dilakukan pengadukan sekaligus pemanasan sampai suhu 80 °C selama 40 menit hingga tergelatinisasi. Setelah tergelatinisasi, dilakukan pengondisian larutan untuk menurunkan suhunya menjadi suhu ruang, selanjutnya larutan sebanyak 250 ml dituangkan pada *glass molding* yang berukuran 25 × 15 cm dan dikeringkan menggunakan *food dehydrator* dengan suhu 35 °C selama 18 jam. Setelah kering, *biodegradable film* dikondisikan kembali dan dilepas dari *glass molding*.

Ketebalan biodegradable film

Pengukuran ketebalan *biodegradable film* dilakukan berdasarkan Keawpeng et al. (2022), dengan menggunakan mikrometer sekrup yang diukur pada 10 titik yang berbeda kemudian diambil hasil rata – ratanya. Sebelum diukur, sampel dikondisikan pada suhu 25°C dengan RH 60 – 70%.

Tabel 1 Kombinasi perlakuan penelitian

Formulasi polimer (b/v)		Konsentrasi sorbitol (v/v) 1% (S1)	1,5% (S2)	2% (S3)
Chitosan 2%	(P1)	P1S1	P1S2	P1S3
Sodium alginate 2%	(P2)	P2S1	P2S2	P2S3
Sodium alginate 1% : pati ganyong 1%	(P3)	P3S1	P3S2	P3S3
Sodium alginate 1,5% : konjak glukomanan 0,5%	(P4)	P4S1	P4S2	P4S3

Kadar air

Pengukuran kadar air *biodegradable film* diukur dengan menggunakan metode gravimetri yang mengacu pada AOAC (2005) dan dimodifikasi sesuai penelitian Keawpeng et al. (2022). Cawan porselen dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu 100 – 105 °C. Selanjutnya cawan dimasukkan ke dalam desikator untuk didinginkan selama 10 menit dan ditimbang cawan porselen setelah dingin. Sampel sebanyak 2 gram dimasukkan ke dalam cawan dan ditimbang cawan, selanjutnya sampel tersebut dimasukkan dalam oven pada suhu 100 – 105°C. Penimbangan dilakukan setiap interval waktu 2 jam sampai tercapai bobot konstan. Kadar air dihitung dengan Persamaan (1).

$$\text{KA (\%)} = \frac{(\text{B0 (g)} - \text{B1 (g)})}{\text{B0 (g)}} \times 100\% \quad (1)$$

KA (Kadar Air) dinyatakan dalam persentase (%), B0 adalah berat awal dan B1 adalah berat akhir sampel setelah pengeringan.

Uji karakteristik mekanis

Uji karakteristik mekanis terdiri dari pengujian *tensile strength* dan *elongation.* Pengujian tersebut merupakan pengujian untuk mengetahui bagaimana karakteristik mekanis yang terbentuk pada *biodegradable film*. Pengujian *tensile strength* merepresentasikan kekuatan tarik dari *biodegradable film* tersebut. *Elongation* adalah nilai perpanjangan dari *biodegradable film*. Pengujian tersebut dilakukan dengan metode Singha et al. (2023) menggunakan intrumen *Universal Testing Machine* (UTM) *Stable Micro System TA-XT Plus,* dengan merujuk pada ASTM D882-12 untuk ukuran sampel yang digunakan. Sampel dipersiapkan dengan ukuran panjang 100 mm dan lebar 20 mm. Ketebalan *biodegradable film* berkisar antara 0,15 – 0,20 mm. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan,

$$\text{TS} = \frac{\text{A}}{\text{B}} \quad (2)$$

$$\text{E (\%)} = \frac{\text{C}}{\text{D}} \times 100 \quad (3)$$

Dimana TS *(Tensile strength*) atau kuat tarik (Persamaan (2)), A merupakan nilai kuat tarik maksimum saat sampel terputus, B merupakan luas area melintang spesimen. Sedangkan untuk nilai E.*(Elongation)* (Persamaan (3)) dinyatakan dalam bentuk persentase. C merupakan nilai perpanjangan saat terputus, dan D merupakan panjang awal dari *biodegradable film*.

Warna biodegradable film

Pengukuran atau analisis warna dilakukan dengan *color reader* untuk mendapatkan nilai warna dalam skala *Hunter* (L*, a* dan b*). Pengukuran ini menggunakan metode dari penelitian Du et al. (2021), yang dimodifikasi. Pengukuran dilakukan pada 10 titik yang berbeda.

Laju transmisi uap air

Metode dalam pengujian laju transmisi uap air dilakukan berdasarkan ASTM *Standard Method E96-00* dalam Patel et al. (2023) untuk mengukur laju transmisi uap air dengan menggunakan *silica gel* dan cawan porselen. Sampel dipotong sesuai ukuran cawan, ditambahkan *silica gel* di dalamnya, kemudian diberi perekat lalu ditimbang dengan ketelitian 0,001 gram. Sampel tersebut diletakan pada desikator yang sudah ditambahkan NaCl jenuh di bagian bawahnya sehingga RH lingkungan dapat diatur menjadi 73 – 75%. Cawan ditimbang pada interval waktu yang ditetapkan dan dilakukan pengukuran penambahan berat cawan pada setiap interval waktu tersebut. Pengukuran penambahan berat caran dapat dilakukan dengan Persamaan (4).

$$\text{Laju transmisi uap air} = \frac{\text{n}}{\text{T} \times \text{A}} \quad (4)$$

Laju transmisi uap air dinyatakan dalam satuan g/m^2. jam, dengan n sebagai selisih pertambahan berat (g), T sebagai selisih waktu yang digunakan (2 jam), dan A luas penampang *biodegradable film* atau cawan porselen (m^2).

