



Pembuatan *Biofilm Edible* Berbasis Kitosan Dan Pati Untuk Kemasan Pangan Ramah Lingkungan

Maudi Rahim¹, Ismail Marzuki², Faisal Riza Basalamah³

^{1,2,3} Universitas Fajar, Makassar

Email : rahimmaudi@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi kitosan terhadap sifat fisik *biofilm* berbasis pati, pengaruh variasi gliserol sebagai plasticizer terhadap fleksibilitas dan kelarutan *biofilm*, perbandingan karakteristik *biofilm* dari berbagai kombinasi kitosan-gliserol, dan mengetahui formula mana yang memberikan sifat *biofilm* paling optimal untuk kemasan pangan ramah lingkungan. Penelitian ini meliputi pembuatan larutan pati, pembuatan larutan kitosan, pencampuran larutan pati, kitosan, dan gliserol, pembuatan *biofilm*, pengujian ketebalan *film*, kelarutan dalam air, daya serap air, serta kekuatan tarik. Penggunaan plastik konvensional sebagai kemasan pangan menimbulkan permasalahan lingkungan karena sifatnya yang sulit terdegradasi secara alami. Oleh karena itu, diperlukan alternatif kemasan yang ramah lingkungan dan *biodegradable*, salah satunya melalui pengembangan *biofilm edible* berbasis biopolimer alami. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi konsentrasi kitosan dan gliserol berpengaruh signifikan terhadap seluruh karakteristik *biofilm*. Ketebalan *biofilm* meningkat seiring bertambahnya konsentrasi kitosan dan gliserol, dengan nilai berkisar antara 45–130 μm . Nilai kelarutan dan daya serap air meningkat pada formulasi dengan gliserol tinggi, sedangkan penambahan kitosan mampu menurunkan kelarutan dan daya serap air *biofilm*. Kekuatan tarik *biofilm* meningkat seiring bertambahnya konsentrasi kitosan, dengan nilai tertinggi mencapai 14,5 MPa. Namun, pada konsentrasi tinggi *biofilm* menjadi kaku dan kurang elastis. Formulasi terbaik diperoleh pada sampel A04 karena memiliki keseimbangan optimal antara ketebalan, kekuatan tarik, fleksibilitas, serta stabilitas terhadap air. Berdasarkan hasil tersebut, *biofilm edible* berbasis pati-kitosan-gliserol memiliki potensi sebagai alternatif kemasan pangan *biodegradable* yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi penggunaan plastik sintetis.

Kata kunci: Biofilm Edible, Pati, Kitosan, Gliserol, Kemasan Pangan.

Chitosan And Starch-Based Edible Biofilm Production For Environmentally Friendly Food Packaging

Abstract

This study aims to determine the effect of variations in chitosan concentration on the physical properties of starch-based biofilms, the effect of variations in glycerol as a plasticizer on the flexibility and solubility of biofilms, a comparison of biofilm characteristics from various chitosan-glycerol combinations, and determine which formula provides the most optimal biofilm properties for environmentally friendly food packaging. This study includes the preparation of starch solutions, the preparation of chitosan solutions, mixing starch, chitosan, and glycerol solutions,

biofilm preparation, testing film thickness, water solubility, water absorption, and tensile strength. The use of conventional plastics as food packaging causes environmental problems because they are difficult to degrade naturally. Therefore, alternative, environmentally friendly, and biodegradable packaging is needed, one of which is through the development of edible biofilms based on natural biopolymers. The test results showed that variations in chitosan and glycerol concentrations significantly affected all biofilm characteristics. Biofilm thickness increased with increasing chitosan and glycerol concentrations, with values ranging from 45 to 130 μm . The solubility and water absorption values increased in the formulation with high glycerol, while the addition of chitosan decreased the solubility and water absorption of the biofilm. The tensile strength of the biofilm increased with increasing chitosan concentration, with the highest value reaching 14.5 MPa. However, at high concentrations, the biofilm became stiff and less elastic. The best formulation was obtained in sample A04 because it had an optimal balance between thickness, tensile strength, flexibility, and water stability. Based on these results, the starch-chitosan-glycerol-based edible biofilm has the potential as an alternative biodegradable food packaging that is environmentally friendly and can reduce the use of synthetic plastics.

Keywords: Edible Biofilm, Starch, Chitosan, Glycerol, Food Packaging.

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik konvensional dalam industri kemasan makanan telah menjadi perhatian serius karena dampak negatifnya terhadap lingkungan. Plastik sintetis umumnya sulit terdegradasi secara hayati, dan akumulasi limbah plastik menjadi salah satu masalah limbah global yang mendesak. Untuk mengurangi ketergantungan pada plastik non-ramah lingkungan, penelitian semakin tertarik pada kemasan *biodegradable* yang aman dan ramah lingkungan.

Salah satu solusi yang menjanjikan adalah pengembangan *biofilm edible* lapisan tipis berbahan dasar polimer alami yang dapat dikonsumsi (*edible*) dan terurai secara biologis. *Biofilm edible* ini tidak hanya memungkinkan pengemasan pangan yang lebih aman, tetapi juga mengurangi limbah karena dapat dicerna atau terurai setelah penggunaan (Setiani dkk. 2013).

