

KARAKTERISTIK *BIODEGRADABLE FILM* BERBASIS SELULOSA BUNGKIL INTI SAWIT (BIS) DENGAN VARIASI KONSENTRASI *PLASTICIZER* GLISEROL DAN *FILLER* GLUKOMANAN

CHARACTERISTICS OF *BIODEGRADABLE FILM* BASED ON PALM KERNEL EXPELLER CELLULOSE WITH VARIED CONCENTRATIONS OF GLYCEROL *PLASTICIZER* AND GLUCOMANNAN *FILLER*

Dinda Dwi Jessica, Zulferiyenni*, Fibra Nurainy, Otik Nawansih, M.P.

¹ Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

* email korespondensi: zulferiyenni@gmail.com

Tanggal masuk: 7 Juni 2024

Tanggal diterima: 27 Juni 2024

Tanggal Terbit: 16 September 2024

Abstract

A cellulose-based *biodegradable film* has the potential to be used as bioplastic that can decompose by microorganisms in the soil. Palm kernel expeller contains 23.36% cellulose. This research aims to determine the effect of adding glycerol and glucomannan on the characteristics of cellulose-based *biodegradable film* from palm kernel cake, as well as to understand the interaction effects between glycerol and glucomannan on these characteristics. The study was designed using a Completely Randomized Block Design (CRBD) with two factors and three replications. The first factor is the concentration of glycerol coded (G), which consists of three concentrations (0%, 0.2%, and 0.4%) (v/v). The second factor is the concentration of glucomannan coded (L), which consists of three concentrations (1%, 2%, and 3%) (b/v). The research results showed significant differences in the characteristics of the cellulose-based *biodegradable film* from palm kernel expeller. The characteristics of the *biodegradable film* produced tensile strength and water vapor transmission rate values that met the JIS 1975 standard, could degrade within 3 weeks, and maintained room temperature stability for 3 weeks. However, the elongation percentage and thickness values did not meet the JIS 1975 standard.

Keywords: *biodegradable film*, cellulose, palm kernel expeller, glycerol, and glucomannan

Abstrak

Biodegradable film berbasis selulosa berpotensi sebagai bioplastik yang dapat terurai oleh mikroorganisme di dalam tanah. Bungkil inti sawit memiliki kandungan selulosa sebesar 23,36%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan gliserol dan glukomanan terhadap karakteristik *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit, serta mengetahui pengaruh interaksi antara gliserol dan glukomanan terhadap karakteristik *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit. Penelitian ini disusun dalam Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama adalah konsentrasi gliserol dengan kode (G) yang terdiri dari tiga konsentrasi (0%, 0,2% dan 0,4%) (v/v). Faktor kedua adalah konsentrasi glukomanan dengan kode (L) yang terdiri dari tiga konsentrasi (1%, 2% dan 3%) (b/v). Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh yang berbeda terhadap karakteristik *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit. karakteristik *biodegradable film* menghasilkan nilai kuat tarik dan laju transmisi uap air yang sudah memenuhi standar JIS 1975, dapat terdegradasi selama 3 minggu dan memiliki ketahanan suhu ruang selama 3 minggu. Namun nilai persen pemanjangan dan ketebalan belum memenuhi standar JIS 1975.

Kata Kunci: *biodegradable film*, selulosa, bungkil inti sawit, gliserol, dan glukomanan

PENDAHULUAN

Kemasan plastik merupakan jenis kemasan yang paling banyak digunakan untuk mengemas bahan. Plastik banyak digunakan sebagai bahan kemasan karena memiliki sifat yang ringan, kuat, dan fleksibel saat digunakan sebagai pengemas. Namun plastik memiliki kelemahan yakni sulit dan membutuhkan waktu yang lama untuk terurai di lingkungan sehingga berpotensi untuk mencemari lingkungan (Utami dkk., 2014). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2022 grafik komposisi sampah berdasarkan sumber sampah menunjukkan bahwa sampah plastik menempati urutan kedua timbunan sampah yakni sebanyak 17,8% (SIPSN, 2022). Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari sampah plastik adalah dengan pengembangan plastik ramah lingkungan atau biasa disebut dengan *biodegradable film*.

Biodegradable film adalah bioplastik yang terbuat dari polimer alami seperti selulosa yang mudah terurai oleh aktivitas mikroorganisme yang ada di dalam tanah (Nurfauzi dkk., 2018). Kelebihan dari *biodegradable film* adalah sifatnya yang hampir sama dengan plastik dan lebih mudah terurai oleh mikroorganisme lingkungan. Bahan baku dari *biodegradable film* dapat berasal dari sumber daya alam terbarukan salah satunya adalah selulosa. Kemampuan selulosa yang dapat membentuk hidrokoloid dalam sistem pelarut yang sesuai dapat menjadi bahan baku pembuatan *biodegradable film* (Hidayati dkk., 2019).

Selulosa memiliki sifat termoplastik yang berpotensi untuk dibentuk atau dicetak menjadi film kemasan. Keunggulan selulosa sebagai bahan baku *biodegradable film* adalah renewable (tersedia sepanjang tahun) dan mudah terdegradasi secara alami menjadi senyawa ramah lingkungan (Fitriasari dkk., 2019). Salah satu bahan yang memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi adalah bungkil inti sawit (BIS). Bungkil inti sawit merupakan produk sampingan dari industri minyak sawit (Akbarillah dkk., 2020). Kandungan selulosa bungkil inti sawit 23,36%, hemiselulosa 26,71% dan lignin 12,29% (Anita, 2017).

Biodegradable film berbasis selulosa memiliki sifat yang kaku sehingga membutuhkan penambahan *plasticizer*. Fungsi dari penambahan *plasticizer* adalah untuk meningkatkan elastisitas, mengurangi resiko pecah, sobek dan hancurnya *biodegradable film* yang terbentuk. Jenis *plasticizer* yang dapat digunakan adalah gliserol. Menurut Aripin dkk., (2017) penambahan gliserol sebagai *plasticizer* dapat meningkatkan elastisitas dan mengurangi derajat ikatan hidrogen serta menambah jarak antara molekul dari polimer. *Biodegradable film* berbasis selulosa berpotensi timbulnya rongga-rongga dan flok pada lapisan film karena adanya penumpukan selulosa dan pencampuran antara selulosa dan gliserol yang tidak merata (Natalia dkk., 2019). Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan penambahan *filler*, salah satu *filler* yang dapat digunakan adalah glukomanan.

