



Efek kondisi pH asam dan basa terhadap sifat mekanis film berbasis whey-konnyaku

Fahrullah*, Azhary Noersidiq, Hasma, Vebera Maslami

Peternakan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

Article history

Diterima:

10 Desember 2022

Diperbaiki:

16 Mei 2023

Disetujui:

25 Juni 2023

Keyword

Film;

mechanical properties;

pH;

whey-konnyaku

ABSTRACT

Edible film has considerable potential as a food coating material for enhancing freshness, safety, and storage of different food products. Its advantages make it a suitable replacement for synthetic plastic packaging and a possible alternative for biodegradable materials. The research aims to observe the effect of acidic and alkaline pH on the mechanical properties of the whey-konjac film. The mechanical properties of the whey-konjac film were investigated using an experimental method. The research was conducted in a completely randomized design with three treatments, The treatment used different pH (P1: Control; P2: acidic condition/pH4 and P3: alkaline condition/pH 10). The values of thickness and water vapor transmission rate did not give a significant value ($P > 0,05$), value of elongation and tensile strength gave a significant value ($P < 0,05$). The mechanical properties of whey-konjac film showed that thickness was at 0,0343-0,0357 mm; the elongation was at 47,88-62,68%; the tensile strength was at 6,86-11,16 N; the water vapor transmission rate was at 6,99-7,47 g/mm².day⁻¹. Films in acidic conditions can improve an excellent cross-sectional structure of the film (flat surface and homogeneous), and films in alkaline conditions can improve thickness, elongation, and reasonable water vapor transmission rates.



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

* Penulis korespondensi

Email : fahrullah@unram.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v18i3.17729

PENDAHULUAN

Penggunaan biopolimer seperti polisakarida, protein maupun komposit keduanya sebagai bahan pengemas dapat memberikan kontribusi untuk mengatasi pencemaran lingkungan. Penggunaan kemasan ini dapat memberikan dampak yang menjanjikan dalam hal perlindungan dan pengawetan makanan serta dapat bertindak sebagai tambahan dalam peningkatan kualitas makanan secara keseluruhan. Biopolimer alami termasuk polisakarida, lipid dan protein telah terbukti sebagai bahan biodegradasi yang baik (Nagarajan et al. 2015; Lin et al. 2019), dengan sifat yang biodegradable ini mendorong peningkatan minat dalam pengembangan kemasan yang diperuntukkan dalam kemasan pangan (Dick et al. 2015; Maniglia et al. 2015; Spotti et al. 2016; Sukhija et al. 2016; Otoni et al. 2017; Maruddin et al. 2018; Fahrullah et al. 2020; Fahrullah 2021; Fahrullah et al. 2021).

Pembuatan film dari protein mempunyai kelebihan seperti memiliki kemampuan dalam membentuk jaringan yang lebih baik sehingga dapat memperbaiki sifat barrier. Film dari protein menunjukkan sifat yang baik terhadap penghalang (Chen et al. 2019) gas serta dapat menghasilkan penghalang yang baik terhadap oksigen, aroma dan minyak (Shendurse et al. 2018; Socaciu et al. 2020) serta dapat memperbaiki sifat mekanik dari film (Gamli 2021). Pemanasan dalam proses pengolahan menjadi film (suhu diatas 65°C) dapat membuka struktur globular β -laktoglobulin, sehingga dapat menginduksi oksidasi sulfhidril bebas, pertukaran ikatan disulfide dan ikatan hidrofobik sehingga dapat menghasilkan sifat perekat yang baik (Guo and Wang 2016).

Penambahan biopolimer seperti konnyaku dianggap sebagai kandidat yang baik untuk pembuatan film (Li et al. 2015; Wang et al. 2017). Polisakarida ini telah banyak dipergunakan dalam pembuatan film karena memiliki sifat yang tidak beracun dan memiliki kemampuan pembentukan film yang sangat baik (Wu et al. 2019). Pengaplikasian film konnyaku dibatasi oleh ketahanan air yang relatif buruk dan sifat mekanik yang rendah (Du et al. 2013; Ansari 2020). Pada kegiatan penelitian ini ditambahkan dengan polimer whey untuk saling melengkapi, penelitian Fahrullah et al. (2021) yang menggunakan protein whey dan konnyaku dengan penambahan minyak cengkeh menghasilkan karakteristik film yang baik dimana nilai elongasi menghasilkan 78%

sehingga memenuhi standar Japanese Industrial Standard yakni minimum >50% (JIS 1975) sehingga sangat potensial untuk pengembangan material film. Penggunaan plasticizer dalam larutan film dapat meningkatkan fleksibilitas film (Socaciu et al. 2020). Plasticizer yang paling umum digunakan dalam pembuatan film berbasis protein adalah gliserol karena larut dalam sebagian besar protein.