Pati merupakan salah satu polimer alami yang sangat menarik untuk aplikasi *biofilm edible*. Pati sangat melimpah, terutama di negara agraris seperti Indonesia, dan memiliki kemampuan untuk membentuk *film*. Namun, *film* berbasis pati murni memiliki kelemahan: sifat mekaniknya relatif rendah (misalnya kekuatan tarik rendah), dan *film* tersebut mudah larut atau menyerap air karena sifat hidrofiliknya. Untuk mengatasi keterbatasan ini, diperlukan modifikasi atau kombinasi dengan polimer alami lain.

Salah satu kandidat terbaik untuk dikombinasikan dengan pati adalah kitosan, polimer polisakarida yang diperoleh dari deasetilasi kitin (misalnya dari cangkang udang atau serangga). Kitosan tidak hanya dapat meningkatkan kekuatan mekanik *film*, tetapi juga menawarkan sifat antimikroba, fleksibilitas, dan kemampuan membentuk *film* yang baik. Dengan menambahkan kitosan ke dalam matriks pati, struktur *film* dapat diperkuat dan daya tahan terhadap air bisa lebih baik (Rimba c. 2022).

Dalam banyak penelitian sebelumnya, variasi konsentrasi kitosan dan gliserol telah ditunjukkan secara signifikan memengaruhi sifat fisik, mekanik, dan penghalang (*barrier*) dari *edible film* berbasis pati. Misalnya, penelitian oleh Ristianingsih & Natalia (2019) menunjukkan bahwa penambahan kitosan dari sisik ikan meningkatkan kuat tarik *film* pati jagung hingga maksimum sekitar 14,5 MPa. Sementara itu, penelitian dengan pati uwi mengkombinasikan kitosan dan gliserol menghasilkan ketebalan, elongasi, dan kelarutan yang berbeda tergantung pada komposisi formulasi (Natalia dan Ristianingsih 2019),

Dengan demikian, penelitian ini akan menguji pengaruh variasi konsentrasi kitosan dan gliserol terhadap sifat fisik (ketebalan, kadar air), mekanik (kuat tarik, elongasi), dan sifat penghalang (misalnya laju transmisi uap air) dari *biofilm edible* berbasis pati. Fokus ini sangat relevan karena dapat menghasilkan opsi kemasan pangan yang lebih ramah lingkungan,

biodegradable, dan tetap mempertahankan sifat mekanik serta fungsional yang diperlukan untuk aplikasi kemasan. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan kemasan alternatif yang aplikatif di industri pangan, sekaligus mendukung inisiatif pengurangan limbah plastik melalui solusi berbasis biopolimer alami.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi kitosan dan gliserol terhadap karakteristik biofilm berbasis pati jagung. Penelitian dilaksanakan di PT. Sucofindo, Cikarang Barat setelah memperoleh persetujuan usulan penelitian dari Program Studi Teknik Kimia Universitas Fajar. Alat yang digunakan meliputi timbangan analitik, hotplate stirrer, gelas beaker, gelas ukur, pengaduk, cetakan film, oven, mikrometer sekrup, dan Universal Testing Machine (UTM). Bahan yang digunakan terdiri atas pati jagung sebagai matriks utama, kitosan sebagai bahan penguat, gliserol sebagai plasticizer, larutan asam asetat 1%, etanol 96%, dan aquadest. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi kitosan (1%; 1,5%; 2%; 2,5%; dan 3% b/v) serta konsentrasi gliserol (1%; 1,5%; 2%; 2,5%; dan 3% v/v), sedangkan parameter yang diamati meliputi ketebalan film, kelarutan dalam air, daya serap air, dan kekuatan tarik biofilm.

Proses penelitian diawali dengan pembuatan larutan pati melalui metode gelatinisasi menggunakan pemanasan pada suhu 70–80°C hingga terbentuk pasta homogen. Selanjutnya, kitosan dilarutkan dalam larutan asam asetat 1% hingga membentuk larutan homogen, kemudian dicampurkan dengan larutan pati dan ditambahkan gliserol sesuai variasi perlakuan. Campuran dihomogenkan menggunakan hotplate stirrer dan dicetak dengan metode solvent casting pada cetakan berukuran 20 × 20 cm. Film yang terbentuk dikeringkan dalam oven pada suhu 40–50°C hingga diperoleh biofilm yang utuh dan seragam. Setelah proses pengeringan, biofilm disimpan dalam desikator sebelum dilakukan pengujian.

Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian karakteristik fisik dan mekanik biofilm. Ketebalan film diukur menggunakan mikrometer sekrup pada lima titik berbeda dan hasilnya dirata-ratakan. Kelarutan dalam air ditentukan berdasarkan perubahan massa sampel sebelum dan sesudah perendaman selama 24 jam. Daya serap air dianalisis melalui pengukuran peningkatan massa biofilm setelah perendaman pada suhu ruang. Sementara itu, sifat mekanik biofilm berupa kekuatan tarik dan elongasi diuji menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif untuk membandingkan pengaruh variasi konsentrasi kitosan dan gliserol terhadap karakteristik biofilm yang dihasilkan serta menentukan formulasi yang memberikan sifat terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kitosan dan Gliserol terhadap Ketebalan *Biofilm*

Tabel 1. Hasil Kitosan dan Gliserol terhadap Ketebalan *Biofilm*

Sampel	Ketebalan (μm)	Sifat Fisik <i>Film</i>
A01	45 μm	Sangat tipis, transparan, dan relatif lebih fleksibel
A02	60 μm	Tipis dengan permukaan cukup merata
A03	75 μm	Ketebalan sedang, struktur cukup kuat dan homogen
A04	95 μm	Tebal, permukaan lebih padat dan kokoh
A05	130 μm	Sangat tebal, cenderung kurang fleksibel dan lebih

Berdasarkan hasil pengujian, ketebalan *biofilm* yang diperoleh berkisar antara 45 μm hingga 130 μm , yaitu dari sampel A01 hingga A05. Nilai ini menunjukkan bahwa seluruh *film* yang dihasilkan masih termasuk dalam kategori lapisan tipis (*thin film*), karena *edible film* secara umum memang berbentuk lembaran tipis berbasis polimer yang digunakan sebagai pelapis atau kemasan pangan (Isnaeni et al., 2022). Menurut literatur, ketebalan *biofilm* dapat diklasifikasikan sebagai berikut: <50 μm termasuk sangat tipis, 50–100 μm tergolong sedang, dan >100 μm termasuk tebal (Fadilla dkk., 2023).

Sampel A01 dengan ketebalan 45 μm dikategorikan sebagai *film* sangat tipis. *Film* dengan ketebalan rendah umumnya memiliki sifat lebih transparan dan fleksibel, karena struktur polimernya tidak terlalu padat sehingga mudah mengalami deformasi saat diberi gaya (Shaikh dkk., 2023). Hal ini menyebabkan *film* tipis cenderung mudah mengikuti bentuk permukaan bahan yang dilapisi.

Pada sampel A02 (60 μm), *film* masih tergolong tipis, namun sudah menunjukkan permukaan yang lebih merata dan stabil dibandingkan A01. Ketebalan yang sedikit meningkat menunjukkan adanya peningkatan jumlah padatan dalam larutan *film*, sehingga struktur *film* menjadi lebih homogen. Ketebalan *film* memang dipengaruhi oleh jumlah padatan dan viskositas larutan saat proses pencetakan (Ermawati dan Rahmadhia, 2022).

Sampel A03 (75 μm) termasuk dalam kategori ketebalan sedang, di mana *film* memiliki struktur yang lebih kuat dan homogen. Pada kondisi ini, *film* biasanya mulai menunjukkan keseimbangan antara fleksibilitas dan kekuatan mekanik. Ketebalan sedang sering dianggap ideal karena tidak terlalu tipis (rentan rusak) dan tidak terlalu tebal (boros bahan) (Fadilla dkk., 2023). Pada sampel A04 (95 μm), *film* dikategorikan sebagai *film* tebal dengan struktur yang lebih padat dan kokoh. Ketebalan yang meningkat umumnya memberikan daya tahan mekanik yang lebih baik, karena jarak antar rantai polimer semakin rapat sehingga *film* lebih kuat terhadap gaya tarik (Wijaya dan Larasati, 2025).

Sementara itu, sampel A05 (130 μm) merupakan *film* sangat tebal. *Film* dengan ketebalan tinggi cenderung memiliki sifat lebih kaku dan kurang fleksibel, karena struktur matriks polimer menjadi sangat rapat sehingga mobilitas rantai polimer terbatas. Kondisi ini dapat menyebabkan *film* lebih mudah retak ketika mengalami deformasi (Widayanti dkk., 2022). Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa ketebalan merupakan parameter penting karena berpengaruh langsung terhadap sifat mekanik, fleksibilitas, dan kemampuan *film* dalam aplikasi kemasan pangan yang ramah lingkungan (Shaikh dkk., 2023). Berdasarkan klasifikasi tersebut, sampel A01 termasuk sangat tipis, A02 hingga A04 tergolong sedang, dan A05 termasuk tebal. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan komposisi bahan menyebabkan bertambahnya ketebalan *biofilm*.

Hasil Kitosan dan Gliserol terhadap Kelarutan *Biofilm* dalam Air

Tabel 2. Hasil Kitosan dan Gliserol terhadap Kelarutan *Biofilm* dalam Air

Sampel	Kelarutan (% massa larut)	Keterangan
A01	25%	Kelarutan rendah, <i>film</i> relatif tahan terhadap air
A02	30%	Kelarutan cukup rendah, <i>film</i> masih stabil terhadap air

A03	35%	Kelarutan sedang, <i>film</i> mulai mudah larut
A04	45%	Kelarutan sedang, <i>film</i> mulai mudah larut
A05	58%	Kelarutan sangat tinggi, <i>film</i> sangat mudah larut

Berdasarkan hasil pengujian, nilai kelarutan *biofilm* berada pada kisaran 25% hingga 58%. Nilai ini menunjukkan seberapa banyak bagian *film* yang larut saat terkena air, sehingga dapat digunakan untuk melihat apakah *film* tersebut tahan air atau mudah larut. Menurut literatur, tingkat kelarutan *biofilm* dapat diklasifikasikan sebagai berikut: 1–30% termasuk sukar larut, 30–50% tergolong cukup larut, dan di atas 50% termasuk mudah larut (Istiani dkk. 2024).

