



Analisis Komparatif Pengaruh *Plasticizer Gliserol* dan *Sorbitol* Terhadap Sifat Mekanik Film Bioplastik Berbasis Kitosan: Sebuah Pendekatan Meta-Analisis

Anggi Sundari Tubagus Said^{1✉}, Putri Purnama Sari¹

⁽¹⁾Universitas Al-Azhar, Medan, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.54418

Corresponding author:

[anggisundari86@gmail.com], [putripurnamasari018@gmail.com]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Bioplastik;

Kitosan;

Gliserol;

Sorbitol;

Sifat Mekanik

Bioplastik kitosan menjanjikan sebagai alternatif kemasan ramah lingkungan, namun memiliki kelemahan sifat alami yang getas. Penelitian ini bertujuan menganalisis secara komparatif pengaruh *plasticizer* Gliserol dan Sorbitol terhadap sifat mekanik film kitosan melalui metode Tinjauan Literatur Sistematis (2015–2025). Hasil meta-analisis menunjukkan adanya *trade-off* signifikan. Film berbasis Sorbitol mendominasi kekuatan dengan *Tensile Strength* tinggi (41–75 MPa) namun *Elongation* rendah (<15%), menjadikannya ideal untuk kemasan kaku (*rigid*). Sebaliknya, Gliserol efektif meningkatkan fleksibilitas (*Elongation* hingga 60%) namun menurunkan kekuatan tarik secara drastis (<25 MPa) serta sensitif terhadap kelembapan, sehingga lebih sesuai untuk kemasan fleksibel. Disimpulkan bahwa pemilihan *plasticizer* harus disesuaikan dengan spesifikasi aplikasi akhir.

Abstract

Keywords:

Bioplastics;

Chitosan;

Glycerol;

Sorbitol;

Mechanical Properties

Chitosan bioplastics offer a sustainable alternative to synthetic packaging but suffer from inherent brittleness. This study employs a Systematic Literature Review (2015–2025) to comparatively analyze the effects of Glycerol and Sorbitol plasticizers on the mechanical properties of chitosan films. Meta-analysis results reveal a significant mechanical trade-off. Sorbitol-plasticized films demonstrate high Tensile Strength (41–75 MPa) with limited Elongation (<15%), making them suitable for rigid packaging. Conversely, Glycerol effectively enhances flexibility (Elongation up to 60%) but drastically reduces structural integrity (<25 MPa) and exhibits high hygroscopic sensitivity, positioning it as the preferred choice for flexible packaging. The study concludes that plasticizer selection must align with specific end-use requirements.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan plastik sintetis berbasis minyak bumi (petrokimia) seperti *polyethylene* (PE) dan *polypropylene* (PP) telah menimbulkan masalah lingkungan global yang serius karena sifatnya yang sulit terurai (*non-biodegradable*). Akumulasi limbah plastik di ekosistem darat dan laut mendorong para peneliti material untuk mengembangkan alternatif kemasan yang ramah lingkungan (*biodegradable packaging*) dari sumber daya terbarukan (Siregar. et al., 2024).

Sebagai respon terhadap tantangan lingkungan tersebut, eksplorasi material berbasis biopolimer alam menjadi fokus utama para peneliti untuk mensubstitusi plastik sintetik. Di antara berbagai kandidat biopolimer, kitosan (*chitosan*) muncul sebagai material yang paling menjanjikan karena ketersediaannya yang melimpah di alam. Kitosan merupakan produk deasetilasi dari kitin yang diperoleh dari limbah cangkang krustasea (seperti udang dan kepiting), sehingga pemanfaatannya menawarkan solusi ganda: mengurangi limbah industri perikanan sekaligus menyediakan bahan baku plastik yang ramah lingkungan. Selain keunggulan ekologisnya, kitosan memiliki karakteristik intrinsik yang unggul, seperti biokompatibilitas tinggi, non-toksik, serta kemampuan membentuk film (*film-forming ability*) yang baik, menjadikannya matriks yang ideal untuk pengembangan bioplastik kemasan (Siregar et al., 2020).

Meskipun memiliki potensi besar, aplikasi film kitosan murni dalam skala industri masih terbatas. Masalah utamanya terletak pada sifat mekanik film kitosan murni yang cenderung rapuh (*brittle*) dan kaku. Hal ini disebabkan oleh kuatnya ikatan hidrogen intermolekuler dan intramolekuler pada rantai polimer kitosan, yang membatasi pergerakan rantai polimer tersebut. Akibatnya, film kitosan murni memiliki nilai kemuluran (*elongation at break*) yang rendah, sehingga mudah retak atau patah saat mengalami deformasi atau penekanan (Purwanti, 2017).