Pembuatan film dengan menggunakan teknik solvent casting dipengaruhi oleh proses pembentukan gel pada saat proses pemanasan, selain itu juga dapat dipengaruhi oleh pH larutan dan tipe pelarut. Pemanfaatan pH 11 untuk interaksi kimia antara protein dengan senyawa fenolik telah dipelajari oleh berbagai kelompok penelitian (Nie et al. 2015; Nie et al. 2017; Kaewprachu et al. 2018). Disisi lain, interaksi antara polifenol dengan protein pada pH asam diselidiki dalam (Niu et al. 2018; Munir et al. 2019). Nilai pH film komposit perlu diperhatikan dalam rangka pengendalian sifat mekanik film, sehingga perlu dipelajari penggabungan whey dengan konnyaku dalam kondisi asam (pH 4) dan basa (pH 10). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh penggunaan pH terhadap sifat mekanis film berbasis whey yang digabungkan dengan konnyaku.

METODE

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah bubuk whey (CV. Makmur Sejahtera, Indonesia), bubuk konnyaku (Prima Food, Indonesia), plasticizer gliserol (CV. Makmur Sejahtera), aquadest, silica gel dan NaOH. Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah hot plate stirrer (FAITHFUL SH-2, China), magnetic stirrer, petri dish, erlenmeyer, thermometer (Gelsonlab HSGT-067, China), pH meter, gelas ukur dan timbangan digital

Rancangan Penelitian

Rancangan pada penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap yang terdiri dari perlakuan penggunaan pH, P1: kontrol (pH 7); P2: kondisi asam (pH 4) dan P3: kondisi basa (pH 10) dan dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali, selanjutnya perlakuan yang memberikan perbedaan yang nyata diuji lebih lanjut dengan menggunakan uji lanjut Uji Jarak Berganda Duncan dengan bantuan SPSS 16.

Metode Pengukuran

Pembuatan *edible film* dilakukn dengan cara mencampurkan bubuk whey dan konnyaku sesuai dengan perlakuan. Selanjutnya, ditambahkan akuades hingga mencapai volume 25 mL dan ditambahkan NaOH 1 M untuk mengatur pH. Kemudian larutan tersebut dipanaskan selama 30 menit dengan suhu $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, pada menit ke-25 ditambahkan 30% *plasticizer* gliserol hingga terbentuk larutan film. Larutan film dicetak ke dalam petri dish dan didiamkan pada suhu kamar selama 24 jam kemudian disimpan menggunakan aluminium foil selama 2 hari sebelum dilakukan pengujian (Maruddin et al. 2018; Fahrullah et al. 2020).

Pengukuran ketebalan film diukur dengan menggunakan mikrometer sekrup model MDC-25M (Mitutoyo, MFG, Japan) yang memiliki akurasi 0,001 mm. Ketebalan film dinilai dengan menghitung ketebalan rata-rata lima bidang film yang berbeda, yaitu 4 di tepi dan 1 di tengah (Maruddin et al. 2018).

Pengukuran kemuluran film diukur menggunakan Universal Instrument Tensile Strength Meter dengan cara memotong *edible film* seluas 10x5 cm kemudian diregangkan dengan kecepatan 50 mm/menit. Persamaan (1) digunakan untuk pengukuran panjang yang diadopsi dari Wardana and Widyaningsih (2018).

$$\%perpanjangan = \frac{L}{L_0} \times 100\% \quad \text{Pers. (1)}$$

di mana L adalah panjang film saat putus (mm) dan L_0 adalah panjang awal (mm).

Pengukuran kekuatan tarik dilakukan dengan cara memotong *edible film* berukuran 8x3 cm dengan diameter 1,5 cm dan menempel secara horizontal pada penjepit, dan kekuatan tarik maksimum diukur ketika film menunjukkan tanda-tanda kerusakan selama proses penarikan (Wittaya, 2013).

Laju transmisi uap air diukur dengan memotong film dalam lingkaran dengan diameter 2,8 cm. Potongan film disimpan dalam gelas berisi 3 g silika gel, dimasukkan ke dalam desikator, kemudian dilakukan pengukuran setiap 24 jam selama 5 hari. Laju transmisi uap air (WVTR) dinyatakan dalam satuan $\text{g}/\text{mm}^2 \cdot \text{hari}^{-1}$ dengan menggunakan Persamaan (2) (ASTM E96-95).

$$WVTR = \frac{n}{(t \cdot A)} \quad \text{Pers. (2)}$$

dimana n adalah perubahan berat (gram), t adalah waktu (hari), dan A adalah luas permukaan edible film (mm^2).