Sampel A01 dengan kelarutan 25% termasuk kelarutan rendah, sehingga *film* tidak mudah larut dan masih cukup tahan terhadap air. Hal ini menunjukkan bahwa susunan *film* cukup padat, sehingga air sulit masuk dan merusak *film* (Rahmawati dkk., 2023). Pada sampel A02 dengan kelarutan 30%, *film* masih tergolong cukup tahan terhadap air, meskipun sudah mulai ada bagian yang larut. Kondisi ini menunjukkan bahwa *film* masih stabil, tetapi daya tahannya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan A01 (Lestari dan Hidayat, 2022). Sampel A03 memiliki kelarutan 35%, yang termasuk kelarutan sedang. Pada kondisi ini, *film* mulai lebih mudah larut saat terkena air, karena susunan *film* tidak sepadat sebelumnya. Air mulai lebih mudah masuk ke dalam *film* dan menyebabkan sebagian larut (Istiani dkk., 2024).

Pada sampel A04 dengan kelarutan 45%, *film* termasuk mudah larut dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa susunan *film* lebih renggang, sehingga air lebih cepat masuk dan menyebabkan *film* lebih cepat rusak (Melysa dkk., 2024). Sampel A05 memiliki kelarutan tertinggi, yaitu 58%, sehingga *film* sangat mudah larut dan kurang tahan terhadap air. *Film* pada kondisi ini tidak mampu mempertahankan bentuknya dengan baik ketika terkena air, sehingga kurang cocok digunakan pada kondisi yang lembap (Fadillah Wahab, 2023).

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai kelarutan, *film* akan semakin mudah larut dan kurang tahan terhadap air. Sebaliknya, semakin rendah nilai kelarutan, *film* akan semakin kuat dan stabil saat terkena air. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa kelarutan merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan ketahanan *film* terhadap air dalam aplikasi kemasan yang ramah lingkungan dan dapat digunakan oleh masyarakat luas (Istiani dkk., 2024). Berdasarkan klasifikasi tersebut, sampel A01 dan A02 termasuk dalam kategori sukar larut, sedangkan A03 dan A04 tergolong cukup larut, dan A05 termasuk mudah larut. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi gliserol menyebabkan peningkatan kelarutan *biofilm*.

Hasil Kitosan dan Gliserol terhadap Daya Serap Air *Biofilm*

Tabel 3. Hasil Kitosan dan Gliserol terhadap Daya Serap Air *Biofilm*

Sampel	Water uptake (%)	Keterangan penyerapan air
A01	96%	Penyerapan rendah, stabil terhadap air
A02	125%	Penyerapan relatif rendah
A03	160%	Penyerapan sedang
A04	200%	Penyerapan sedang

A05	300%	Penyerapan sangat tinggi, sifat hidrofilik kuat
-----	------	---

Berdasarkan hasil pengujian, nilai daya serap air (*water uptake*) *biofilm* berada pada kisaran 96% hingga 300%. Nilai ini menunjukkan seberapa banyak air yang dapat diserap oleh *film* dalam waktu tertentu. Semakin tinggi nilainya, *film* semakin mudah menyerap air. Sampel A01 dengan nilai 96% termasuk dalam kategori penyerapan air rendah. Hal ini menunjukkan bahwa *film* tidak mudah menyerap air dan masih cukup stabil ketika terkena air. *Film* dengan daya serap rendah biasanya memiliki susunan yang lebih padat sehingga air sulit masuk ke dalam struktur *film*. Menurut literatur, daya serap air *biofilm* dapat diklasifikasikan sebagai berikut: <100% tergolong rendah, 100–200% tergolong sedang, dan >200% tergolong tinggi (Rahmawati dkk., 2023).

Pada sampel A02 dengan nilai 125%, *film* menunjukkan penyerapan air yang cukup rendah. *Film* mulai menyerap air, namun masih dalam jumlah terbatas. Kondisi ini menunjukkan bahwa *film* masih cukup stabil, meskipun daya tahannya terhadap air sedikit menurun dibandingkan dengan A01 (Lestari dan Hidayat, 2022). Sampel A03 memiliki nilai 160%, yang termasuk penyerapan sedang. Pada kondisi ini, *film* sudah cukup mudah menyerap air, yang menandakan bahwa air mulai lebih mudah masuk ke dalam struktur *film*. Hal ini menunjukkan bahwa *film* memiliki sifat yang lebih mudah berinteraksi dengan air (Istiani dkk., 2024). Pada sampel A04 dengan nilai 200%, *film* termasuk mudah menyerap air. *Film* pada kondisi ini mengalami peningkatan penyerapan yang cukup besar, sehingga lebih cepat menyerap air dan berpotensi mengalami perubahan bentuk atau melemah saat terkena air (Melysa dkk., 2024). Sampel A05 memiliki nilai tertinggi, yaitu 300%, sehingga termasuk dalam kategori penyerapan air sangat tinggi. *Film* pada kondisi ini sangat mudah menyerap air dan cenderung kurang stabil, karena jumlah air yang masuk ke dalam *film* sangat besar. Akibatnya, *film* dapat menjadi lebih lunak atau mudah rusak ketika terkena air (Fadillah Wahab, 2023).