Analisis Statistika

Data yang diperoleh dari pengamatan akan dianalisis dengan menggunakan *two-way analysis of variance* (ANOVA) dengan tingkat ketelitian 95%, jika didapatkan hasil berpengaruh nyata terhadap variabel maka dilanjutkan dengan Analisis DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) dengan tingkat ketelitian 95% untuk mengetahui perbedaan antara sampel. Formulasi terpilih dilakukan berdasarkan uji indeks efektivitas dari parameter *elongation,* laju transmisi uap air, *tensile strength* dan ketebalan.

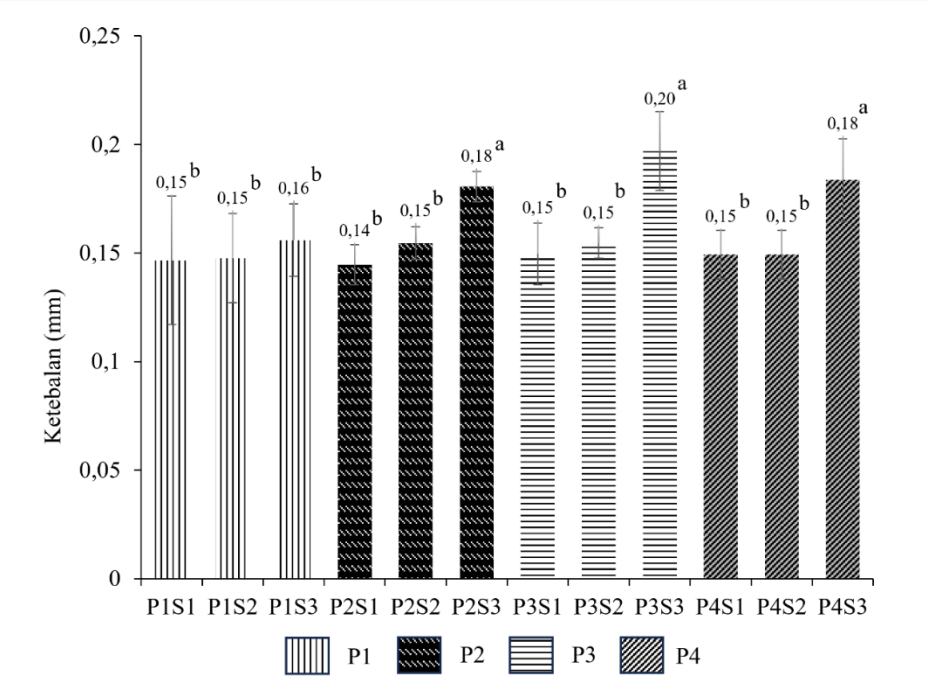
HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketebalan

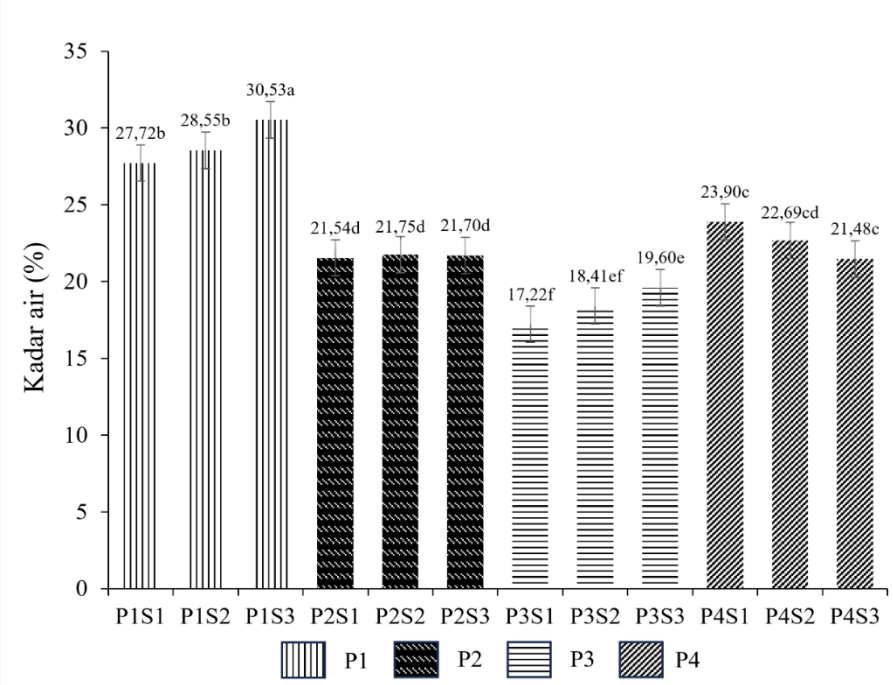
Ketebalan *biodegradable film* yang diproduksi tersaji pada Gambar 1. Nilai ketebalan dari gambar tersebut diketahui berkisar antara 0,15 – 0,20 mm. Hasil pengujian analisis ragam dua arah, didapatkan bahwa perbedaan jenis polimer yang digunakan berpengaruh nyata pada ketebalan yang dihasilkan ($P < 0,05$), dan terdapat perbedaan nyata pada perbedaan konsentrasi *plasticizer* ($P < 0,05$). Makin tinggi *plasticizer* ditambahkan maka makin tebal *biodegradable film* yang dihasilkan. Nilai ketebalan pada bahan *chitosan* dengan kode P1S1, P1S2 dan P1S3 adalah 0,15 mm, 0,15 mm dan 0,16 mm. *Sodium alginate* dengan kode P2S1, P2S2 dan P2S3 memiliki ketebalan sebesar 0,14mm, 0,15 mm dan 0,18 mm. Nilai ketebalan *sodium alginate* yang dikombinasikan dengan pati ganyong dengan kode P3S1, P3S2 dan P3S3 adalah 0,15mm, 0,15 mm dan 0,20 mm. *Sodium alginate* yang dikombinasikan dengan konjak glukomanan dengan kode P4S1, P4S2, dan P4S3 nilainya adalah 0,15 mm, 0,15 mm dan 0,18 mm.