Untuk mengatasi kerapuhan tersebut, penambahan bahan pemlastis (*plasticizer*) menjadi langkah modifikasi yang wajib dilakukan. *Plasticizer* bekerja dengan cara menyusup di antara rantai polimer, mengurangi gaya antarmolekul, dan meningkatkan volume bebas (*free volume*), sehingga fleksibilitas material meningkat (Equilibria, 2016).

Dua jenis plasticizer golongan poliol yang paling umum digunakan dan ekonomis adalah Gliserol dan Sorbitol. Gliserol adalah material yang memiliki berat molekul rendah dan ukuran molekul kecil, yang memungkinkannya berpenetrasi dengan sangat efektif ke dalam matriks polimer (Aripin et al., 2017). Sedangkan sorbitol adalah material dengan molekul yang lebih besar dan jumlah gugus hidroksil yang lebih banyak, menawarkan stabilitas yang berbeda (De Cock et al., 2016).

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan menggunakan kedua *plasticizer* ini secara terpisah, masih terdapat variasi hasil yang signifikan dalam literatur mengenai efektivitas keduanya. Sebagian studi menunjukkan bahwa gliserol memberikan fleksibilitas tertinggi namun menurunkan kekuatan tarik (*tensile strength*) secara drastis (Saputra, 2016). Di sisi lain, sorbitol sering dilaporkan mampu menjaga kekuatan material namun kurang efektif dalam meningkatkan elastisitas dibandingkan gliserol (Dani & Saputra, 2016).

Belum banyak studi yang melakukan analisis komparatif secara sistematis (Meta-Analisis) yang mengagregasi data dari berbagai penelitian terdahulu untuk memetakan pola hubungan antara konsentrasi keduanya *plasticizer* ini terhadap sifat mekanik. Hal ini penting untuk menentukan titik optimal (trade-off) antara kekuatan dan fleksibilitas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan literatur sistematis dan analisis data sekunder mengenai pengaruh *plasticizer* gliserol dan sorbitol terhadap sifat mekanik (*tensile strength* dan *elongation at break*) film bioplastik berbasis kitosan. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi berbasis data mengenai pemilihan *plasticizer* yang paling tepat untuk aplikasi kemasan yang membutuhkan keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas.

2. METODE

Penelitian ini menerapkan metode Tinjauan Literatur Sistematis (*Systematic Literature Review - SLR*) dengan pendekatan Meta-Analisis. Metode SLR dipilih karena menawarkan pendekatan yang lebih ketat, terstruktur, dan transparan dibandingkan tinjauan naratif tradisional. Dalam konteks ilmu material, di mana variabilitas data eksperimen sering terjadi akibat perbedaan kondisi laboratorium dan peralatan uji, SLR memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi, menilai, dan mensintesis seluruh bukti empiris yang relevan secara objektif. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan bias seleksi dan memberikan tingkat kepercayaan yang lebih tinggi terhadap kesimpulan akhir yang ditarik (Habibi & Artha Glory Romey Manurung, 2023).

Lebih lanjut, penelitian ini mengintegrasikan prinsip dasar meta-analisis untuk pengolahan data. Pendekatan ini tidak hanya mendeskripsikan hasil penelitian terdahulu secara kualitatif, melainkan melakukan agregasi data kuantitatif dari berbagai sumber independen. Dengan menggabungkan data statistik (*pooled data*) mengenai sifat mekanik dari berbagai studi, variasi hasil yang bersifat anomali dapat direduksi, sehingga tren hubungan (korelasi) antara variabel konsentrasi *plasticizer* dan respons mekanik material dapat terlihat lebih valid dan universal (Agus Dudung, 2018).

Seluruh tahapan operasional penelitian dirancang mengikuti alur diagram PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Proses ini mencakup empat fase kritis: (1) Identifikasi literatur potensial dari database akademik, (2) Skrining awal berdasarkan relevansi judul dan abstrak, (3) Penilaian kelayakan (*eligibility*) dengan membaca teks lengkap (*full-text*) berdasarkan kriteria inklusi yang ditetapkan, dan (4) Penetapan literatur final (*included*) yang valid untuk diekstraksi datanya. Kepatuhan terhadap protokol ini menjamin bahwa proses seleksi literatur dapat diverifikasi dan direproduksi oleh peneliti lain di masa mendatang (Rethlefsen & Page, 2022).