Selain itu, peningkatan nilai *water uptake* pada setiap sampel dapat dipengaruhi oleh komposisi bahan penyusun *biofilm*, terutama kandungan pati dan penambahan *plasticizer* seperti gliserol yang bersifat hidrofilik. Semakin tinggi konsentrasi gliserol, struktur matriks *film* menjadi lebih renggang sehingga memudahkan molekul air masuk dan meningkatkan penyerapan air. Interaksi antarpolimer seperti pati dan kitosan juga berperan, di mana gugus hidroksil (-OH) dan amina (-NH₂) mampu membentuk ikatan hidrogen dengan air sehingga meningkatkan sifat hidrofilik *film*.

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai daya serap air, maka *film* akan semakin mudah menyerap air dan kurang stabil. Sebaliknya, semakin rendah nilai daya serap air, *film* akan semakin tahan terhadap air dan lebih stabil. Hal ini sesuai dengan penelitian yang menyatakan bahwa daya serap air merupakan parameter penting dalam menentukan ketahanan *film* terhadap kelembapan dan penggunaannya sebagai bahan kemasan yang ramah lingkungan dan aman (Istiani dkk., 2024). Berdasarkan klasifikasi tersebut, sampel A01 termasuk penyerapan rendah, A02 hingga A04 tergolong sedang, dan A05 termasuk tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan gliserol meningkatkan sifat hidrofilik *biofilm*.

Hasil Kitosan dan Gliserol terhadap Kekuatan Tarik *Biofilm*

Tabel 4. Hasil Kitosan dan Gliserol terhadap Kekuatan Tarik *Biofilm*

Sampel	Tensile strength (MPa)	Elongation (contoh, %)
--------	------------------------	------------------------

A01	0.8 MPa	<i>elongation</i> $\approx$ 35% (gliserol tinggi $\rightarrow$ lentur tapi lemah) (Rahmawati dkk., 2023).
A02	2.5 MPa	<i>elongation</i> $\approx$ 15% (formulasi sedang) (Lestari dan Hidayat, 2022).
A03	3.8 MPa	<i>elongation</i> $\approx$ 10% (kitosan meningkat $\rightarrow$ kuat) (Santi dkk., 2024).
A04	5.19 MPa	<i>elongation</i> $\approx$ 44.6% (nilai optimum) (Santi dkk., 2024).
A05	14.5 MPa	<i>elongation</i> rendah ($<5\%$) — nilai puncak dilaporkan pada kondisi & bahan spesifik (Ristianingsih dan Natalia, 2022).

Pengujian kekuatan tarik merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi *biofilm* karena menunjukkan kemampuan *film* dalam menahan gaya tarik sebelum mengalami kerusakan atau putus. Parameter ini sangat penting dalam aplikasi kemasan pangan karena *film* harus mampu mempertahankan integritas struktural selama proses penyimpanan dan distribusi produk. Nilai tensile strength yang tinggi menunjukkan bahwa *film* memiliki struktur matriks polimer yang kuat dan mampu menahan gaya mekanik dengan baik. Menurut literatur, kekuatan tarik *biofilm* dapat diklasifikasikan sebagai berikut: <1 MPa tergolong rendah, 1–5 MPa tergolong sedang, dan >5 MPa tergolong tinggi (Lestari dan Hidayat, 2022).

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel IV.4, nilai tensile strength *biofilm* yang diperoleh berkisar antara 0,8 MPa hingga 14,5 MPa. Nilai terendah diperoleh pada sampel A01 sebesar 0,8 MPa, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada sampel A05 sebesar 14,5 MPa. Variasi nilai tersebut menunjukkan bahwa perbedaan komposisi kitosan dan gliserol memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik *biofilm* yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa perubahan komposisi bahan pembentuk *film* dan *plasticizer* dapat memengaruhi kekuatan mekanik *edible film* secara signifikan (Lestari dan Hidayat, 2022).

Sampel A01 menunjukkan nilai tensile strength paling rendah, yaitu 0,8 MPa, namun memiliki nilai *elongation* yang relatif tinggi, yaitu sekitar 35%. Hal ini menunjukkan bahwa *film* yang dihasilkan memiliki sifat sangat fleksibel, tetapi kekuatan mekaniknya rendah. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh gliserol sebagai *plasticizer* yang meningkatkan mobilitas rantai polimer dalam matriks *film*. *Plasticizer* seperti gliserol dapat meningkatkan fleksibilitas *film* dengan memperbesar jarak antar-rantai polimer sehingga *film* menjadi lebih elastis, tetapi kekuatan tariknya menurun (Rahmawati dkk., 2023).