Nilai ketebalan tertinggi terjadi pada kombinasi antara *sodium alginate* dan pati ganyong. Jumlah konsentrasi total padatan terlarut yang ditambahkan pada formulasi tersebut berimbang yaitu masing – masing 1% (b/v). Peningkatan ketebalan seiring dengan peningkatan konsentrasi padatan yang dilarutkan pada proses pembuatan larutan *biodegradable film* juga terdapat pada penelitian Ávalos et al. (2020), di mana makin tinggi jumlah protein yang dilarutkan maka akan meningkatkan nilai ketebalan dari *biodegradable film* yang dihasilkan.

Perbedaan konsentrasi *plasticizer* sorbitol yang ditambahkan juga memengaruhi ketebalan *biodegradable film* yang dihasilkan. Konsentrasi sorbitol paling tinggi yaitu 2% (v/v) menghasilkan nilai rata – rata ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi 1% (v/v) dan 1,5% (v/v). Fenomena nilai ketebalan ini juga ditemukan pada penelitian Jain et al. (2023), di mana *biodegradable film* yang dihasilkan memiliki ketebalan antara 0,16 – 0,26 mm. Konsentrasi *plasticizer* yang lebih tinggi dapat menghasilkan ketebalan yang tinggi dikarenakan jumlah padatan terlarut lebih banyak sehingga menghasilkan *biodegradable film* yang lebih tebal. Singha et al. (2023) memperkuat pernyataan tersebut di mana makin tinggi konsentrasi serat selulosa dan *plasticizer* yang ditambahkan pada formulasi, maka ketebalan *biodegradable film* yang dihasilkan akan makin meningkat.



Gambar 1 Nilai rata – rata ketebalan biodegradable film. Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata ($P > 0,05$).



Gambar 2 Rata-rata kadar air biodegradable film. Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata (P > 0,05).

Nilai ketebalan ini perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi bagaimana karakteristik mekanis dari *biodegradable film* seperti nilai *elongation*, kuat tarik dan laju transmisi uap air (Tong et al. 2023). Pernyataan ini sejalan dengan hasil analisis ragam dua arah, di mana pada nilai ketebalan berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *elongation*, di mana makin tinggi nilai ketebalan maka akan meningkatkan *elongation biodegradable film.* Tong et al. (2023) dalam penelitiannya menyatakan bahwa ketebalan yang baik untuk *biodegradable film* sebagai bahan pengemas makanan berada pada kisaran 0,1 mm karena memiliki nilai ketebalan yang ideal untuk diaplikasikan. Nilai ketebalan juga dapat berpengaruh pada laju transmisi uap air. Penelitian Liu et al. (2017) memiliki fenomena yang serupa, di mana pada aplikasi dengan metode *layer – by layer coating* berbahan CMC dan *chitosan* diketahui bahwa makin tinggi nilai ketebalan *coating* yang diaplikasikan maka memiliki korelasi yang berkaitan dengan permeabilitas gas atau uap air pada produk yang diaplikasikan.

Kadar air

Kadar air *biodegradable film* disajikan pada Gambar 2. Diketahui dari gambar tersebut kadar air yang dihasilkan berkisar antara 18 -30%. Hasil analisis ragam dua arah menunjukkan terdapat perbedaan nyata antara polimer yang digunakan dan konsentrasi sorbitol yang ditambahkan (P < 0,05). Kadar air paling tinggi adalah kode P1S3 yaitu 30,53 ± 1,509 % dan kadar air paling rendah yaitu P3S1 dengan nilai 17,22 ± 0,499 %. Kadar air dari *biodegradable film* dengan kode P1S1, P1S2 berbeda nyata dengan P1S3. Sedangkan antara kode P2S1, P2S2 dan P2S3 tidak berbeda nyata, kode P3S1 dan P3S3 berbeda nyata, sedangkan kode P3S2 tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Kadar air P4S2 tidak berbeda nyata dengan P4S1 dan P4S3.

Hasil analisis kadar air penelitian ini diketahui memiliki rentang nilai yang menyerupai penelitian Le et al. (2023) dan Jaderi et al. (2023) di mana berkisar antara 13 – 20% dan 18 – 38%. Le et al. (2023) menyatakan bahwa makin tinggi jumlah *chitin* yang ditambahkan maka kadar air dan kemampuan daya larut *biodegradable film* menurun. Pernyataan yang sama juga terjadi pada penelitian Ngo et al. (2020), di mana peningkatan *chitosan* yang ditambahkan ini mampu menurunkan kadar air dari *biodegradable film* yang terbentuk. Konsentrasi *chitosan* yang ditambahkan pada penelitian ini sama dengan penelitian Ngo et al. (2020) yaitu 2% (b/v) yang menjadi pembeda adalah konsentrasi *plasticizer* yang ditambahkan. Makin banyak jumlah *plasticizer* yang ditambahkan maka kadar air *biodegradable film* juga makin tinggi. Jaderi et al. (2023) menyatakan bahwa penambahan persentase *plasticizer* yang digunakan akan

meningkatkan kadar air dari *biodegradable film* yang dihasilkan karena makin tingginya *water holding capacity* yang terbentuk pada ikatan hidrogen *biodegradable film* tersebut.