Pengamatan struktur penampang mikro *edible film* dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron scanning model SEM JEOL JSM 5310 LV. *Edible film* dipotong dengan ukuran 0,5x0,5 cm; kemudian potongan film tersebut diletakkan di atas piring yang telah dilapisi dengan karbon dan emas. Sampel siap kemudian ditempatkan pada perangkat SEM untuk pengamatan mikrostruktur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketebalan Film

Hasil penelitian tentang nilai ketebalan film whey-konnyaku dapat dilihat pada tabel 1. Analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan pH yang berbeda tidak memberikan perbedaan yang nyata ($P > 0,05$) terhadap nilai ketebalan film. Ketebalan film mengalami peningkatan pada penggunaan pH 4 dan kembali menurun pada pH 10, namun peningkatan dan penurunan tersebut tidak terlalu jauh dengan perlakuan kontrol. Hal ini dikarenakan penambahan bahan kering larutan pembentuk film dengan penambahan konnyaku. Ketebalan film dengan kondisi pH yang berbeda dapat dipengaruhi oleh tambahan padatan dan kandungan padatan (konnyaku) tersebut dapat meningkatkan ketebalan film (Kaewprachu et al. 2018). Pembentukan gel pada struktur film dipengaruhi oleh pH. pH optimum untuk pembentukan gel adalah sekitar 4-7 sehingga penggunaan pH 4 menghasilkan ketebalan film yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan pH 7. Interaksi antara whey-konnyaku dengan penambahan pH dapat membentuk ikatan hydrogen dan menghasilkan jaringan film dengan kandungan yang lebih padat (Jancikova et al. 2019). Nilai ketebalan ini hampir sama dengan penelitian sebelumnya (Fahrullah et al. 2020) menghasilkan 0,0286-0,0308 mm dan (Fahrullah et al. 2020) menghasilkan nilai ketebalan 0,0294-0,0370 mm.

Kemuluran Film

Analisis ragam persentase kemuluran film whey-konnyaku (Tabel 1) menunjukkan bahwa penggunaan pH yang berbeda memberikan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$). Nilai kemuluran yang dihasilkan 62,68%, hasil ini telah memenuhi JIS (1975) yang mensyaratkan $>50\%$. Penggunaan pH 10 menunjukkan nilai kemuluran

yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan penggunaan pH 4. Hal ini dimungkinkan karena whey dan konnyaku lebih reaktif terhadap sifat basa sehingga pada kondisi basa sifat reaktif whey dan konnyaku meningkat. Peningkatan sifat reaktif whey dan konnyaku berpengaruh terhadap ikatan dalam matriks film, hal ini akan mengurangi sifat hidrofobik yang berpengaruh pada peningkatan persentase kemuluran film yang dihasilkan (Fahrullah et al. 2022; Sun et al. 2023). Persentase kemuluran dalam penelitian belum memenuhi standat kemuluran film yaitu minimal 70% (Japanese Industrial Standard 1975). Kemuluran yang rendah menunjukkan bahwa film kurang fleksibel ketika mengalami tekanan mekanis. Perlakuan panas dapat memisahkan struktur kuarterner protein yang menyebabkan interaksi antarmolekul yang tidak mungkin terjadi dalam bentuk protein aslinya (Fahrullah et al. 2021). Hasil penelitian (Munir et al. 2020) menghasilkan persentase kemuluran yang lebih besar dengan menggunakan bahan dasar protein dalam pembuatan film yang digabungkan dengan ekstrak teh hijau menghasilkan nilai kemuluran pada pH 3 sebesar 88,95% dan pada pH 11 sebesar 154,21%. Penelitian (Santoso et al. 2014) yang menggunakan perlakuan penggunaan pH menghasilkan persentase kemuluran sebesar 80% (pH 5) dan 91,78% (pH 9).

Kekuatan Tarik Film

Tabel 1 menunjukkan nilai kekuatan tarik film whey-konnyaku. Analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan pH yang berbeda memberikan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) terhadap nilai kekuatan tarik film whey konnyaku. Kondisi basa (pH 10) memperlihatkan nilai kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan film dengan asam (pH 4) dan kontrol. Secara umum penambahan polimer konnyaku dapat meningkatkan kekuatan tarik film (Fahrullah et al., 2020) sehingga memungkinkan membentuk ikatan yang lebih kompak dan kuat. Namun disisi lain, penggunaan pH tinggi ada kecenderungan menurunkan kekuatan tarik film (berkaitan dengan pembentukan gel), kondisi ini terjadi dikarenakan peningkatan pH menyebabkan peningkatan suhu dan penurunan entalpi *coil-helix transition*. Hasil ini dikaitkan dengan penurunan pembentukan gel pada nilai pH yang tinggi karena tolakan elektrostatis yang lebih besar antara molekul gel (Munir et al. 2020; Kumari et al. 2021). Sifat