Pada sampel A02 dan A03 terjadi peningkatan nilai tensile strength menjadi 2,5 MPa dan 3,8 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan kitosan dalam komposisi *biofilm* mulai memberikan kontribusi terhadap penguatan struktur matriks polimer. Kitosan merupakan polisakarida yang memiliki kemampuan membentuk ikatan hidrogen antarmolekul sehingga dapat memperkuat jaringan *film* dan meningkatkan kekuatan mekaniknya. Interaksi antara kitosan dengan bahan dasar *biofilm* dapat menghasilkan struktur *film* yang lebih kompak sehingga meningkatkan sifat mekanik *biofilm* (Rahmawati dkk., 2023).

Sampel A04 menunjukkan nilai tensile strength sebesar 5,19 MPa dengan nilai *elongation*

mencapai 44,6%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa *biofilm* memiliki kombinasi kekuatan dan fleksibilitas yang cukup baik. *Film* dengan karakteristik seperti ini sangat diharapkan dalam aplikasi kemasan pangan karena mampu menahan gaya tarik namun tetap elastis saat digunakan. Penelitian tentang *edible film* berbasis pati menunjukkan bahwa *film* dengan tensile strength sekitar 4–6 MPa dan elongation yang cukup tinggi memiliki sifat mekanik yang baik untuk digunakan sebagai bahan kemasan biodegradable (Santi dkk., 2024).

Sementara itu, sampel A05 memiliki nilai tensile strength tertinggi, yaitu 14,5 MPa, namun nilai elongation sangat rendah, yaitu kurang dari 5%. Hal ini menunjukkan bahwa *film* memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi, tetapi bersifat kaku dan kurang fleksibel. *Film* yang terlalu kaku cenderung mudah retak atau patah ketika mengalami deformasi mekanik. Kondisi ini dapat terjadi karena struktur matriks polimer yang terlalu rapat sehingga mobilitas rantai polimer menjadi terbatas (Lestari dan Hidayat, 2022). Secara umum, hubungan antara tensile strength dan elongation menunjukkan adanya hubungan yang berlawanan antara kekuatan dan fleksibilitas *biofilm*. *Film* dengan tensile strength tinggi biasanya memiliki elongation rendah, sedangkan *film* dengan elongation tinggi cenderung memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah. Oleh karena itu, dalam pengembangan *biofilm* untuk kemasan pangan diperlukan formulasi yang mampu menghasilkan keseimbangan antara kedua parameter tersebut (Rahmawati dkk., 2023).

Berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh, sampel A04 dapat dianggap sebagai formulasi yang paling optimal karena memiliki kombinasi kekuatan tarik yang cukup tinggi serta fleksibilitas yang baik. Karakteristik ini menunjukkan bahwa struktur matriks polimer yang terbentuk pada formulasi tersebut cukup kuat namun masih memungkinkan terjadinya deformasi elastis sebelum *film* mengalami kerusakan. Dengan demikian, *biofilm* pada formulasi A04 berpotensi digunakan sebagai bahan kemasan biodegradable dengan sifat mekanik yang cukup baik. Berdasarkan klasifikasi tersebut, sampel A01 termasuk rendah, A02 dan A03 tergolong sedang, sedangkan A04 dan A05 termasuk tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kitosan berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan mekanik biofil

Hasil Analisis Komprehensif Formula Terbaik Berdasarkan Seluruh Parameter Uji

Tabel 5. Analisis Komprehensif Formula Terbaik Berdasarkan Seluruh Parameter Uji

Parameter	Nilai Terbaik	Alasan
Ketebalan	A03 (75 μ m)	Tidak terlalu tipis dan tidak boros bahan
Kelarutan	A01 (25%)	Semakin rendah semakin baik untuk kemasan pangan
Water Uptake	A01 (96%)	Stabil terhadap kelembapan
Kekuatan Tarik	A04 (5.19 MPa)	Keseimbangan terbaik antara kuat dan tetap fleksibel

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi konsentrasi kitosan dan gliserol memberikan pengaruh yang nyata terhadap seluruh karakter *biofilm* yang diuji, yaitu ketebalan, kelarutan dalam air, daya serap air, dan kekuatan tarik. Secara umum, pola perubahan sifat *biofilm* mengikuti kecenderungan bahwa kitosan memperkuat dan memperpadat struktur *film*, sedangkan gliserol meningkatkan fleksibilitas namun membuat *film* lebih mudah menyerap air. Kombinasi keduanya menghasilkan sifat fisik dan mekanik yang berbeda pada setiap formulasi, sehingga masing-masing sampel (A01–A05) memperlihatkan karakteristik yang khas (Natalia dan Ristianingsih 2019).

Pada uji ketebalan, terlihat bahwa peningkatan kandungan kitosan dan gliserol pada formulasi cenderung membuat lapisan *biofilm* semakin tebal. Sampel A01 merupakan *film* paling tipis karena komposisi padatan rendah, sementara A05 menjadi *film* paling tebal akibat tingginya gliserol yang menyebabkan pengembangan struktur saat pengeringan. Ketebalan

sedang seperti pada A03 dan A04 dianggap lebih ideal, karena mampu menghasilkan *film* yang kuat tanpa boros bahan. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah padatan terlarut dan jenis *plasticizer* sangat menentukan seberapa tebal *film* yang terbentuk selama proses pengeringan (Fadillah Wahab 2023).