Glukomanan merupakan hetero-polisakarida yang diperoleh dari hasil pengolahan umbi porang menjadi tepung porang. Penambahan polisakarida sebagai *filler* dapat berfungsi sebagai bahan pengisi dari rongga-rongga film sehingga film memiliki pori-pori yang kecil. Umbi porang memiliki kandungan glukomanan yang berkemampuan membentuk lapisan film yang baik, dapat terurai alami di lingkungan oleh aktivitas mikroorganisme, biokompatibilitas yang baik, dan memiliki kemampuan membentuk gel (Falah dkk., 2021).

Menurut Indrawati dkk. (2019) glukomanan memiliki gugus asetil yang mampu berikatan dengan amilopektin pati membentuk ikatan silang sehingga diharapkan mampu menjadi *biodegradable film* dengan ikatan yang kuat dan memiliki sifat melindungi produk dari kerusakan. Oleh karena itu, penulis tertarik melakukan penelitian terkait *biodegradable film* berbasis bungkil inti sawit dengan variasi konsentrasi gliserol sebagai *plasticizer* dan *filler* glukomanan untuk mengetahui perlakuan terbaik antara glukomanan dan gliserol sehingga dapat menghasilkan karakteristik *biodegradable film* terbaik.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bungkil inti sawit (BIS), gliserol, glukomanan, CMC, aquades, NaOH sebagai pelarut lignin, H₂O₂ sebagai bleaching agent agar menghasilkan selulosa dengan tingkat kemurnian yang tinggi, dan tanah sebagai media pengurai.

Alat-alat yang digunakan adalah timbangan digital, cawan petri, magnetic stirrer, erlenmeyer, pipet tetes, mortar, sendok, aluminium foil, pH meter, beaker glass 250 ml, stopwatch, penangas air, batang pengaduk, kain saring 80 mesh, ayakan, dan termometer.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktorial dengan 2 faktor dan 3 kali ulangan. Faktor Pertama adalah gliserol (G) terdiri dari 3 taraf yaitu 0%, 0,2%, dan 0,4%. Faktor kedua yakni glukomanan (L) yang terdiri dari 3 taraf yakni 1%, 2% dan 3%. Kemudian kedua faktor dikombinasikan sehingga didapatkan 9 perlakuan dengan taraf gliserol dan glukomanan yang berbeda. Secara keseluruhan penelitian ini memiliki 27 unit perlakuan dengan menggunakan 3 ulangan dan setiap percobaan menggunakan selulosa sebanyak 5 g dan aquades sebanyak 50 ml.

Pengamatan yang dilakukan antara lain pengamatan visual, kuat tarik, persen pemanjangan, ketebalan, laju transmisi uap air, biodegradabilitas, dan ketahanan di suhu ruang. Data hasil pengamatan kuat tarik, persen pemanjangan, ketebalan, dan laju transmisi uap air dianalisis kesamaan ragamnya menggunakan uji Bartlett dan kemenambahan data diuji menggunakan uji Tuckey. Kemudian dianalisis menggunakan uji sidik ragam untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh perlakuan dan diolah lebih lanjut menggunakan uji beda nyata jujur (BNJ) pada taraf 5%. Data pengujian pengamatan visual, ketahanan di suhu ruang, dan biodegradabilitas akan disajikan dalam bentuk gambar kemudian dan dibahas secara deskriptif.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan 2 (dua) tahapan. Penelitian tahap pertama adalah pemurnian selulosa bungkil inti sawit. Bungkil inti sawit yang telah didapatkan, diayak dengan ayakan 80 mesh lalu direndam menggunakan larutan NaOH 2% (b/v) sebanyak 1 liter selama ± 2 jam. Selanjutnya, selulosa bungkil inti sawit dicuci dengan kain saring 80 mesh hingga mencapai pH netral. Kemudian, selulosa bungkil inti sawit akan memasuki tahap pemutihan (bleaching). Selulosa bungkil inti sawit dihidrolisis menggunakan H₂O₂ 2% (b/v) selama 3 jam pada suhu 85°C. Setelah itu, dicuci kembali menggunakan kain

saring 80 mesh hingga pH netral. Hasil akhir yang didapatkan adalah pulp selulosa dari bungkil inti sawit.

Penelitian tahap kedua adalah pembuatan *biodegradable film*. Pulp selulosa bungkil inti sawit dimasukkan ke dalam gelas beaker sebanyak 5 gram. Selanjutnya, ditambahkan CMC 2,5% (b/v), gliserol dan glukomanan sesuai perlakuan. Campuran tersebut dilarutkan dalam 50 ml aquades. Kemudian, campuran dipanaskan selama \pm 30 menit pada suhu 70oC. Campuran terus diaduk selama proses pemanasan untuk menghomogenkan dan meminimalisir terbentuknya gelembung. Saat proses pemanasan selesai, campuran dituangkan pada cawan petri dan dikeringkan selama 72 jam di suhu ruang