mekanis film komposit dari sumber atau bahan yang berbeda kemungkinan disebabkan juga oleh perbedaan jenis, sifat, berat molekul, komposisi asam amino dari protein yang terlibat dalam matriks pembentukan film (Tao et al. 2015). Nilai kekuatan tarik dari penelitian ini menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan bahan dasar film yang sama, diantaranya menghasilkan nilai kekuatan tarik 5,72-8,20 N (Fahrullah et al. 2020), 5,72-7,44 N ((Fahrullah et al. 2020) serta penelitian (Fahrullah et al. 2021) dengan penambahan minyak atsiri cengkeh menghasilkan nilai kekuatan tarik 6,90-8,86 N.

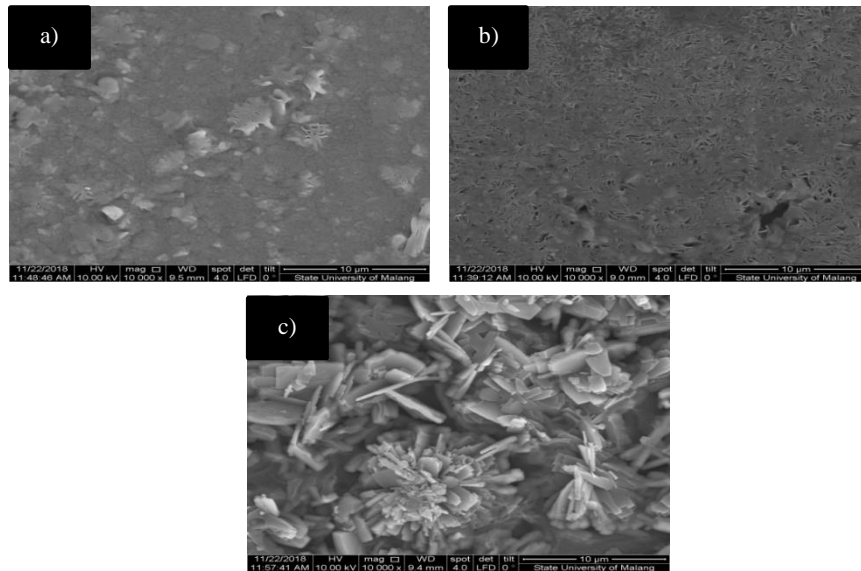
Laju Transmisi Uap Air

Hasil penelitian tentang laju transmisi uap air film whey konnyaku dapat dilihat pada Tabel 1. Analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan pH yang berbeda tidak memberikan perbedaan yang nyata ($P > 0,05$). Nilai rata-rata laju transmisi uap air yang dihasilkan adalah $7 \text{ g/mm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$ dan hasil ini telah memenuhi Japanese Industrial Standard (1975) yang mensyaratkan maksimum $10 \text{ g/mm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$. Semakin tinggi penggunaan pH maka laju transmisi uap air semakin meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh reaksi polimer whey dan konnyaku (komposit) yang rendah pada pH yang tinggi. Dengan reaktivitas rendah maka konnyaku tidak berikatan secara optimal dalam matriks whey sehingga menyebabkan sifat semi polar film menurun. Kombinasi antara whey dan konnyaku juga dapat mempengaruhi nilai laju transmisi uap air film. Hal ini dikarenakan whey-konnyaku sebagai bahan pengisi pada matriks film sehingga dengan penambahan polimer tersebut maka matriks film semakin padat. Matriks *edible film* yang padat menyebabkan uap air sulit untuk menembusnya sehingga menghasilkan laju transmisi uap air yang rendah. Molekul protein dalam pembentuk film pada pH 4 dan pH 10 sebagian akan terbuka akibat denaturasi protein (Ozdamar et al. 2013; Kaewprachu et al. 2018). Ikatan silang alami antara protein dengan karbohidrat melintasi ikatan hidrogen, interaksi ini terkait dengan tingkat gugus hidroksil yang lebih tinggi karena jumlah gugus hidroksil yang lebih tinggi menunjukkan ikatan silang yang kuat (Quan et al. 2019; Munir et al. 2020). Beberapa penelitian yang menggunakan bahan dasar yang sama menghasilkan nilai laju transmisi uap air yang beragam seperti (Fahrullah et al., 2020) menghasilkan $7,63-7,96 \text{ g/mm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$ dan (Fahrullah et al. 2020).