Diketahui bahwa nilai kadar air dari *biodegradable film* berbahan *chitosan* lebih tinggi dibandingkan dengan *biodegradable film* berbahan *sodium alginate* dan polisakarida lain yang digunakan yaitu pati ganyong dan konjak glukomanan. Adanya ikatan gugus hidroksil yang membentuk ikatan hidrogen dengan air pada *biodegradable film* berbahan polisakarida dapat menjadi alasan fenomena tersebut terjadi (Ni et al. 2021). Terdapat perbedaan jenis pelarut antara penggunaan *chitosan* dengan bahan polisakarida pada produksi *biodegradable film*. *Chitosan* dilarutkan dengan asam asetat sehingga memiliki ikatan elektrostatis dan ikatan hidrogen. Selain itu terdapat aktivitas protonasi yang melibatkan gugus amino pada *chitosan* dan asam asetat sehingga *chitosan* terionisasi positif sehingga memungkinkan memiliki *water holding capacity* yang lebih kuat dan berakibat pada nilai kadar air yang lebih tinggi (Shen et al. 2022).

Penurunan nilai kadar air dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satu cara yang dapat digunakan yaitu dengan melakukan *pre-treatment* berupa perlakuan sonikasi pada polimer yang digunakan. Menurut Keawpeng et al. (2022), diketahui bahwa perlakuan sonikasi dapat mengubah struktur jaringan sel polimer yang diberikan perlakuan sehingga dapat mengubah atau menurunkan ukuran molekul polimer yang berdampak pada penurunan *water holding capacity* sehingga kapasitas daya penahan air pada jaringan polimer tersebut mampu diturunkan dan kadar air yang dihasilkan menjadi lebih rendah.

Kadar air yang lebih rendah dinilai ideal untuk bahan pengemas makanan (Tong et al. 2023). Penyesuaian kadar air *biodegradable film* perlu diperhatikan untuk tujuan aplikasinya sehingga aplikasinya dapat mempertimbangkan beberapa faktor seperti kondisi pengeringan, suhu, waktu, dan kelembapan udara saat pengeringan. (Júnior et al. 2021).

Karakteristik mekanis

Karakteristik mekanis yang diuji pada penelitian ini meliputi *elongation* dan kuat tarik atau *tensile strength*. Data *elongation* dan *tensile strength* disajikan pada Tabel 2. Terdapat pengaruh signifikan antara perlakuan jenis polimer dan konsentrasi *plasticizer* yang ditambahkan. Diketahui nilai tertinggi pada pengujian *elongation* terdapat pada perlakuan P4S3 atau perlakuan berbahan *sodium alginate* yang dikombinasikan dengan konjak glukomanan. Perlakuan tersebut memiliki nilai *elongation* yang meningkat seiring dengan peningkatan *plasticizer* yang ditambahkan. Zeng et al. (2022) menyatakan bahwa konjak glukomanan secara efektif mampu memodifikasi rantai ikatan *sodium alginate* sehingga memiliki nilai persentase *elongation* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *biodegradable film* yang hanya berbahan *sodium alginate*. Adanya ikatan kovalen dan ikatan silang antara molekul *sodium alginate* dan konjak glukomanan mendasari fenomena tersebut. *Sodium alginate* memiliki kelebihan jika digunakan sebagai bahan pembuatan *biodegradable film,* di mana *sodium alginate* mampu membentuk ikatan silang melalui rantai guluronate yang memiliki formasi seperti kotak telur sehingga memiliki stabilitas yang baik (Eslami et al. 2023).

Nilai *elongation* yang makin meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi *plasticizer* juga terjadi pada polimer yang berbahan *chitosan,* dan *sodium alginate*. Peningkatan konsentrasi *plasticizer* berperan secara signifikan terhadap persentase perpanjangan atau nilai *elongation* dari *biodegradable film* yang dihasilkan. Menurut Eslami et al. (2023), dalam aplikasi *biodegradable film* berbahan *sodium alginate* membutuhkan penambahan *plasticizer* karena memiliki nilai *tensile strength* dan *elongation* yang rendah jika diformulasikan tanpa penambahan *plasticizer*. Penelitian lain dari Sanyang et al. (2015) juga memiliki fenomena yang sama yaitu nilai *elongation* akan meningkat seiring peningkatan konsentrasi *plasticizer* sorbitol yang ditambahkan pada formula *biodegradable film*. Peningkatan nilai *elongation* ini berkaitan dengan peran *plasticizer* dalam menurunkan ikatan intermolekuler matriks dan menyubstitusikannya dengan ikatan hidrogen yang terjalin antara *plasticizer* degan polimer yang digunakan.

Kondisi kelembapan relatif lingkungan perlu diperhatikan pada pengujian selanjutnya, hal ini karena kelembapan relatif sangat berpengaruh terhadap *tensile strength* dan *elongation*. Peningkatan RH akan menurunkan nilai *tensile strength* dan meningkatkan nilai *elongation* hal ini berkaitan dengan interaksi dan efisiensi *plasticizer* dalam air. Nilai *elongation* juga dapat dipengaruhi oleh ketebalan *biodegradable film* yang

diproduksi. Tong et al. (2023) menyatakan bahwa makin tinggi nilai ketebalan maka nilai *elongation* yang didapatkan juga makin meningkat, hal ini menunjukkan bahwa *biodegradable film* yang diproduksi memiliki karakteristik mekanis yang baik.

Nilai *tensile strength* atau kuat tarik didefinisikan sebagai kemampuan *biodegradable film* untuk menahan tarikan sebelum mengalami kerusakan atau robek (Paudel et al. 2023). Makin tinggi nilai *tensile strength* atau kuat tarik yang didapatkan, maka dapat dikatakan makin kuat material tersebut dalam menahan tarikan. Dari analisis ragam dua arah pada bahan P1S1, P1S2, dan P1S3 tidak terdapat interaksi perbedaan yang signifikan (P > 0,05) antara nilai kuat tarik dari masing – masing polimer dan *plasticizer*. Pada P2S2, P2S3 tidak berbeda nyata namun berbeda nyata (P> 0,05) dengan P1S1. Pada P3S3 tidak berbeda nyata (P > 0,05) dengan P3S1 dan P3S2. Pada P4S1, P4S2 dan P4S3 tidak berbeda nyata.