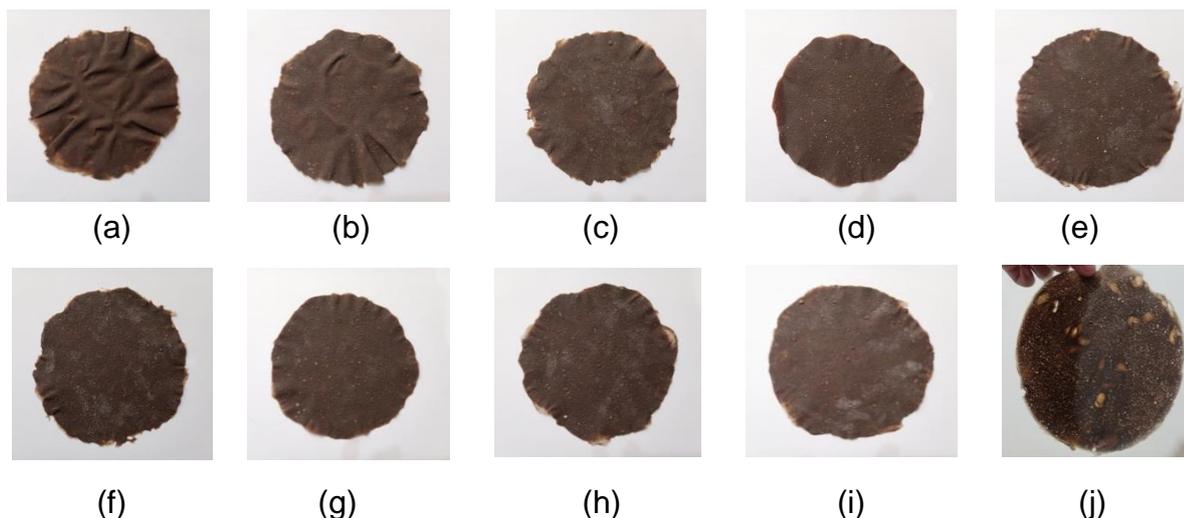
Biodegradable film yang diperoleh, selanjutnya dilakukan pengamatan meliputi pengamatan visual, kuat tarik, persen pemanjangan, ketebalan, laju transmisi uap air, biodegradabilitas, dan ketahanan suhu ruang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Visual

Hasil pengamatan visual terlihat bahwa terdapat perbedaan antar perlakuan meliputi tekstur dan bentuk *biodegradable film*. *Biodegradable film* tanpa penambahan gliserol menghasilkan *biodegradable film* dengan tekstur yang mengkerut dan kaku. *Biodegradable film* dengan penambahan gliserol dan glukomanan menghasilkan *biodegradable film* yang plastis dan tidak mengkerut. Menurunnya nilai kekakuan ini disebabkan karena gliserol dapat mengurangi ikatan hidrogen internal pada matriks glukomanan sehingga akan meningkatkan ikatan intermolekul (Prasetya dkk., 2016). Penambahan glukomanan juga berpengaruh terhadap kondisi fisik *biodegradable film*, dimana penambahan glukomanan dapat membentuk biofilm yang tidak kaku dan kuat (Dea dkk., 2022).

Biodegradable film tanpa penambahan gliserol dan glukomanan (kontrol) menghasilkan lapisan film yang memiliki banyak rongga serta memiliki tekstur yang kaku. Penambahan glukomanan sebagai *filler* pada *biodegradable film* dapat mengurangi rongga-rongga pada permukaan film. Glukomanan telah menyatu dengan struktur polimer selulosa dengan mengisi ruang-ruang kosong sehingga memiliki tekstur yang padat dan permukaan plastik biodegradable yang rata (Said, 2018).



Gambar 1. Pengamatan visual *biodegradable film* (a) Perlakuan G1L1, (b) Perlakuan G1L2, (c) Perlakuan G1L3, (d) Perlakuan G2L1, (e) Perlakuan G2L2, (f) Perlakuan G2L3, (g) Perlakuan G3L1, (h) Perlakuan G3L2, (i) Perlakuan G3L3, (j) Kontrol.

Kuat Tarik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit berkisar 1,99 MPa hingga 5,27 MPa. Berdasarkan analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan gliserol dan glukomanan, serta interaksi keduanya berpengaruh terhadap nilai kuat tarik *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit. Hasil uji lanjut BNJ (beda nyata jujur) 5% disajikan pada Tabel 1. Hasil Uji Lanjut BNJ Kuat Tarik

Hasil uji lanjut BNJ 5% menunjukkan bahwa nilai kuat tarik *biodegradable film* berbeda antar perlakuan. Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa nilai kuat tarik antar perlakuan telah memenuhi standar JIS (*Japanese Industrial Standard*) 1975 yakni minimal 0,392 MPa (Andiati dkk., 2023). Nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh perlakuan G1L1 (gliserol 0% dan glukomanan 1%) yakni senilai 5,27 MPa, sedangkan nilai kuat tarik terendah dimiliki oleh perlakuan G3L2 (gliserol 0,4% dan glukomanan 2%) yakni senilai 1,99 MPa. Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini menunjukkan bahwa interaksi antara gliserol dan glukomanan mempengaruhi nilai kuat tarik yang dihasilkan.

Tabel 1. Hasil Uji Lanjut Persen Pemanjangan

Perlakuan	Nilai Kuat Tarik (MPa)
G3L2	1,99 ^a
G2L2	2,26 ^b
G2L3	2,36 ^c
G3L3	2,72 ^d
G3L1	3,11 ^e
G1L2	3,42 ^f
G1L3	3,46 ^g
G2L1	4,04 ^h
G1L1	5,27 ⁱ

BNJ (0,05)=0,020

Perlakuan G1L1, G1L2, dan G1L3 menunjukkan bahwa penambahan glukomanan yang lebih tinggi menghasilkan nilai kuat tarik yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena glukomanan adalah jenis serat pangan yang larut dalam air. Ketika glukomanan terlarut dalam air maka akan membentuk larutan kental yang memiliki kemampuan untuk menahan kelembaban (Sulastri dkk.,

2021). Ketika digunakan dalam pembuatan *biodegradable film*, glukomanan dapat menyerap air dari lingkungan sekitarnya atau dari bahan-bahan lain dalam campuran. Akibatnya, material akhir yang mengandung glukomanan dapat memiliki kandungan air yang lebih tinggi. Matriks film yang lembab cenderung menjadi fleksibel dan dapat mengurangi kekuatan ikatan antar molekul dalam material (Widyaningsih, 2012).