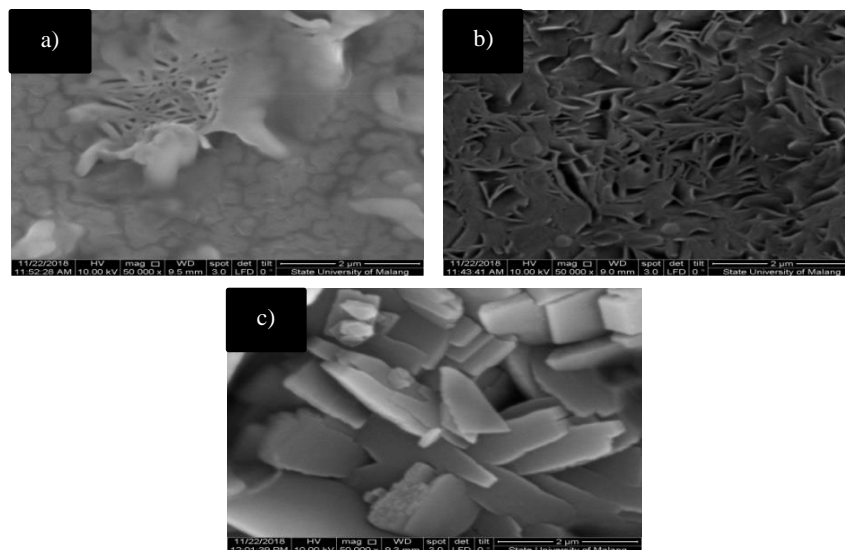
Tabel 1 Sifat mekanis film whey-konnyaku dengan penggunaan ph yang berbeda

Perlakuan	Ketebalan (mm)	Kemuluran (%)	Kekuatan Tarik (N)	WVTR (g/mm ² .day ⁻¹)
P1	0,0347 ± 0,03	50,67 ^a ± 5,47	11,16 ^a ± 2,01	6,99 ± 1,23
P2	0,0357 ± 0,01	47,88 ^a ± 6,09	8,86 ^{pa} ± 3,60	7,15 ± 2,65
P3	0,0343 ± 0,02	62,68 ^b ± 5,48	6,86 ^p ± 0,83	7,47 ± 1,05

Ket: Superskrip^{ab} pada kolom yang sama memberikan perbedaan yang sangat nyata (P<0,01) antar perlakuan. Superskrip^{pa} pada kolom yang sama memberikan perbedaan yang nyata (P<0,05).



Gambar 1 Mikrostruktur film whey-konnyaku dengan penggunaan pH yang berbeda dengan perbesaran 10.000x



Gambar 2 Mikrostruktur film whey-konnyaku dengan penggunaan pH yang berbeda dengan perbesaran 50.000x.

Scanning Electron Microscope

Scanning Electron Microscope (SEM) bertujuan untuk menampilkan ataupun memperlihatkan partikel penyusun bahan yang terkandung dalam film (Fahrullah and Ervandi 2021; Fahrullah and Ervandi 2022). Bahan dasar dan tata proses yang tepat sangatlah menentukan

sifat mekanis dari film. Proses pengamatan mikrostruktur film merupakan sebuah elemen yang penting untuk dapat mengetahui sifat dari film (Fahrullah and Ervandi 2022). Hasil penelitian menghasilkan struktur penampang film (Gambar 1 dan Gambar 2) dengan menggunakan perbesaran 10.000x dan 50.000x. Gambar 1(a) dan

1(b) memperlihatkan struktur *edible film* yang lebih rata dan lebih halus dibandingkan dengan mikrostruktur *edible film* dengan Gambar 1(c), namun pada perlakuan kontrol dan penggunaan pH 4 ada sedikit perbedaan penampakan permukaan film dihasilkan dimana perlakuan kontrol terjadi sedikit penggumpalan, hal ini dikarenakan pada saat proses pencampuran larutan yang tidak merata (kurang homogen). Selain itu juga, proses pemanasan pembuatan larutan film berpengaruh terhadap pembentukan gumpalan pada struktur penampang film dimana pemanasan yang baik menghasilkan permukaan struktur yang rata serta halus. Proses pemanasan air dengan konnyaku akan menghasilkan gel yang baik dimana konnyaku memiliki fungsi untuk dapat menjaga kekompakan dan kestabilan dari film whey (Fahrullah and Ervandi 2022). Sinaga et al. (2013) menyatakan bahwa proses pemanasan akan berkaitan dengan sifat mekanis film yang akan dihasilkan, kekuatan tarik film akan meningkat dan akan menyebabkan tingginya kemampuan film dalam hal kemuluran (elongasi) dan akan tahan terhadap kerapuhan. Pada gambar 2(b) menunjukkan permukaan yang lebih halus dan terdistribusi secara teratur dibandingkan dengan film kontrol (2a) dan film dalam kondisi basa (2c). Gambar 2(c) terlihat adanya pori-pori terbentuk pada struktur *edible film*. Pengamatan ini sesuai dengan fakta bahwa partikel protein whey yang terbentuk pada nilai pH yang tinggi menimbulkan gel makroskopis dengan terbentuknya pori-pori yang lebih besar (Perez et al. 2014). Ketidakrataan dan banyaknya pori-pori pada film disebabkan oleh terbentuknya gel kompleks protein yang tergantung pada pH. Kompleks gel protein dapat terlarut sehingga gel yang terbentuk menghasilkan struktur anyaman. Al-Awwaly et al (2010) menyatakan bahwa ketidakrataan dan terbentuknya pori pada film disebabkan oleh terbentuknya gel kompleks protein yang tergantung pH, pada pH yang mendekati titik isoelektrik maka kompleks gel protein akan terlarut sehingga akan mengakibatkan gel terbentuk seperti anyaman.