Proses penelusuran literatur dilakukan secara komprehensif melalui database elektronik bereputasi internasional maupun nasional. Sumber data utama mencakup *ScienceDirect* dan *Scopus* untuk menjangkau artikel-artikel dari jurnal berimpact tinggi, serta *Google Scholar* dan *Directory of Open Access Journals* (DOAJ) untuk memastikan cakupan yang lebih luas terhadap artikel open access yang relevan. Penggunaan *multi-database* ini bertujuan untuk meminimalisir bias publikasi dan memastikan bahwa data yang diperoleh merepresentasikan spektrum penelitian yang luas, baik dari negara maju maupun negara berkembang (Mohamed et al., 2020).

Strategi pencarian disusun menggunakan sintaks pencarian (*search string*) yang spesifik dengan memanfaatkan operator Boolean ("AND", "OR"). Kata kunci dikelompokkan ke dalam tiga domain konsep utama: (1) Material matriks (*Chitosan*), (2) Agen pemlastis (*Glycerol*, *Sorbitol*), dan (3) Parameter uji (*Mechanical properties*, *Tensile strength*, *Elongation*). Variasi terminologi dan ejaan (misalnya: *plasticizer* vs *plasticiser*) juga dilibatkan untuk menjaring artikel yang menggunakan istilah sinonim. Contoh formulasi string pencarian yang digunakan adalah: ("*Chitosan film*" OR "*Chitosan membrane*") AND ("*Glycerol*" OR "*Sorbitol*") AND ("*Tensile strength*" OR "*Mechanical properties*").

Batasan temporal pencarian ditetapkan pada rentang waktu 10 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2016 hingga 2026. Pemilihan rentang waktu ini didasarkan pada pertimbangan bahwa teknologi pemrosesan bioplastik dan metode pengujian material telah mengalami standarisasi yang signifikan dalam dekade terakhir, sehingga data yang dibandingkan memiliki validitas yang setara. Selain itu, filter bahasa diterapkan dengan hanya menyertakan literatur yang ditulis dalam Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia untuk menghindari kesalahan interpretasi data akibat kendala penerjemahan bahasa asing lainnya.

Untuk menjamin validitas internal penelitian dan meminimalkan bias seleksi, proses penyaringan literatur dilakukan berdasarkan protokol kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan sebelumnya. Kriteria ini dirancang untuk memastikan bahwa data yang dikomparasi memiliki tingkat homogenitas yang memadai.

Pertama adalah kriteria inklusi, literatur yang lolos seleksi harus memenuhi syarat sebagai artikel penelitian orisinal (*original research article*) yang memuat data primer hasil eksperimen laboratorium, bukan merupakan artikel ulasan (*review article*) atau bab buku. Hal ini untuk memastikan bahwa data yang diambil merupakan hasil pengujian langsung, bukan interpretasi pihak ketiga (Muhibbin & Hendriani, 2021).

Secara spesifik dari aspek material, studi harus menggunakan kitosan sebagai matriks polimer tunggal atau komponen dominan dengan komposisi minimal 70% dari total berat polimer. Hal ini krusial untuk memastikan bahwa perubahan sifat mekanik yang teramati benar-benar didominasi oleh interaksi antara kitosan dan *plasticizer*, bukan akibat interaksi dengan polimer campuran lain (seperti pati atau PVA). Selain itu, literatur wajib menyajikan data kuantitatif lengkap terkait nilai *Tensile Strength* (MPa) dan *Elongation at Break* (%), serta mencantumkan variasi konsentrasi *plasticizer* secara jelas.

Selanjunya adalah kriteria eksklusi dilakukan terhadap studi yang menggunakan sistem campuran polimer kompleks (*multicomponent blends*) atau penambahan bahan pengisi (*filler*) anorganik (seperti *nanoclays* atau ZnO) dalam jumlah signifikan. Kehadiran material tambahan tersebut dikategorikan sebagai variabel pengganggu (*confounding variables*) yang dapat mengaburkan efek murni dari gliserol dan sorbitol terhadap matriks kitosan.

Selain itu, literatur yang hanya menyajikan data hasil uji dalam bentuk grafik batang atau kurva tanpa menyertakan nilai numerik yang spesifik dalam teks atau tabel akan dieksklusi, karena ekstraksi data dari gambar memiliki risiko inakurasi yang tinggi. Artikel ulasan (*review articles*) juga dikeluarkan dari sampel data untuk mencegah terjadinya duplikasi data (*double counting*) yang dapat membiaskan hasil perhitungan statistik akhir.