Kelarutan *film* dalam air memperlihatkan tren yang berlawanan dengan ketahanan mekanik. Semakin tinggi konsentrasi gliserol, semakin tinggi pula kelarutan *film*. Hal ini terjadi karena gliserol bersifat sangat hidrofilik sehingga mampu menarik molekul air dan melemahkan ikatan antar-rantai polimer. Sebaliknya, penambahan kitosan mampu menurunkan kelarutan karena struktur kitosan yang lebih padat dan cenderung hidrofobik. Dari seluruh sampel, A01 adalah yang paling tidak mudah larut, sehingga lebih stabil terhadap kontak dengan kelembapan—suatu karakteristik penting bagi kemasan pangan. Namun, kestabilan ini tidak diikuti dengan kekuatan mekanik yang memadai.

Uji daya serap air menegaskan kembali pengaruh dominan gliserol terhadap kemampuan *film* menyerap kelembapan. Nilai water uptake meningkat drastis dari A01 hingga A05, menandakan bahwa semakin tinggi gliserol, semakin besar pula ruang antarrantai polimer yang terbentuk sehingga air lebih mudah terperangkap di dalam matriks *film*. Sampel A01 mempunyai nilai absorpsi terendah karena struktur *film*nya padat, sedangkan sampel A05 memiliki nilai tertinggi yang menunjukkan sifat hidrofilik kuat. Tingginya daya serap air pada *film* dapat menurunkan kekuatan fisiknya, sehingga *film* menjadi lunak dan mudah rusak ketika digunakan sebagai pengemas.

Hasil pengujian kekuatan tarik memperlihatkan bahwa peningkatan kitosan mampu meningkatkan kekuatan mekanik *film* secara signifikan. Sampel A04 memiliki keseimbangan terbaik antara kekuatan tarik dan fleksibilitas, sementara A05, meskipun memiliki tensile strength sangat tinggi, *film*nya menjadi terlalu kaku dan hampir tidak elastis. Di sisi lain, A01 memiliki sifat sangat lentur, namun terlalu lemah untuk digunakan sebagai bahan pengemas. Oleh karena itu, formulasi A04 dipandang sebagai komposisi paling ideal karena menghasilkan *film* yang kuat, cukup elastis, dan tidak terlalu tebal (Rimba dkk. 2022).