KESIMPULAN

Penggunaan pH asam dan basa pada film berbasis whey-konnyaku memberikan sifat mekanis film seperti ketebalan, kemuluran, kekuatan tarik serta laju transmisi uap air yang sesuai dengan Japanese Industrial Standard yang dihasilkan dengan penggunaan kondisi keduanya. Film dalam kondisi asam dapat memperbaiki

struktur penampang film yang baik (permukaan yang lebih merata dan homogen) serta film dalam kondisi basa dapat memperbaiki nilai ketebalan, kemuluran serta laju transmisi uap air yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Beasiswa BUDI DN bekerjasama dengan Lembaga Pengelolaan Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan RI sebagai penyandang dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Awwaly, K.U., A. Manab, and Wahyuni, E. 2010. Pembuatan *edible film* protein whey: Kajian rasio protein dan gliserol terhadap sifat fisik dan kimia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*. 5(1): 45-56.
- Ansari, I. 2020. Karakterisasi pembuatan *edible film* dengan variable kombinasi tepung konjac dan karagenan serta konsentrasi gliserol. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 4(2): 88-95. [doi: 10.32493/jitk.v4i2.6654]
- Chen, H., J. Wang., Y. Cheng, C. Wang, H. Liu, H. Bian, Y. Pan, J. Sun, and W. Han, W. 2019. Application of protein-based films and coatings for food packaging: A review. *Polymers (Basel)*. 11(12). [doi: 10.3390/polym11122039]
- Dick, M., T. M. H. Costa, A. Gomaa, M. Subirade, A. D. O. Rios, and S. H. Flôres. 2015. *Edible film* production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*. 130: 198-205. [doi: 10.1016/j.carbpol.2015.05.040]
- Du, X., L. Yang, X. Ye, and B. Li. 2013. Antibacterial activity of konjac glucomannan/chitosan blend films and their irradiation-modified counterparts. *Carbohydrate Polymers*. 92(2): 1302-1307. [doi: 10.1016/j.carbpol.2012.10.006]
- Fahrullah, F., L. E. Radiati, P. Purwadi, and D. Rosyidi. 2020. The effect of different plasticizers on the characteristics of whey composite *edible film*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*. 15(1): 31-37. [doi: 10.21776/ub.jitek.2020.015.01.4]
- Fahrullah, F., L. E. Radiati, P. Purwadi, and D. Rosyidi. 2020. The physical characteristics of whey based *edible film* added with konjac. *Current Research Nutrition and*