Perlakuan G2L1 memiliki nilai kuat tarik yang lebih besar dibanding perlakuan G1L2 dan G1L3. Hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara gliserol dan glukomanan yang terjadi. Interaksi antara gliserol dan glukomanan terjadi ketika gliserol berdifusi ke dalam matriks glukomanan selama pembentukan film. Hal ini mengakibatkan peningkatan fleksibilitas film dan peningkatan kemampuan film untuk menahan kelembaban. Glukomanan adalah polisakarida yang mengandung sejumlah gugus hidroksil (-OH) yang dapat berinteraksi dengan gliserol yang juga memiliki gugus hidroksil (Rachmawati, 2018). Interaksi hidrogen terjadi ketika atom hidrogen pada gugus hidroksil glukomanan membentuk ikatan hidrogen dengan atom oksigen pada gugus hidroksil gliserol. Hal ini menyebabkan pembentukan jembatan hidrogen antara gliserol dan glukomanan, yang dapat memperkuat matriks polimer film. Terbentuknya ikatan hidrogen antara gliserol dan glukomanan dapat memperkuat integritas struktural film sehingga meningkatkan kuat tarik (Ibrahim dkk., 2022).

Perlakuan G2L2 hingga G2L3 mengalami penurunan nilai kuat tarik. Hal ini disebabkan interaksi antara glukomanan dan gliserol menyebabkan perubahan struktur dalam matriks polimer

yang dapat mengakibatkan terbentuknya matriks yang lebih lentur dan plastis sehingga rentan terhadap peregangan dan penarikan.. Gliserol dan glukomanan sama-sama memiliki sifat hidrofilik yang dapat menyerap air dengan baik. Keberadaan air dapat membuat rantai polimer lebih mudah bergerak relatif satu sama lain. Jarak antara molekul yang lebih jauh dan kekuatan ikatan molekul menjadi lemah menyebabkan kekuatan tarik *biodegradable film* menurun (Aripin, 2017).

Persen Pemanjangan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai persen pemanjangan *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit berkisar 3,06% hingga 14,58%. Berdasarkan analisis ragam, gliserol dan glukomanan serta interaksi keduanya berpengaruh terhadap persen pemanjangan *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit. Hasil uji lanjut BNJ (beda nyata jujur) 5% disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Lanjut Persen Pemanjangan

Perlakuan	Nilai Persen Pemanjangan (%)
G1L1	3,06 ^a
G1L3	4,40 ^b
G2L1	5,44 ^c
G1L1	7,27 ^d
G2L2	9,14 ^f
G3L2	12,19 ^e
G3L1	12,20 ^g
G3L3	14,20 ^h
G2L3	14,58 ⁱ

BNJ (0,05)=0,127

Hasil uji lanjut BNJ 5% menunjukkan bahwa nilai persen pemanjangan *biodegradable film* berbeda antar perlakuan. Berdasarkan Tabel 2, diketahui

bahwa nilai persen pemanjangan pada setiap perlakuan belum memenuhi standar JIS (*Japanese Industrial Standard*) 1975 yakni minimal 70% (Andiati dkk., 2023). Nilai persen pemanjangan tertinggi dimiliki oleh perlakuan G2L3 (gliserol 0,2% dan glukomanan 3%) yakni 14,58%, sedangkan nilai persen pemanjangan terendah dimiliki oleh perlakuan G1L1 yakni 3,06% (gliserol 0% dan glukomanan 1%). Perlakuan G1L1 berbeda dengan seluruh perlakuan lainnya.

Interaksi antara gliserol dan glukomanan berpengaruh terhadap nilai persen pemanjangan yang dihasilkan. Interaksi yang terjadi antara gliserol dan glukomanan adalah pembentukan dan modifikasi ikatan hidrogen yang berperan dalam menentukan sifat mekanik dan fisik dari *biodegradable film*. Gliserol adalah molekul hidrofilik yang memiliki tiga gugus hidroksil (-OH) sehingga mampu membentuk ikatan hidrogen, sedangkan glukomanan adalah polisakarida yang memiliki banyak gugus hidroksil yang secara alami dapat membentuk ikatan hidrogen antar rantainya (Rusli, 2017). Ketika gliserol ditambahkan bersamaan dengan glukomanan, maka gliserol akan mengganggu ikatan hidrogen asli antar rantai glukomanan dengan membentuk ikatan hidrogen baru dengan rantai glukomanan. Gugus (-OH) dari gliserol akan memutus rantai yang panjang dan membuat rantai karbon *biodegradable film* yang terbentuk menjadi lebih pendek dan bercabang (Purnavita dkk., 2020). Pembentukan ikatan hidrogen baru antara gliserol dan glukomanan memungkinkan rantai polimer untuk bergerak lebih bebas relatif satu sama lain. Hal ini dapat meningkatkan persen pemanjangan sebelum bahan tersebut putus.

Perlakuan G3L3 memiliki nilai persen pemanjangan yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan sebelumnya. Hal ini dapat disebabkan karena adanya distribusi gliserol yang tidak merata sehingga dapat menurunkan persen pemanjangan (Pradipta dkk., 2020). Apabila gliserol tidak terdistribusi secara merata, maka beberapa bagian dari *biodegradable film* akan menjadi lemah dan mengurangi kemampuan material untuk meregang secara merata. Penambahan gliserol yang berlebihan juga berpengaruh terhadap penurunan persen pemanjangan. Menurut Hidayati dkk. (2019), Gliserol yang ditambahkan ke dalam larutan film akan memodifikasi struktur dalam jaringan dengan mengganggu ikatan hidrogen yang ada pada rantai glukomanan sehingga menyebabkan penurunan jumlah ikatan hidrogen intra- dan intermolekuler. Penambahan gliserol yang semakin banyak akan melemahkan matriks polimer sehingga *biodegradable film* terlalu lunak dan persen pemanjangan pun akan mengalami penurunan (Kumoro dan Purbasari, 2014).