Data dari literatur yang memenuhi syarat diekstraksi ke dalam *database* menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Parameter yang dicatat meliputi:

1. Identitas studi (Penulis dan Tahun).
2. Jenis *plasticizer* (Gliserol/Sorbitol).
3. Konsentrasi *plasticizer*.
4. Nilai *Tensile Strength* (MPa).
5. Nilai *Elongation at Break* (%).

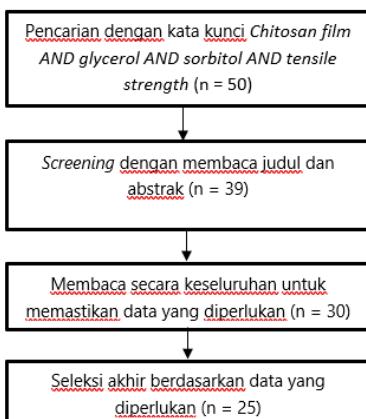
Data yang terkumpul dianalisis secara deskriptif komparatif. Analisis dilakukan dengan langkah-langkah:

1. Mengelompokkan data berdasarkan jenis *plasticizer*.
2. Membuat grafik hubungan (*scatter plot*) antara konsentrasi *plasticizer* (sumbu x) terhadap *Tensile Strength* dan *Elongation* (sumbu y).
3. Mengamati tren kenaikan atau penurunan sifat mekanik pada kedua jenis *plasticizer* dan menentukan titik persimpangan (*trade-off*) optimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Hasil Seleksi Studi Dengan Diagram PRISMA

Berdasarkan ketentuan yang sudah ditetapkan untuk *literature review*, maka didapat data berupa total jurnal yang telah dilihat dan diseleksi sebagian rupa untuk akhirnya digunakan di dalam penelitian ini yang disajikan dalam gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram PRISMA

Berdasarkan diagram alur PRISMA yang disusun, proses seleksi literatur dimulai dengan identifikasi 50 artikel dari berbagai basis data, yang kemudian tersaring menjadi 39 artikel setelah penghapusan duplikasi. Pada tahap skrining judul dan abstrak, jumlah literatur mengerucut menjadi 30 artikel yang dinilai kelayakannya secara mendalam (full-text review). Melalui kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat—terutama terkait kelengkapan data kuantitatif dan kemurnian matriks kitosan—sebanyak 25 jurnal dinyatakan memenuhi syarat akhir untuk dianalisis. Konsistensi penurunan jumlah ini menunjukkan bahwa proses seleksi dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa hanya studi dengan kualitas data mekanik terbaik yang masuk ke dalam tahap meta-analisis.

Sifat Mekanik Kitosan Dengan Sorbitol

Berdasarkan hasil penelusuran dan seleksi literatur sesuai kriteria inklusi, diperoleh data kuantitatif mengenai sifat mekanik film bioplastik kitosan. Ringkasan data perbandingan nilai kuat tarik (*tensile strength*) dan kemuluran (*elongation at break*) dari penggunaan plasticizer Sorbitol pada tabel 1 berikut.

Table 1. Ringkasan Data Sifat Mekanik Film Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol

Peneliti	Kuat Tarik (MPa)	Kemuluran (%)
(Yustinah et al., 2019)	41,52	5,13
(Gustiyani & Muryeti, 2023)	43,76	13,14
(Malek Ali, 2017)	51,59	12,35

Peneliti	Kuat Tarik (MPa)	Kemuluran (%)
(Arvanitoyannis et al., 2017)	53,52	12,25
(Campos et al., 2016)	75,83	10,44

Berdasarkan tabulasi data dari lima studi literatur terpilih, penggunaan Sorbitol sebagai *plasticizer* pada matriks kitosan menunjukkan karakteristik mekanik yang cenderung konsisten, yaitu dominasi kekuatan tarik (*tensile strength*) yang tinggi namun dengan tingkat fleksibilitas (*elongation*) yang terbatas.

Data menunjukkan bahwa film kitosan dengan penambahan sorbitol memiliki integritas struktural yang sangat baik. Nilai kuat tarik yang diperoleh berada pada rentang 41,52 MPa hingga 75,83 MPa. Secara spesifik, penelitian oleh (Malek Ali, 2017), (Arvanitoyannis et al., 2017), dan (Campos et al., 2016) menunjukkan tren nilai di atas 50 MPa, yang mengindikasikan bahwa material ini memiliki ketahanan beban yang setara dengan beberapa jenis polimer sintetik komersial berdensitas rendah.