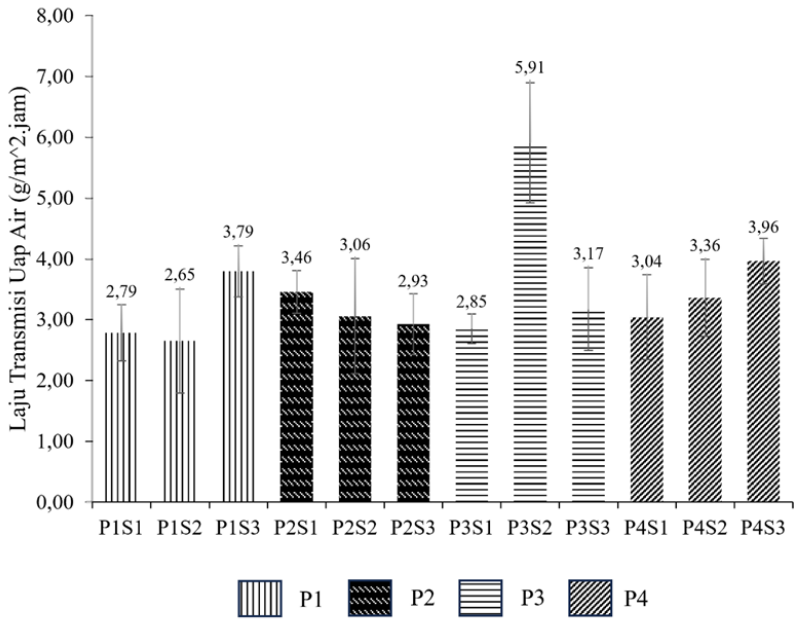
Tabel 2 Rata rata nilai elongation, tensle strength, L, a* dan b*. Keterangan: Formulasi chitosan (P1), sodium alginate (P2), sodium alginate + pati ganyong (P3), dan sodium alginate + konjak glukomannan (P4). Sorbitol 1% (S1), sorbitol (S2), dan sorbitol (S3).

Perlakuan	*Elongation* (%)	*Tensile strength* (MPa)	L	a*	b*
P1S1	11,75 ± 0,54^{i}	0,083 ± 0,01^{bc}	88,36 ± 0,63	2,440 ± 0,10	16,027 ± 1,92
P1S2	20,36 ± 0,98^{g}	0,053 ± 0,01^{bc}	84,43 ± 1,22	2,304 ± 0,29	14,713 ± 2,59
P1S3	22,96 ± 0,60^{f}	0,063 ± 0,01^{bc}	86,42 ± 2,17	2,385 ± 0,35	21,250 ± 5,49
P2S1	11,26 ± 0,18^{i}	0,277 ± 0,16^{a}	93,23 ± 0,26	1,633 ± 0,10	2,405 ± 0,36
P2S2	23,23 ± 2,05^{f}	0,043 ± 0,02^{bc}	90,54 ± 1,07	0,778 ± 0,04	-1,855 ± 0,42
P2S3	34,87 ± 0,92^{c}	0,067 ± 0,01^{bc}	92,93 ± 0,20	1,583 ± 0,16	2,441 ± 0,38
P3S1	16,33 ± 0,86^{h}	0,123 ± 0,02^{b}	91,48 ± 0,38	1,183 ± 0,09	3,218 ± 0,53
P3S2	32,51 ± 1,49^{d}	0,013 ± 0,01^{c}	87,98 ± 0,10	0,790 ± 0,53	-0,146 ± 0,26
P3S3	28,17 ± 1,81^{e}	0,033 ± 0,01^{bc}	89,88 ± 0,17	0,821 ± 0,04	4,364 ± 0,30
P4S1	35,64 ± 0,76^{c}	0,073 ± 0,01^{bc}	91,40 ± 0,37	1,329 ± 0,05	2,023 ± 0,31
P4S2	51,75 ± 1,18^{b}	0,050 ± 0,01^{bc}	88,58 ± 0,22	0,594 ± 0,08	-1,165 ± 0,32
P4S3	59,94 ± 2,11^{a}	0,047 ± 0,01^{bc}	91,58 ± 0,65	1,276 ± 0,09	2,317 ± 0,33

Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata (P > 0,05).



Gambar 3 Kenampakan biodegradable film dengan formulasi chitosan (P1), sodium alginate (P2), sodium alginate + pati ganyong (P3), dan sodium alginate + konjak glukomanan (P4). Sorbitol 1% (S1), sorbitol 1,5% (S2) , dan sorbitol 2% (S3).



Gambar 4 Nilai laju transmisi uap air biodegradable film dengan formulasi chitosan (P1), sodium alginate (P2), sodium alginate + pati ganyong (P3), dan sodium alginate + konjak glukomanan (P4). Sorbitol 1% (S1), sorbitol 1,5% (S2) , dan sorbitol 2% (S3).

Penjabaran dari data *tensile strength* tersebut diketahui bahwa dalam pembuatan atau formulasi *biodegradable film* tidak ada penambahan *filler.* Penelitian yang dilakukan Behera et al. (2022) dilakukan penambahan *filler* pada formulasi *biodegradable film* yang diproduksi. Penambahan *filler* tersebut menggunakan bentonite yang secara signifikan memiliki kemampuan interaksi dengan komponen polimer yang digunakan sehingga mampu meningkatkan nilai kuat tarik, elastisitas modulus dan persentase perpanjangan atau *elongation* dari *biodegradable film*.