Ketebalan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ketebalan *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit berkisar 0,32 mm hingga 0,53 mm. Berdasarkan analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan gliserol dan glukomanan, serta interaksi keduanya berpengaruh terhadap ketebalan *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit. Hasil uji lanjut BNJ (beda nyata jujur) 5% disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Lanjut Ketebalan

Perlakuan	Nilai Ketebalan (mm)
G1L1	0,32 ^a
G1L2	0,35 ^b
G2L1	0,38 ^c
G2L2	0,39 ^d
G1L3	0,41 ^e
G2L3	0,46 ^f
G3L3	0,51 ^g
G3L1	0,52 ^h
G3L2	0,53 ⁱ

BNJ(0,05)= 0,0018

Hasil uji lanjut BNJ 5% menunjukkan bahwa nilai ketebalan *biodegradable film* berbeda antar perlakuan. Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa nilai ketebalan pada setiap perlakuan belum memenuhi standar JIS (*Japanese Industrial Standard*) 1975 yakni < 0,25 mm (Andiati dkk., 2023). Nilai ketebalan tertinggi dimiliki oleh perlakuan G3L2 (gliserol 0,4% dan glukomanan 2%) yakni senilai 0,53 mm, sedangkan nilai ketebalan terendah dimiliki oleh perlakuan G1L1 (gliserol 0% dan glukomanan 1%) yakni senilai 0,32 mm. Interaksi antara gliserol dan glukomanan sebagai komponen penyusun *biodegradable film* berpengaruh terhadap nilai ketebalan *biodegradable film* berbasis bungkil inti sawit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi gliserol dan glukomanan cenderung menghasilkan nilai ketebalan yang lebih tinggi. Sifat hidrofilik gliserol dan glukomanan akan menyerap dan mempertahankan air dalam larutan film (Falah dkk., 2021). Selama proses pengeringan, air akan menguap secara perlahan dan menghasilkan lapisan padatan yang lebih tebal. Meningkatnya ketebalan ini dikarenakan glukomanan akan membentuk gel dan meningkatkan total padatan terlarut, kemudian gliserol akan menahan lebih banyak air dan padatan terlarut dalam larutan. Setelah

proses pengeringan, air yang terikat akan menguap dan menghasilkan lembaran *biodegradable film* yang lebih padat dan tebal. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zulferiyenni dkk. (2023) bahwa ketebalan akan meningkat seiring dengan penambahan gliserol. Gliserol dapat mudah larut dalam air sehingga me nyebabkan meningkatnya total padatan terlarut dan menyebabkan peningkatan polimer matriks film yang menghasilkan kekentalan yang tinggi dan meningkatkan ketebalan *biodegradable film* (Unsa dan Paramastri, 2018). Pengaruh gliserol terhadap peningkatan jumlah padatan terlarut diakibatkan karena polimer-polimer yang menyusun matriks film akan semakin banyak sehingga ketebalan mengalami peningkatan (Ningsih, 2015).

Penelitian yang dilakukan oleh Sadhana (2023) menyebutkan bahwa peningkatan penambahan konsentrasi glukomanan berdampak pada peningkatan ketebalan film karena perbedaan konsentrasi bahan pembuat film yang banyak, sedangkan volume larutan yang dituangkan masing-masing plat sama. Hal ini mengakibatkan total padatan terlarut di dalam film meningkat setelah dilakukan pengeringan dan polimer-polimer yang menyusun matriks film juga semakin banyak. Ketebalan sangat mempengaruhi sifat penghalang (*barrier*) terhadap uap air, selain itu ketebalan juga mempengaruhi umur simpan produk. Semakin tebal film yang dihasilkan maka akan semakin keras dan kaku dan juga produk yang dikemas akan terlindungi dari pengaruh luar (Suwarda dkk., 2019).

Laju Transmisi Uap Air (WVTR)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai laju transmisi uap air *biodegradable*

film berbasis selulosa bungkil inti sawit berkisar 0.003000 g/m²/hari - 0.010320 g/m²/hari . Berdasarkan analisis ragam menunjukkan bahwa penggunaan gliserol dan glukomanan, serta interaksi keduanya berpengaruh terhadap nilai laju transmisi uap air *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit. Hasil uji lanjut BNJ (beda nyata jujur) 5% disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Lanjut BNJ Laju Transmisi Uap Air

Perlakuan	Nilai Laju Transmisi Uap Air (g/m ² /hari)
G3L3	0.003000 ^a
G2L3	0.003861 ^b
G3L2	0.003985 ^b
G3L1	0.004177 ^c
G1L3	0.004718 ^d
G2L2	0.005013 ^e
G2L1	0.005878 ^f
G1L1	0.006487 ^g
G1L2	0.010320 ^h

BNJ (0,05)=0,0001

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa nilai laju transmisi uap air pada setiap perlakuan telah memenuhi standar JIS (*Japanese Industrial Standard*) 1975 yakni < 7 g/m²/hari (Andiati dkk., 2023). Nilai laju transmisi uap air tertinggi dimiliki oleh perlakuan G1L1 (gliserol 0% dan glukomanan 1%) yakni senilai 0.006487 g/m²/hari, sedangkan laju transmisi uap air terendah dimiliki oleh perlakuan G3L3 (gliserol 0,4% dan glukomanan 3%) yakni senilai 0.003000 g/m²/hari. Nilai laju transmisi uap air berbanding lurus dengan ketebalan yang dihasilkan. Semakin tebal film yang dihasilkan maka akan menghasilkan laju transmisi uap air yang rendah sehingga menghambat hilangnya air dari produk yang dikemas dengan *biodegradable film* dan kesegaran terjaga (Zulferiyenni dkk., 2014). Perlakuan G1L1 memiliki nilai ketebalan yang paling kecil

dan memiliki laju transmisi uap air yang tinggi, sedangkan perlakuan G3L3 memiliki nilai ketebalan yang tinggi dan memiliki nilai laju transmisi uap air yang rendah. Tinggi rendahnya nilai laju transmisi uap air dipengaruhi oleh penambahan konsentrasi gliserol dan glukomanan.

Perlakuan G1L1 berbeda dengan semua perlakuan lainnya. Hasil penelitian menunjukkan interaksi gliserol dan glukomanan cenderung menurunkan laju transmisi uap air. Ikatan hidrogen yang terbentuk dari gugus hidroksil gliserol dan glukomanan akan menghasilkan struktur yang kuat dan mampu pengurangi difusi molekul air di dalam material. Hal ini terjadi karena interaksi antar gliserol dan glukomanan berpengaruh terhadap nilai laju transmisi uap air. Ikatan hidrogen yang terbentuk antara gugus hidroksil gliserol dan glukomanan dapat mengurangi pergerakan molekuler dan kecenderungan uap air untuk bergerak melalui material karena menghasilkan matriks film yang rapat (Vania dkk., 2017). Gliserol akan berdifusi ke dalam matriks glukomanan dan membentuk matriks yang rapat sehingga dapat menghalangi pergerakan uap air (Darni dkk., 2014).