Tingginya nilai kuat tarik ini dapat diasosiasikan dengan struktur molekul sorbitol. Sorbitol memiliki enam gugus hidroksil (-OH) yang mampu membentuk ikatan hidrogen intramolekuler dan intermolekuler yang kuat dengan gugus amina (-NH₂) dan hidroksil pada rantai polimer kitosan. Kepadatan ikatan hidrogen ini menciptakan struktur jaringan yang rapat dan kaku (*rigid*), sehingga material mampu menahan gaya tarik yang besar sebelum mengalami kegagalan (putus) [Referensi]. (Campos et al., 2016) yang mencatatkan nilai ekstrem 75,83 MPa kemungkinan menggunakan konsentrasi sorbitol yang optimal atau metode casting yang meminimalkan cacat mikro, sehingga efek penguatan (*reinforcement effect*) sorbitol bekerja maksimal.

Berbanding terbalik dengan kekuatannya, nilai kemuluran film kitosan-sorbitol tercatat rendah, berkisar antara 5,13% hingga 13,14%. Mayoritas data berkumpul di kisaran angka 10-13%, sementara penelitian oleh (Yustinah et al., 2019) menunjukkan nilai terendah sebesar 5,13%.

Rendahnya nilai elongasi ini mengonfirmasi bahwa meskipun sorbitol berfungsi sebagai *plasticizer*, kemampuannya dalam meningkatkan mobilitas rantai polimer tidak seefektif *plasticizer* berberat molekul lebih rendah. Struktur molekul sorbitol yang relatif besar dan kaku cenderung mengisi ruang antar polimer tanpa memberikan volume bebas (*free volume*) yang signifikan. Akibatnya, pergeseran antar rantai polimer saat ditarik menjadi terbatas, menghasilkan material yang bersifat kaku dan kurang elastis.

Dari kelima data tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan sorbitol pada film kitosan lebih efektif berfungsi sebagai agen penguat struktur (*structural reinforcement agent*) dibandingkan sebagai agen pelunak. Material yang dihasilkan cocok diaplikasikan pada kemasan yang membutuhkan kekokohan bentuk (*form stability*), seperti baki makanan (*tray*) atau kemasan elektronik, namun kurang cocok untuk aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas tinggi seperti kantong pembungkus.

Sifat Mekanik Kitosan Dengan Sorbitol

Berbeda dengan karakteristik sorbitol yang cenderung menghasilkan material kaku, penggunaan gliserol sebagai *plasticizer* menunjukkan profil mekanik yang jauh lebih dinamis. Data kuantitatif mengenai pengaruh gliserol terhadap kuat tarik dan kemuluran film kitosan dari lima studi literatur dirangkum sebagai berikut.

Table 2. Ringkasan Data Sifat Mekanik Film Kitosan dengan Plasticizer Gliserol

Peneliti	Kuat Tarik (MPa)	Kemuluran (%)
(Firman, 2018)	21,2	11,76
(Lavorgna et al., 2016)	4,2	14
(Susilowati et al., 2016)	11,13	15,85
(Ariska et al., 2016)	51,2	18,2
(Dallan et al., 2017)	3,28	60,23

Berbeda dengan karakteristik sorbitol yang cenderung stabil menghasilkan material kaku, penggunaan gliserol menunjukkan profil mekanik yang jauh lebih fluktuatif dan sensitif. Data pada Tabel Gliserol memperlihatkan rentang variasi yang sangat lebar, baik pada parameter kekuatan tarik maupun kemuluran.

Secara umum, penambahan gliserol menyebabkan penurunan kekuatan tarik yang lebih signifikan dibandingkan sorbitol. Mayoritas data menunjukkan nilai kuat tarik di bawah 25 MPa, bahkan penelitian oleh (Lavorgna et al., 2016) dan (Dallan et al., 2017) mencatatkan nilai sangat rendah masing-masing 4,2 MPa dan 3,28 MPa.

Penurunan drastis ini merupakan indikasi terjadinya fenomena *plasticization* yang kuat. Gliserol memiliki berat molekul yang rendah dan ukuran molekul yang kecil, memungkinkannya menyusup dengan mudah di antara rantai polimer kitosan. Kehadiran gliserol ini secara efektif memutus atau melemahkan ikatan hidrogen antar rantai polimer (*intermolecular forces*), sehingga struktur matriks menjadi lunak dan kehilangan kekuatannya untuk menahan beban tarik.