Warna

Pengujian warna meliputi nilai *lightness,* a* dan b*. Pengujian warna merupakan pengujian yang penting karena akan memengaruhi kenampakan produk yang dikemas dengan *biodegradable film*. Aplikasi yang sesuai untuk bahan pengemas adalah yang tidak memengaruhi warna produk secara signifikan sehingga *biodegradable film* yang diproduksi memiliki warna yang cenderung transparan dan cerah (Thakur et al. 2019). Nilai L akan menunjukkan nilai kecerahan (0 = hitam – 100 = putih cerah), nilai a* menunjukkan nilai merah (+) – hijau (-), dan nilai b* menunjukkan kuning (+) – biru (-). Nilai warna dari *biodegradable film* yang dihasilkan tersaji pada Tabel 2. Diketahui bahwa tidak terdapat kombinasi pengaruh jenis polimer dan konsentrasi sorbitol terhadap nilai warna L, a* dan b* pada *biodegradable film* (P > 0,05).

Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 2 diketahui bahwa nilai L tertinggi atau kecerahan tertinggi didapatkan pada sampel P2S3 yang berbahan *sodium alginate* dan memiliki warna transparan yang baik, disisi lain pada bahan *chitosan* tidak memiliki nilai kecerahan yang tinggi namun pada nilai b* menunjukkan nilai positif sehingga menunjukkan warna kuning yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan polimer lain yang digunakan yaitu *sodium alginate*, pati ganyong dan konjak glukomanan. Nilai b* menunjukkan nilai positif (warna kuning) yang disajikan pada penelitian ini juga memiliki fenomena yang sama dengan penelitian Homayounpour et al. (2021), di mana pada penelitian yang menggunakan bahan *chitosan* memiliki nilai warna b* ada pada rentang 15 – 22, di mana dalam penelitian tersebut ditambahkan bahan aktif dari ekstrak *caraway* yang meningkatkan nilai b* seiring dengan peningkatan konsentrasi yang ditambahkan.

Gambar 3 menunjukkan hasil dari analis warna yang dapat diinterpretasikan dari bahan *sodium alginate* memiliki warna yang cerah dan transparan, pada *sodium alginate* yang dikombinasikan dengan pati ganyong memiliki warna yang putih namun cenderung kurang

transparan. *Biodegradable film* berbahan *sodium alginate* yang dikombinasikan dengan konjak glukomanan memiliki warna yang cerah namun memiliki tekstur berbintik. Penambahan konsentrasi *plasticizer* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap warna dari setiap perlakuan yang diberikan. Nilai warna dapat menjadi acuan dalam pengembangan produksi masal *biodegradable film* untuk jenis pengemas tertentu. Diharapkan produk yang dikemas dengan *biodegradable film* dapat dipertahankan kualitasnya, dapat terjaga kandungan nutrisi yang ada pada produk pangan serta dapat meningkatkan ketertarikan konsumen pada produk yang dikemas (Suhag et al. 2020).

Laju transmisi uap air

Data dari laju transmisi uap air tersaji pada Gambar 4. Diketahui tidak terdapat perbedaan signifikan pada tingkat kepercayaan ($P < 0,05$) pada perlakuan P1S1 dengan P1S2, namun berbeda nyata dengan P1S3 hal ini dapat dilihat dari nilai laju transmisi uap air yang tersaji pada Gambar 4. Pada perlakuan berbahan *sodium alginate* tidak terdapat perbedaan signifikan pada tingkat kepercayaan ($P < 0,05$). Perlakuan P3 yaitu kombinasi *sodium alginate* dengan pati ganyong memiliki perbedaan signifikan antara P3S1, P3S2, dan P3S3. Nilai laju transmisi uap air tertinggi yaitu P3S2. Diketahui bahwa makin tinggi nilai laju transmisi uap air maka bahan baku pembuatan tersebut makin memiliki karakteristik hidrofilik dan tidak memiliki perlindungan yang baik terhadap laju transmisi uap air (Franzoni et al. 2024). Penelitian Patel et al. (2023) yang menggunakan bahan polisakarida memiliki nilai laju transpirasi uap air yang tinggi sehingga dapat dikatakan memiliki perlindungan terhadap uap air yang rendah. Pernyataan dari penelitian Tafa et al. (2023) menyatakan bahwa pati ganyong merupakan bahan polisakarida bersifat hidrofilik sehingga memiliki kemampuan daya penyerapan uap air yang tinggi jika dibandingkan dengan bahan lain walaupun dari datanya tidak terlihat signifikan. Pernyataan tersebut diperkuat dengan penelitian Franzoni et al. (2024) yang membandingkan laju transmisi uap air antara plastik berbahan petroleum dan bioplastik berbahan *composite starch.* Bioplastik berbahan *composite starch* memiliki nilai laju transmisi uap air paling tinggi dibandingkan dengan plastik PP dan plastik LDPE. Penggunaan *filler* yang ditambahkan pada proses pembuatan *biodegradable film* sebaiknya dilakukan untuk memperbaiki kemampuan penghalang terhadap uap air sehingga *biodegradable film* berbahan polisakarida ini mampu memberikan perlindungan selayaknya plastik konvensional berbahan petroleum (Behera et al. 2022).

Penambahan *filler* ini dapat dijadikan sebagai masukan dalam penelitian berikutnya untuk memproduksi bioplastik yang ramah lingkungan namun tetap memiliki *barrier properties* yang baik.