Perlakuan G2L3 dan G3L2 tidak berbeda namun berbeda dengan perlakuan lainnya. Hal ini dapat terjadi karena glukomanan memiliki kemampuan membentuk gel yang cukup kuat untuk mengontrol permeabilitas bahan terhadap uap air (Frigrina dkk., 2017). Ketika dilakukan penambahan konsentrasi gliserol, maka efek higroskopis dalam menarik air dari lingkungan ke matriks akan kurang signifikan karena gel dari glukomanan sudah dominan pada matriks *biodegradable film*. Sehingga nilai laju transmisi uap air yang dihasilkan tidak signifikan. Gliserol adalah senyawa yang

memiliki kemampuan untuk menyerap air (hidrofilik), namun apabila telah mencapai kapasitas maksimalnya, maka peningkatan konsentrasi gliserol tidak signifikan dalam menahan lebih banyak air karena gliserol sebagai *plasticizer* tidak berfungsi sebagaimana mestinya (Winarti, 2018).

Biodegradabilitas

Pengujian biodegradabilitas adalah pengujian dengan tujuan mengetahui seberapa cepat *biodegradable film* terdegradasi oleh mikroorganisme yang ada di lingkungan. Metode yang digunakan adalah soil burial test dengan media tanah (Widiatmono dkk., 2021).

Hasil pengamatan menunjukkan *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit dengan penambahan konsentrasi gliserol dan glukomanan dapat terdegradasi secara sempurna selama 21 hari (3 minggu). Hasil pengamatan biodegradasi pada minggu ke-1 menunjukkan *biodegradable film* belum terdegradasi secara utuh yakni mengalami kerusakan yang sangat sedikit. Pengamatan pada minggu ke-2 menunjukkan bahwa *biodegradable film* terurai sebagian dengan mengalami kerusakan hampir seluruh bagian film. Pengamatan pada minggu ke-3 menunjukkan bahwa *biodegradable film* telah terurai secara sempurna oleh aktivitas mikroorganisme yang ada di dalam tanah.

Hasil biodegradabilitas ini lebih cepat dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zulferiyenni dkk. (2023) yakni *biodegradable film* berbasis selulosa daun nanas terurai sempurna pada minggu kelima. Hal tersebut dikarenakan *biodegradable film* berbasis bungkil inti sawit terdapat penambahan glukomanan dan gliserol. Interaksi gliserol dan

glukomanan akan membentuk matriks yang lebih mudah ditembus oleh enzim dan mikroorganisme. Sifat hidrofilik yang dimiliki oleh gliserol dan glukomanan akan meningkatkan penyerapan air di dalam tanah (Septiosari dkk., 2014). Gugus hidroksil pada glukomanan akan memulai reaksi hidrolisis setelah mengabsorpsi air di dalam tanah. Reaksi hidrolisis akan menyebabkan film terdekomposisi ke dalam potongan-potongan kecil dan secepatnya akan terurai di dalam tanah (Elean dkk., 2018).

Penambahan gliserol dan glukomanan dapat meningkatkan kelembaban *biodegradable film* karena memiliki kemampuan mengikat air yang baik. Kelembaban film ini adalah salah satu faktor yang akan mempercepat laju biodegradasi karena tempat yang lembab merupakan media yang baik bagi mikroorganisme (Juliani dkk., 2022). Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Septiosari dkk. (2014), kemampuan degradasi film berkaitan dengan kemampuan menyerap air, kandungan air yang lebih banyak pada suatu material maka lebih mudah untuk terdegradasi.

Ketahanan Terhadap Suhu Ruang

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa lama kemampuan *biodegradable film* bertahan di suhu ruang. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan *biodegradable film* pada ruangan tertutup lalu diamati penampakan visualnya secara satu minggu sekali hingga penampakan visual dari *biodegradable film* mengalami perubahan.

Hasil pengamatan pada penelitian ini menunjukkan bahwa, *biodegradable film*

berbasis selulosa bungkil inti sawit yang disimpan pada minggu pertama dan minggu kedua tidak mengalami perubahan yang signifikan. Namun pada minggu ke-3 dan minggu ke-4 penampakan visual *biodegradable film* mulai ditumbuhi jamur yang ditandai dengan adanya bintik-bintik putih pada permukaan film. Hasil pengamatan menunjukkan *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit hanya mempunyai masa simpan selama 3 minggu pada suhu ruang. Pertumbuhan jamur pada film dapat disebabkan karena kondisi ruangan penyimpanan lembab dan kondisi ruangan yang tidak terlalu bersih sehingga rentan ditumbuhi jamur.

Gliserol dan glukomanan memiliki sifat hidrofilik sehingga menghasilkan *biodegradable film* dengan kelembaban tinggi yang ideal bagi pertumbuhan jamur. Sifat higroskopis dari gliserol dan glukomanan akan menyerap air yang ada di lingkungan, sehingga kadar air *biodegradable film* akan meningkat (Septiosari dkk., 2014). Keadaan yang lembab merupakan media yang baik bagi mikroorganisme. Air merupakan media yang baik untuk pertumbuhan dan reproduksi sehingga mempercepat aktivitas metabolik mereka (Faustina dkk., 2023). Glukomanan juga dapat berperan sebagai sumber nutrisi bagi pertumbuhan jamur. Glukomanan merupakan polisakarida yang tersusun oleh polimer D-manosa dan D-glukosa (Afriyani dkk., 2013). Polisakarida ini dapat dipecah oleh enzim yang diproduksi oleh jamur, menghasilkan gula sederhana yang dapat digunakan sebagai sumber energi bagi pertumbuhannya.