- Food Science. 8(1): 333-339. [doi: 10.12944/CRNFSJ.8.1.31]
- Fahrullah, F. 2021. Penggunaan minyak cengkeh dalam aplikasi *edible film* whey terhadap karakteristik kimiawi dan mikrobiologis keju gouda. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 15(2): 592-600. [doi: 10.21107/agrointek.v15i2.10060]
- Fahrullah, F., M. Ervandi, M. A. Indrianti, D. O. Suparwata, I. A. Yasin, Y. A. Gobel, S. Mokoolang, and M. M. Mokoginta. 2021. Mechanical properties of whey composite *edible film* with the addition of clove essential oil and different types of plasticizer. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 755[doi: 10.1088/1755-1315/755/1/012004]
- Fahrullah, F., M. Ervandi, and D. Rosyidi. 2021. Characterization and antimicrobial activity of whey *edible film* composite enriched with clove essential oil. *Tropical Animal Science Journal*. 44(3): 369-376. [doi: 10.5398/tasj.2021.44.3.369]
- Fahrullah, F and M. Ervandi. 2021. Mikrostruktur *edible film* whey dangke dengan penambahan karagenan dan plasticizer sorbitol 35%. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Tropis*. 6(2): 26–31. [doi: 10.33772/jitro.v8i1.14785]
- Fahrullah, F and M. Ervandi. 2022. Karakterisasi mikrostruktur film whey dengan penambahan konjac glucomannan. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 16(3): 403–411. [doi: 10.21107/agrointek.v16i3.12303]
- Fahrullah, F., A. Noersidiq, and F. Maruddin. 2022. Effects of glycerol plasticizer on physical characteristic of whey-konjac films enriched with clove essential oil. *Journal of Quality & Hazards Control*. 9(4): 226-233. [doi: 10.18502/jfqhc.9.4.11377]
- Gamli, Ö. F. 2021. Film production with groundnut extraction cake and its physico-mechanical properties with potential use for food packaging. *International Journal of Horticulture, Agriculture and Food Science (IJHAF)*. 5(1): 10-18. [doi: 10.22161/ijhaf.5.1.2]
- Guo, M and G. Wang. 2016. Whey protein polymerisation and its applications in environmentally safe adhesives. *International Journal of Dairy Technology*. 69(4): [doi: 10.1111/1471-0307.12303]
- Jancikova, S., E. Jamróz, P. Kulawik, J. Tkaczewska, and D. Dordevic. 2019. Furcellaran/gelatin hydrolysate/rosemary extract composite films as active and intelligent packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules*. 131: 19-28. [doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.050]
- JIS. 1975. Japanese Industrial Standard Z 1707. Japan: Japanese Standards Association.
- Kaewprachu, P., K. Osako, N. Rungraeng, and S. Rawdkuen, S., 2018. Characterization of fish myofibrillar protein film incorporated with catechin-Kradon extract. *International Journal of Biological Macromolecules*. 107. [doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.10.011]
- Kumari, N., S. P. Bangar, M. Petru, R. A. Ilyas, A. Singh, and Kumar, P. 2021. Development and characterization of fenugreek protein-based *edible film*. *Foods*. 10(9). [doi: 10.3390/foods10091976]
- Li, X., F. Jiang, X. Ni, W. Yan, Y. Fang, H. Corke, and M. Xiao. 2015. Preparation and characterization of konjac glucomannan and ethyl cellulose blend films. *Food Hydrocolloids*. 44: 229-236. [doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.09.027]
- Lin, J., D. Pan, Y. Sun, C. Ou, Y. Wang, and J. Cao. 2019. The modification of gelatin films: Based on various cross-linking mechanism of glutaraldehyde at acidic and alkaline conditions. *Food Science Nutrition*. 7(12). [doi: 10.1002/fsn3.1282]
- Maniglia, B.C., R. L. de Paula, J. R. Domingos, and D. R. Tapia-Blácido. 2015. Turmeric dye extraction residue for use in bioactive film production: Optimization of turmeric film plasticized with glycerol. *LWT*. 64(2): 1187-1195. [doi: 10.1016/j.lwt.2015.07.025]
- Maruddin, F., R. Malaka, F. Fahrullah, and M. Taufik. 2018. Karakteristik *edible film* berbahan whey dangke dengan penambahan karagenan. *Jurnal Veteriner*. 19(2): 291-297. [doi:10.19087/jveteriner.2018.19.2.291]
- Munir, S., Y. Hu, Y. Liu, and S. Xiong. 2019. Enhanced properties of silver carp surimi-based *edible films* incorporated with pomegranate peel and grape seed extracts under acidic condition. *Food Packaging and Shelf Life*. 19: 114-120. [doi: 10.1016/j.fpsl.2018.12.001]