KESIMPULAN

Jenis polimer yang digunakan serta konsentrasi *plasticizer* yang ditambahkan berpengaruh terhadap karakteristik mekanis berupa nilai *elongation* yang makin meningkat, laju transmisi uap air yang makin menurun, dan kadar air yang makin menurun nilainya seiring pertambahan total padatan yang dilarutkan. Nilai warna L, a*, b* tidak memiliki pengaruh signifikan. Berdasarkan uji indeks efektivirtas, hasil pengukuran *elongation*, laju transmisi uap air, kuat tarik dan ketebalan pada perbedaan jenis polimer dan konsentrasi *plasticizer*, diketahui bahwa *biodegradable film* berkode P4S2 yang merupakan formulasi *sodium alginate* kombinasi dengan konjak glukomanan memiliki nilai yang dapat diaplikasikan pada pengemas produk pangan. Nilai *elongation* dari kode P4S2 adalah 51,75%, nilai laju transmisi uap air dari kode P4S2 adalah 3,36 (g/m^2.jam), nilai *tensile strength* atau kuat tarik sebesar 0,05 MPa dan ketebalan sebesar 0,15 mm. Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kombinasi perlakuan *sodium alginate* 1,5% (b/v) dan konjak glukomanan 0,5% (b/v) dengan penambahan *plasticizer* 1,5% (v/v) dapat dijadikan rekomendasi untuk bahan pengemas produk pangan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, I., A. Wang, B. Siddique, L. Wu, and X. Liu. 2020. Sodium alginate edible coating augmented with essential oils maintains fruits postharvest physiology during preservation: A review Seedling Transplanting Robot View project Precision Agriculture and Agro-informatics View project Sodium alginate edible coating augmented with essential oils maintains fruits postharvest physiology during preservation: A review. Page International Journal of Multidisciplinary

Research and Development www.allsubjectjournal.com.

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.

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2012. ASTM D882-12. ASTM D882-12.

Baek, J. H., S. Y. Lee, and S. W. Oh. 2021. Enhancing safety and quality of shrimp by nanoparticles of sodium alginate-based edible coating containing grapefruit seed extract. International Journal of Biological Macromolecules 189:84–90.

Bao, R., X. He, Y. Liu, Y. Meng, and J. Chen. 2023. Preparation, Characterization, and Application of Sodium Alginate/ε-Polylysine Layer-by-Layer Self-Assembled Edible Film. Coatings 13(3):516.

Behera, L., M. Mohanta, and A. Thirugnanam. 2022. Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application. Environmental Technology and Innovation 25.

Dai, L., X. Xi, X. Li, W. Li, Y. Du, Y. Lv, W. Wang, and Y. Ni. 2021. Self-assembled all-polysaccharide hydrogel film for versatile paper-based food packaging. Carbohydrate Polymers 271.

Du, Y., F. Yang, H. Yu, Y. Cheng, Y. Guo, W. Yao, and Y. Xie. 2021. Fabrication of novel self-healing edible coating for fruits preservation and its performance maintenance mechanism. Food Chemistry 351.

Eslami, Z., S. Elkoun, M. Robert, and K. Adjallé. 2023, September 1. A Review of the Effect of Plasticizers on the Physical and Mechanical Properties of Alginate-Based Films. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

Franzoni, G., C. Rovera, S. Farris, and A. Ferrante. 2024. Packaging materials and their effect on ruscus quality changes during storage and vase life. Postharvest Biology and Technology 210:112789.

Homayounpour, P., N. Shariatifar, and M. Alizadeh-Sani. 2021. Development of nanochitosan-based active packaging films containing free and nanoliposome caraway (Carum carvi. L) seed extract. Food Science and Nutrition 9(1):553–563.

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.

Jain, N., P. Sharma, A. Verma, and J. Gupta. 2023. Enhancement of thermo-mechanical, creep-recovery, and anti-microbial properties in PVA-based biodegradable films through cross-linking with oxalic acid: implications for packaging application. Biomass Conversion and Biorefinery.

Keawpeng, I., S. Lekjing, B. Paulraj, and K. Venkatachalam. 2022. Application of Clove Oil and Sonication Process on the Influence of the Functional Properties of Mung Bean Flour-Based Edible Film. Membranes 12(5).

Kong, I., I. G. Lamudji, K. J. Angkow, R. M. S. Insani, M. A. Mas, and L. P. Pui. 2023, February 1. Application of Edible Film with Asian Plant Extracts as an Innovative Food Packaging: A Review. MDPI.

Kontominas, M. G. 2020, October 1. Use of alginates as food packaging materials. MDPI AG.

Le, T. M., C. L. Tran, T. X. Nguyen, Y. H. P. Duong, P. K. Le, and V. T. Tran. 2023. Green Preparation of Chitin and Nanochitin from Black Soldier Fly for Production of Biodegradable Packaging Material. Journal of Polymers and the Environment 31(7):3094–3105.

Li, H., W. Li, J. Zhang, G. Xie, T. Xiong, and H. Xu. 2022. Preparation and characterization of sodium alginate/gelatin/Ag nanocomposite antibacterial film and its application in the preservation of tangerine. Food Packaging and Shelf Life 33.

Liu, C., T. Jin, W. Liu, W. Hao, L. Yan, and L. Zheng. 2021. Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. LWT 148.

Liu, C., Y. Tan, Y. Xu, D. J. McCleiments, and D. Wang. 2019. Formation, characterization, and application of chitosan/pectin-

stabilized multilayer emulsions as astaxanthin delivery systems. International Journal of Biological Macromolecules 140:985–997.

Liu, X., C. Tang, W. Han, H. Xuan, J. Ren, J. Zhang, and L. Ge. 2017. Characterization and preservation effect of polyelectrolyte multilayer coating fabricated by carboxymethyl cellulose and chitosan. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 529:1016–1023.