Pada minggu ke-4 terjadi perubahan tekstur *biodegradable film* menjadi kaku. Penyimpanan yang semakin lama, menyebabkan gliserol dan glukomanan

mengalami oksidasi. Gugus (-OH) pada gliserol dan glukomanan akan bereaksi dengan oksigen (O₂) yang ada di udara sebagai agen oksidator. Reaksi oksidasi akan membentuk radikal hidroksil (-OH) atau radikal peroksil (ROO). Hasil dari reaksi ini membentuk ikatan silang yang menyebabkan peningkatan kekakuan. Ikatan silang ini akan membentuk matriks yang lebih rapat sehingga meningkatkan kekakuan (Pradnyasari dkk., 2019). *Biodegradable film* dengan penambahan gliserol dan glukomanan memiliki sifat hidrofilik yang cenderung menyerap kelembaban di lingkungan. Apabila kelembaban di lingkungan sekitar rendah dan penyimpanan *biodegradable film* dalam kondisi yang tidak tepat, maka akan terjadi kehilangan kadar air akibat penguapan yang dapat menyebabkan film menjadi lebih keras dan kaku (Lamona dan Purwanto, 2015).

Kesimpulan

Interaksi antara gliserol dan glukomanan berpengaruh terhadap visual, nilai kuat tarik, persen pemanjangan, ketebalan, laju transmisi uap air, ketahanan terhadap suhu ruang dan biodegradasi *biodegradable film* berbasis bungkil inti sawit. Karakteristik *biodegradable film* yang dihasilkan menghasilkan nilai kuat tarik dan laju transmisi yang sudah memenuhi standar JIS 1975, dapat terdegradasi selama 3 minggu dan memiliki ketahanan suhu ruang selama 3 minggu. Namun nilai persen pemanjangan dan ketebalan belum memenuhi standar JIS 1975.

Saran

Saran pada penelitian ini adalah diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan formulasi gliserol dan

glukomanan terbaik guna memperbaiki nilai persen pemanjangan dan ketebalan *biodegradable film* berbasis bungkil inti sawit yang sesuai dengan standar JIS (*Japanese Industrial Standard*).

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyani Y.D., A. Nirmala dan N. Aryanti. 2013. Pemisahan konjak glukomanan menggunakan membran ultrafiltrasi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2(4) : 164-169.
- Akbarillah, T., dan Hidayat, H. 2020. Penggunaan minyak sawit dan pemanasan bungkil inti sawit untuk manipulasi ekosistem rumen terhadap performans kambing. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*. 15(3): 280-286.
- Andiati, H. A., Gumilar, J., dan Wulandari, E. 2023. Utilization of duck feet gelatin with the additional glycerol as a *plasticizer* on the physical properties of edible film. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*. 10(3): 289-299.
- Anita, S. 2017. Pengaruh Lama Fermentasi dengan Lentinus edodes terhadap Kandungan Hemiselulosa, Lemak Kasar dan Energi Metabolisme dari Bungkil Inti Sawit. Thesis. Universitas Andalas.
- Aripin, S., Saing, B., dan Kustiyah, E. 2017. Studi pembuatan bahan alternatif plastik *biodegradable* dari pati ubi jalar dengan *plasticizer* gliserol dengan metode melt intercalation. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*. 6(2): 79-84.
- Darni, Y., Sitorus, T. M., dan Hanif, M. 2014. Produksi bioplastik dari sorgum dan selulosa secara termoplastik. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 10(2): 55-62.
- Dea, F. I., Purbowati, I. S. M., dan Wibowo, C. 2022. Karakteristik edible film yang dihasilkan dengan bahan dasar pektin kulit buah kopi robusta dan glukomanan. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 16(3): 439-449.
- Elean, S., Saleh, C., dan Hindryawati, N. 2018. Pembuatan film *biodegradable* dari pati biji cempedak dan carboxy methyl cellulose dengan penambahan gliserol. *Jurnal Atomik*. 3(2): 122-126.
- Falah, Z. K., Suryati, dan Sylvia, N. 2021. Pemanfaatan tepung glukomanan dari pati umbi porang (*Amorphophallus muelleri blume*) sebagai bahan dasar pembuatan edible film. *Chemical Engineering Journal Storage*. 1(3): 50–62.
- Faustina, W., Fallo, G., dan Pardosi, L. 2023. Pengaruh pemberian air buah lontar sebagai nutrisi terhadap pertumbuhan miselium dan produktivitas jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). *Jurnal Biologi dan Konservasi*. 5(1): 199-207.
- Fitriasari, W., Nanang, M., dan Euis, H. 2019. Selulosa: Karakteristik dan Pemanfaatannya. LIPI Press. Jakarta. 166 hlm.
- Frigrina, L., Kasmungin, S., dan Mardiana, D. A. 2017. Studi Polimer Gel Dengan Crosslinker Mengenai Pengaruh Variasi Konsentrasi Polymer, Salinitas, Dan Suhu Terhadap Gelation Time Dan Resistance Factor. In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* (pp. 139-144).
- Hidayati, S., Zulferiyenni, N., dan Satyajaya, W. 2019. Optimasi pembuatan *biodegradable film* dari selulosa limbah padat rumput laut (*Eucheuma cottonii*) dengan penambahan gliserol, kitosan, CMC dan tapioka. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 22(2): 340-354.
- Ibrahim, M. T., Purwadi, I., dan Wahyudi, B. 2022. Peningkatan kadar glukomanan dari umbi iles-iles