- Munir, S., M. Javed, Y. Hu, Y. Liu, and S. Xiong. 2020. The effect of acidic and alkaline pH on the physico-mechanical properties of surimi-based *edible films* incorporated with green tea extract. *Polymers (Basel)*. 12(10). [doi: 10.3390/polym12102281]
- Nagarajan, M., S. Benjakul, T. Prodpran, and P. Songtipya, P. 2015. Effects of bio-nanocomposite films from tilapia and squid skin gelatins incorporated with ethanolic extract from coconut husk on storage stability of mackerel meat powder. *Food Packaging and Shelf Life*. 6: 42–52. [doi: 10.1016/j.foodpack.2015.09.001]
- Nie, X., Y. Gong, N. Wang, and X. Meng. 2015. Preparation and characterization of edible myofibrillar protein-based film incorporated with grape seed procyanidins and green tea polyphenol. *LWT*. 64(2): 1042-1046. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.006>
- Nie, X., L. Zhao, N. Wang, and X. Meng. 2017. Phenolics-protein interaction involved in silver carp myofibrillar protein films with hydrolysable and condensed tannins. *LWT*. 81: 258-264. [doi: 10.1016/j.lwt.2017.04.011]
- Niu, H., X. Xia, C. Wang, B. Kong, and Q. Liu. 2018. Thermal stability and gel quality of myofibrillar protein as affected by soy protein isolates subjected to an acidic pH and mild heating. *Food Chemistry*. 242(1): 188-195. [doi: 10.1016/j.foodchem.2017.09.055]
- Otoni, C. G., R. J. Avena-Bustillos, H. M. C. Azeredo, M. V. Lorevice, M. R. Moura, L. H. C. Mattoso, and T. H. McHugh. 2017. Recent advances on *edible films* based on fruits and vegetables-A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 16(5). [doi: 10.1111/1541-4337.12281]
- Ozdam, T., E. Capanoglu, and F. Altay. 2013. A review on protein-phenolic interactions and associated changes. *Food Research International*. 51(2): 954-970. [doi: 10.1016/j.foodres.2013.02.009]
- Perez, L.M., M. V. Soazo, C. E. Balague, A. C. Rubiolo, and R. A. Verdini. 2014. Effect of pH on the effectiveness of whey protein/glycerol *edible films* containing potassium sorbate to control non-O157 shiga toxin-producing *Escherichia coli* in ready-to-eat foods. *Food Control*. 37: 298-304. [doi: 10.1016/j.foodcont.2013.09.018]
- Quan, T. H., S. Benjakul, T. Sae-leaw, A. K. Balange, and S. Maqsood, S. 2019. Protein-polyphenol conjugates: Antioxidant property, functionalities and their applications. *Trends in Food Science & Technology*. 91: 507-517. [doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.049]
- Santoso, B., O. H. Tampubolon, A. Wijaya, R. Pambayun. 2014. Interaksi pH dan ekstrak gambir pada pembuatan *edible film* anti bakteri. *Agrotech*. 34(1): 8-13. [doi: 10.22146/agrotech.9516]
- Shendurse, A. 2018. Milk protein based *edible films* and coatings—preparation, properties and food applications. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 8(2). [doi: 10.15406/jnhfe.2018.08.00273]
- Sinaga, L. L., M. S. Rejekina, and M. S. Sinaga. 2013. Karakteristik *edible film* dari ekstrak kacang kedelai dengan penambahan tepung tapioka dan gliserol sebagai bahan pengemas makanan. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2(4): 12-16. [doi: 10.32734/jtk.v2i4.1485]
- Socaciu, M. I., M. Fogarasi, C. A. Semeniuc, S. A. Socaci, M. A. Rotar, V. Mureşan, O. L. Pop, and D. C. Vodnar. 2020. Formulation and characterization of antimicrobial *edible films* based on whey protein isolate and tarragon essential oil. *Polymers (Basel)*. 12(8). [doi: 10.3390/POLYM12081748]
- Spotti, M. L., J. P. Cecchini, M. J. Spotti, and C. R. Carrara. 2016. Brea gum (from *Cercidium praecox*) as a structural support for emulsion-based *edible films*. *LWT*. 68: 127-134. [doi: 10.1016/j.lwt.2015.12.018]
- Sukhija, S., S. Singh, and C. S. Riar, C.S., 2016. Analyzing the effect of whey protein concentrate and psyllium husk on various characteristics of biodegradable film from lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome starch. *Food Hydrocolloids*. 60: 128-137. [doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.03.023]
- Sun, Y., X. Xu, Z. Wu, H. Zhou, X. Xie, Q. Zhang, R. Liu, and J. Pang. 2023. Structure, merits, gel formation, gel preparation and functions of konjac glucomannan and its application in aquatic food preservation. *Foods*. 12(6). [doi:10.3390/foods12061215]
- Tao, Z., W. Y. Weng, M. J. Cao, G. M. Liu, W. J. Su, K. Osako, and M. Tanaka. 2015. Effect

- of blend ratio and pH on the physical properties of edible composite films prepared from silver carp surimi and skin gelatin. *Journal of Food Science and Technology*. 52(3): 1618-1625. [doi: 10.1007/s13197-013-1186-5]
- 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(1): 1096-1104. [doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.07.127]
- Wardana, A. A and T. D. Widyaningsih. 2018. Development of *edible films* from tapioca starch and agar, enriched with red cabbage (*Brassica oleracea*) as a sausage deterioration bio-indicator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 109. [doi: 10.1088/1755-1315/109/1/012031]
- Wittaya, T. 2013. Influence of Type and Concentration of Plasticizers on the Properties of *Edible film* From Mung Bean Proteins. *KMITL Science Technology Journal*. 13(1).
- Wu, C., Y. Li, Y. Du, L. Wang, C. Tong, Y. Hu, J. Pang, and Z. Yan. 2019. Preparation and characterization of konjac glucomannan-based bionanocomposite film for active food packaging. *Food Hydrocolloids*. 89: 682-690. [doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.11.001]