Liu, Z., D. Lin, P. Lopez-Sanchez, and X. Yang. 2020. Characterizations of bacterial cellulose nanofibers reinforced edible films based on konjac glucomannan. International Journal of Biological Macromolecules 145:634–645.

Marangoni Júnior, L., P. R. Rodrigues, R. G. da Silva, R. P. Vieira, and R. M. V. Alves. 2021. Sustainable Packaging Films Composed of Sodium Alginate and Hydrolyzed Collagen: Preparation and Characterization. Food and Bioprocess Technology 14(12):2336–2346.

Montes-de-Oca-Ávalos, J. M., D. Altamura, M. L. Herrera, C. Huck-Iriart, F. Scattarella, D. Siliqi, C. Giannini, and R. J. Candal. 2020. Physical and structural properties of whey protein concentrate - Corn oil - TiO2 nanocomposite films for edible food-packaging. Food Packaging and Shelf Life 26.

Ngo, T. M. P., T. H. Nguyen, T. M. Q. Dang, T. X. Tran, and P. Rachtanapun. 2020. Characteristics and antimicrobial properties of active edible films based on pectin and nanochitosan. International Journal of Molecular Sciences 21(6).

Ni, Y., J. Sun, and J. Wang. 2021. Enhanced antimicrobial activity of konjac glucomannan nanocomposite films for food packaging. Carbohydrate Polymers 267.

Patel, M., S. Islam, P. Kallem, R. Patel, F. Banat, and A. Patel. 2023. Potato starch-based bioplastics synthesized using glycerol–sorbitol blend as a plasticizer: characterization and performance analysis. International Journal of Environmental Science and Technology 20(7):7843–7860.

Paudel, S., S. Regmi, and S. Janaswamy. 2023. Effect of glycerol and sorbitol on cellulose-based biodegradable films. Food Packaging and Shelf Life 37.

Purwitasari, L., M. P. Wulanjati, Y. Pranoto, and L. D. Witasari. 2023. Characterization of porous starch from edible canna (Canna edulis Kerr.) produced by enzymatic hydrolysis using thermostable α-amylase. Food Chemistry Advances 2.

Rosyada, A., W. B. Sunarharum, and E. Waziiroh. 2019. Characterization of chitosan nanoparticles as an edible coating material. Page IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing.

Sanyang, M. L., S. M. Sapuan, M. Jawaid, M. R. Ishak, and J. Sahari. 2015. Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (Arenga pinnata) starch. Polymers 7(6):1106–1124.

Shen, W., M. Yan, S. Wu, X. Ge, S. Liu, Y. Du, Y. Zheng, L. Wu, Y. Zhang, and Y. Mao. 2022. Chitosan nanoparticles embedded with curcumin and its application in pork antioxidant edible coating. International Journal of Biological Macromolecules 204:410–418.

Singha, P., R. Rani, and L. S. Badwaik. 2023. Influence of sugarcane bagasse fibre on the properties of sweet lime peel- and polyvinyl alcohol-based biodegradable films. Sustainable Food Technology 1(4):610–620.

Suhag, R., N. Kumar, A. T. Petkoska, and A. Upadhyay. 2020, October 1. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. Elsevier Ltd.

Tafa, K. D., N. Satheesh, and W. Abera. 2023. Mechanical properties of tef starch based edible films: Development and process optimization. Heliyon 9(2):e13160.

Thakur, R., P. Pristijono, C. J. Scarlett, M. Bowyer, S. P. Singh, and Q. V. Vuong. 2019. Starch-based edible coating formulation: Optimization and its application to improve the postharvest quality of “Cripps pink” apple under different temperature regimes. Food Packaging and Shelf Life 22.

Tong, W. Y., A. R. Ahmad Rafiee, C. R. Leong, W. N. Tan, D. J. Dailin, Z. M. Almarhoon, M. Shelkh, A. Nawaz, and L. F. Chuah. 2023. Development of sodium alginate-pectin biodegradable active food packaging

film containing cinnamic acid. Chemosphere 336.

Wantat, A., K. Seraypheap, and P. Rojsitthisak. 2022. Effect of chitosan coatings supplemented with chitosan-montmorillonite nanocomposites on postharvest quality of 'Hom Thong' banana fruit. Food Chemistry 374.

Wibowo, C., P. Haryanti, R. Tamalea, and R. Wicaksono. 2019. The properties of edible film made of Tapioca, canna and arrowroot as affected by application of various concentration of plasticizer. Page AIP Conference Proceedings. American Institute of Physics Inc.

Wibowo, C., S. Salsabila, A. Muna, D. Rusliman, and H. S. Wasisto. 2024, January 1. Advanced biopolymer-based edible coating technologies for food preservation and packaging. John Wiley and Sons Inc.

Xiang, F., Y. Xia, Y. Wang, Y. Wang, K. Wu, and X. Ni. 2021. Preparation of konjac glucomannan based films reinforced with nanoparticles and its effect on cherry tomatoes preservation. Food Packaging and Shelf Life 29.

Zeng, Y., Y. Wang, J. Tang, H. Zhang, J. Dai, S. Li, J. Yan, W. Qin, and Y. Liu. 2022. Preparation of sodium alginate/konjac glucomannan active films containing lycopene microcapsules and the effects of these films on sweet cherry preservation. International Journal of Biological Macromolecules 215:67–78.

Zhang, W., and J. W. Rhim. 2022, July 1. Recent progress in konjac glucomannan-based active food packaging films and property enhancement strategies. Elsevier B.V.

Zhang, X., H. Zhang, G. Zhou, Z. Su, and X. Wang. 2023. Flexible, thermal processable, self-healing, and fully bio-based starch plastics by constructing dynamic imine network. Green Energy & Environment.