- (Amorphophallus variabilis) pada proses ekstraksi dengan pelarut isopropil alkohol. *Journal of Chemical and Process Engineering*. 3(1): 51-57.
- Indrawati, C., Harsojuwono, B., dan Hartiati, A. 2019. Karakteristik komposit bioplastik glukomanan dan maizena dalam pengaruh variasi suhu dan waktu gelatinisasi. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 7(3): 468-477.
- Juliani, D. Suyatma, N. E., dan Taqi, F. M. 2022. Pengaruh waktu pemanasan, jenis dan konsentrasi *plasticizer* terhadap karakteristik edible film karagenan. *Jurnal Keteknik Pertanian*. 1(1): 29-40.
- Kumoro, A. C., dan Purbasari, A. 2014. Sifat mekanik dan morfologi plastik biodegradable dari limbah tepung nasi aking dan tepung tapioka menggunakan gliserol sebagai *plasticizer*. *Jurnal Teknik*. 35(1): 8-16.
- Lamona, A., dan Purwanto, Y. A. 2015. Pengaruh jenis kemasan dan penyimpanan suhu rendah terhadap perubahan kualitas cabai merah keriting segar. *Jurnal Keteknik Pertanian*. 3(2): 145-152.
- Natalia, M., Hazrifawati, W., dan Wicakso, D. R. 2019. Pemanfaatan limbah daun nanas (*Ananas Comosus*) sebagai bahan baku pembuatan plastik biodegradable. *Enviro Scienceae*. 15(3): 357-364.
- Ningsih, S. H. 2015. Pengaruh *Plasticizer* Gliserol Terhadap Karakteristik Edible Film Campuran Whey Dan Agar. Skripsi. Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin Makassar. 98 hlm.
- Nurfauzi, S., Sutan, S. M., dan Argo, B. D. 2018. Pengaruh konsentrasi cmc dan suhu pengeringan terhadap sifat mekanik dan sifat degradasi pada plastik biodegradable berbasis tepung jagung. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. 6(1): 90-99.
- Pradipta, R. A., Irawati, I., & Niarja, D. J. 2020. Inovasi plastik biodegradable dengan karakteristik edible film dari bonggol pisang dan limbah kulit singkong dengan plasticizer gliserol. *Jurnal Ilmiah Penalaran dan Penelitian Mahasiswa*. 4(2): 155-163.
- Pradnyasari, I. A. P. R., Setijawati, E., Ristiarini, S., Suseno, T. I. P., dan Jati, I. R. A. 2019. Pengaruh perbedaan konsentrasi gelatin terhadap sifat fisikokimia dan organoleptik snackbar beras merah dengan perlakuan awal perendaman di larutan CaCl₂ cangkang telur. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi. Journal of Food Technology and Nutrition*. 18(1): 58-63.
- Prasetya Isnan, Siti H.I., dan Yamtana. 2016. Pembuatan bioplastik berbahan bonggol pisang dengan penambahan gliserol. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 8(2): 73-80.
- Purnavita, S., Subandriyo, D. Y., dan Anggraeni, A. 2020. Penambahan gliserol terhadap karakteristik bioplastik dari komposit pati aren dan glukomanan. *Metana*. 16(1): 19-25.
- Rachmawati, W. 2018. Konjac Glucomannan-Agar-Gliserin Sebagai Biopolimer Hard Capsule. Thesis. Fakultas Ilmu Alam. Institut Teknologi Sepuluh November. 93 hlm.
- Rusli, A., Metusalach, S., dan Tahir, M. M. 2017. Karakterisasi edible film karagenan dengan plemastis gliserol. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20(2): 219-229.
- Sadhana, M. 2023. Edible film berbasis tepung porang. In *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif*. 9(1): 904-917.

- Said, A. 2018. Sintesis plastik biodegradable berbahan komposit pati sagu-kitosan sisik ikan katamba (*Lethrinus lentjam*). Jurnal Inovasi Pendidikan Sains. 9(1): 23-30.
- SIPSN. 2022. Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI.
- Septiosari, A., Latifah, L., dan Kusumastuti, E. 2014. Pembuatan dan karakterisasi bioplastik limbah biji mangga dengan penambahan selulosa dan gliserol. Indonesian journal of chemical science. 3(2): 157-162.
- Sulastrri, Y., Zainuri, Z., Basuki, E., Handayani, B. R., Paramartha, D. N. A., dan Anggraini, I. M. D. 2021. Pengaruh fermentasi terhadap sifat fisikokimia tepung porang. Prosiding Saintek. 3(1): 555-561.
- Suwarda, R., Irawadi, T. T., Suryadarma, P., dan Yuliasih, I. 2019. Stabilitas edible film pati sagu (*Metroxylon sagu rottb*) asetat selama penyimpanan pada berbagai suhu. Jurnal Teknologi Industri Pertanian. 29(3): 278-212.
- Unsa, L. K., dan Paramastri, G. A. 2018. Kajian jenis *plasticizer* campuran gliserol dan sorbitol terhadap sintesis dan karakterisasi edible film pati bonggol pisang sebagai pengemas buah apel. Jurnal Kompetensi Teknik. 10(1): 35-47.
- Utami, M. R., Latifah, L., dan Widiarti, N. 2014. Sintesis plastik biodegradable dari kulit pisang dengan penambahan kitosan dan *plasticizer* gliserol. Indonesian Journal of Chemical Science. 3(2):163-167.
- Vania, J., Utomo, A. R., & Trisnawati, C. Y. 2017. Pengaruh perbedaan konsentrasi karagenan terhadap karakteristik fisikokimia dan organoleptik jelly drink pepaya. Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi. Journal of Food Technology and Nutrition. 16(1): 8-13.
- Widiatmono, B. R., Sulianto, A. A., dan Debora, C. 2021. Biodegradabilitas bioplastik berbahan dasar limbah cair tahu dengan penguat kitosan dan *plasticizer* gliserol. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan. 8(1): 21-27.
- Widyaningsih, S., D. Kartika dan Y. T. Nurhayati. 2012. Pengaruh Penambahan Sorbitol dan Kalsium Karbonat terhadap Karakteristik dan Sifat Biodegradasi Film dari Pati Kulit Pisang. Jurnal Sains dan Teknik. 7 (1): 69-81.
- Winarti, S. 2018. Karakteristik mie merah gluten free dari tepung gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) dan tepung mocaf dengan penambahan gliserol. Jurnal Ilmiah Teknologi dan Industri Pangan. 3(2):135 -143..
- Zulferiyenni, Z., Marniza, M., dan Sari, E. N. 2014. Pengaruh konsentrasi gliserol dan tapioka terhadap karakteristik *biodegradable film* berbasis ampas rumput laut (*Euchema cottoni*). Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian. 19(3): 257-273.
- Zulferiyenni, Z., Putri, M. M., Suharyono, S., dan Nurainy, F. 2023. Formulasi gliserol dan CMC dalam pembuatan *biodegradable film* berbasis selulosa daun nanas (*Ananas comosus*). Jurnal Agroindustri Berkelanjutan. 2(2): 274-283.