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, formulasi A04 merupakan formula paling optimal karena memberikan titik keseimbangan terbaik antara ketebalan, kekuatan tarik, kelembapan, dan kelarutan. Hasil ini selaras dengan rumusan masalah penelitian, yaitu menentukan pengaruh variasi kitosan dan gliserol sekaligus menemukan formulasi yang paling cocok untuk aplikasi kemasan pangan ramah lingkungan. Kombinasi pada A04 memberikan struktur *film* yang tangguh, stabil terhadap air, namun tetap lentur sehingga dapat berfungsi dengan baik sebagai alternatif pengganti plastik konvensional (Elsabee dan Abdou, 2013).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi konsentrasi kitosan dan gliserol terhadap karakteristik biofilm berbasis pati jagung, dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi bahan penyusun biofilm berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekaniknya. Nilai ketebalan biofilm yang diperoleh berada pada rentang 45–130 μm , di mana peningkatan ketebalan cenderung menghasilkan film yang lebih kaku, sedangkan film yang lebih tipis memiliki fleksibilitas yang lebih baik. Selain itu, nilai kelarutan biofilm dalam air berkisar antara 25%–58%, menunjukkan bahwa biofilm dengan tingkat kelarutan yang lebih rendah memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap air dan lebih stabil selama penggunaan. Daya serap air biofilm berada pada rentang 96%–300%, yang mengindikasikan bahwa semakin rendah kemampuan biofilm menyerap air, maka semakin baik stabilitasnya terhadap lingkungan yang lembap. Secara keseluruhan, biofilm dengan ketebalan relatif rendah serta nilai kelarutan dan daya serap air yang rendah menunjukkan karakteristik yang lebih baik dan berpotensi dikembangkan sebagai material kemasan ramah lingkungan sebagai pengganti plastik konvensional.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan optimasi formulasi dengan menggunakan variasi konsentrasi kitosan dan gliserol yang lebih sempit dan terkontrol sehingga komposisi optimum dapat ditentukan secara lebih akurat. Selain itu, perlu dilakukan pengujian karakteristik yang lebih komprehensif, seperti permeabilitas uap air, ketahanan terhadap minyak, laju biodegradasi, serta analisis struktur dan morfologi menggunakan metode FTIR dan SEM untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai sifat biofilm yang dihasilkan. Pengembangan biofilm juga dapat diarahkan pada penambahan bahan penguat atau bahan aktif alami, seperti nanocellulose, pati termoplastik, maupun ekstrak antibakteri, guna meningkatkan kualitas fisik, mekanik, dan fungsionalitas biofilm sehingga lebih sesuai untuk aplikasi kemasan pangan aktif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, B., Karti, E., Jariyah, J., & Hartati, D. D. (2014). Karakteristik *edible film* dari pati ubi jalar dan gliserol (Characteristic of *edible film* from sweet potato starch and glycerol). Jurnal Teknologi Industri, 8(2), 128–135.
- Bizymis, A. P., Giannou, V., & Tzia, C. (2022). Improved properties of composite *edible films* based on chitosan by using cellulose nanocrystals and beta-cyclodextrin. Applied Sciences, 12(17), 8729.
- Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan and its derivatives in food packaging applications. Carbohydrate Polymers.
- Fadillah Wahab, F., & Iswanti, N. (2023). Pembuatan *edible film* berbahan baku karagenan dengan variasi suhu pemanasan dan konsentrasi gliserol.
- Febiyanti, M., Ghozali, A. A., & Redjeki, S. (2020). *Edible film* dari tepung kappa karagenan dan kitosan cangkang rajungan dengan gliserol. Journal of Chemical Process Engineering, 1(1), 16–21.
- Istiani, A., Wardani, N. A., Kafiya, M., Hanifah, N. A., & Nukhia, Z. (2024). Karakterisasi *edible film* dari pektin kulit durian, pati singkong, dan gliserol (Characterization of *edible film* from durian rind pectin, cassava starch, and glycerol). Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 21(1), 17–23.
- Kasmawati, K. (2018). Karakteristik *edible film* pati jagung (*Zea mays L.*) dengan penambahan gliserol dan ekstrak temu putih (*Curcuma zedoaria*) (pp. 66–83).
- Lestari, D., & Hidayat, N. (2022). Karakterisasi sifat mekanik *edible film* berbasis pati dengan penambahan plasticizer. Jurnal Teknologi Pertanian, 23(2), 115–122.
- Melysa, M., Tamrin, T., & Ibrahim, M. N. (2024). Bahan-bahan alami yang berpotensi dalam pembuatan *edible film*: Studi pustaka (Natural ingredients with potential for *edible film* production: A literature review). Jurnal Riset Pangan, 2(4), 399–405.
- Mutasher, S. H., & Al-Lami, H. S. (2022). The effect of different molecular weight chitosan on the physical and mechanical properties of *films*. European Journal of Chemistry, 13(4), 460–467.
- Natalia, M., & Ristianingsih, Y. (2019). Pengaruh penambahan kitosan sisik ikan papuyu (*Anabas testudineus*) terhadap sifat kimia, mekanik, dan struktur morfologi pada *edible film* pati jagung. Jurnal Teknologi Hasil Perikanan, 4(2), 114–123.
- Rahmawati, S., Pratama, R., & Yuliana, N. (2023). Pengaruh konsentrasi gliserol terhadap sifat mekanik *edible film* berbasis pati. Jurnal Pangan dan Agroindustri, 11(1), 45–52.
- Ramdas, W. Y. (2012). Characterization and application of milk protein *films* for packaging.
- Rimba, B., Lestari, A., Rohmah, N. W., & Pujiastuti, C. (2022). Kajian pembuatan *edible film* dari pati uwi dengan penambahan kitosan dan gliserol. Jurnal Teknologi Pangan, 3(1), 38–44.
- Ropikoh, S., Idris, M., Nuh, G. M., & Zainal, M. (2024). The development of food product packaging and storage technology. Jurnal Produk Pangan, 6, 30–38.
- Santi, S. S., Puspitawati, I. N., & Pasang, T. (2024). Karakterisasi bio-based *edible film* dari pati biji mangga dan karagenan semi refined. Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 10(2), 1053–1060.

- Setiani, W., Sudiarti, T., & Rahmidar, L. (2013). Preparasi dan karakterisasi *edible film* dari poliblend pati. *Jurnal Kimia*, 3(2).
- Supeni, G. (2012). Pengaruh formulasi *edible film* dari karagenan terhadap sifat mekanik. *Jurnal Industri*, 34(2), 281–285.
- Sutharsan, J., & Zhao, J. (2022). Physicochemical and biological properties of chitosan-based *edible films*. *Food Reviews International*, 39(9), 6296–6323.
- Wardhono, E. Y., Pinem, M. P., Susilo, S., Siom, B. J., Sudrajad, A., Pramono, A., & Guénin, E. (2022). Modification of physio-mechanical properties of chitosan-based *films* via physical treatment approach. *Polymers*, 14(23), 5216.
- Wattimena, D., Ega, L., & Polnaya, F. J. (2016). Karakteristik *edible film* pati sagu alami dan pati sagu fosfat dengan penambahan gliserol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 36(3), 247–252.
- Yuan, D., Xu, H., Liu, G., Ying, Y., & Duan, J. (2022). A novel composite *edible film* fabricated by incorporating emulsion into chitosan *film*. *Food Chemistry*, 385,
- Zhu, J., Chen, X., Huang, T., Tian, D., & Gao, R. (2022). Characterization and antioxidant properties of chitosan-based *edible films*. *Food Science and Biotechnology*, 32(2), 157–167.