Namun, terdapat anomali menarik pada penelitian (Ariska et al., 2016), yang mencatatkan nilai kuat tarik sangat tinggi sebesar 51,2 MPa. Nilai yang menyimpang jauh dari tren rata-rata ini kemungkinan besar disebabkan oleh penggunaan konsentrasi gliserol yang sangat rendah (di bawah ambang batas kritis) atau adanya fenomena *anti-plasticization*, di mana molekul gliserol dalam jumlah sedikit justru mengisi rongga kosong dan membatasi pergerakan molekul, alih-alih melumaskannya.

Pada parameter kemuluran, gliserol menunjukkan potensinya sebagai agen pemlastis yang sangat efektif. Penelitian oleh (Dallan et al., 2017) mencatatkan nilai elongasi tertinggi dalam seluruh set data, yaitu mencapai 60,23%. Angka ini jauh melampaui rata-rata elongasi kelompok sorbitol yang hanya berkisar 10-13%.

Tingginya elongasi pada (Dallan et al., 2017) berkorelasi langsung dengan rendahnya kuat tarik pada paper yang sama (3,28 MPa). Mekanismenya dapat dijelaskan melalui teori *Free Volume* (Volume Bebas). Molekul gliserol bertindak sebagai pelumas internal (*internal lubricant*) yang meningkatkan jarak antar rantai polimer. Hal ini memberikan ruang gerak yang lebih besar bagi rantai kitosan untuk bergeser (*sliding*) dan merenggang saat ditarik, menghasilkan material yang sangat fleksibel dan ulet.

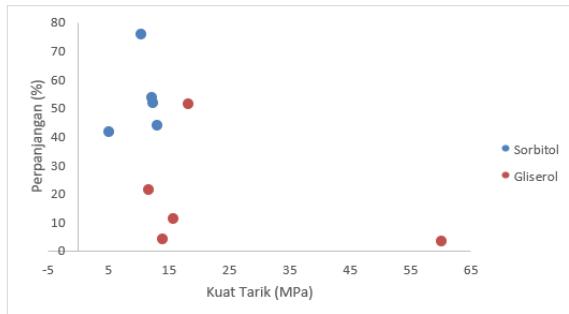
Meskipun demikian, data pada penelitian (Firman, 2018), (Lavorgna et al., 2016) dan (Susilowati et al., 2016) menunjukkan peningkatan elongasi yang moderat (11% - 15%). Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas gliserol sangat bergantung pada dosisnya. Konsentrasi yang kurang tepat tidak akan menghasilkan fleksibilitas maksimal, namun sudah cukup untuk menurunkan kekuatan material secara signifikan.

Analisis data menunjukkan adanya *trade-off* (kompromi) yang nyata pada penggunaan gliserol. Gliserol mampu menghasilkan film bioplastik yang sangat elastis, namun konsekuensinya adalah penurunan integritas struktural yang ekstrem. Material dengan karakteristik seperti ini lebih cocok diaplikasikan untuk kemasan fleksibel (*flexible packaging*) seperti pembungkus makanan ringan (*sachet*) atau kantong belanja yang tidak menopang beban berat, berbeda dengan karakteristik hasil sorbitol yang lebih kaku.

Analisis Komparatif: Sorbitol vs. Gliserol

Setelah meninjau karakteristik masing-masing *plasticizer* secara terpisah, analisis komparatif dilakukan untuk memetakan pola hubungan antara jenis *plasticizer* dengan performa mekanik akhir bioplastik. Berdasarkan agregasi data dari seluruh literatur yang dikaji, ditemukan perbedaan fundamental (*dikotomi*) yang signifikan antara penggunaan sorbitol dan gliserol.

Untuk memvisualisasikan perbedaan tren tersebut, seluruh titik data *tensile strength* dan *elongation* dari kedua kelompok dipetakan dalam grafik hubungan (*scatter plot*) di bawah ini.



Gambar 2. Peta sebaran hubungan antara *Tensile Strength* (MPa) dan *Elongation* (%) pada film kitosan dengan *plasticizer* Sorbitol dan Gliserol

Sebagaimana terlihat pada Gambar 2, terdapat pengelompokan (*clustering*) data yang sangat kontras. Titik data Sorbitol cenderung berkumpul di area kiri-atas grafik, merepresentasikan zona "Kuat namun Kaku" (*High Strength, Low Ductility*). Sebaliknya, titik data Gliserol menyebar ke arah kanan-bawah, mengisi zona "Lentur

namun Lemah" (*Low Strength, High Ductility*). Pola ini mengonfirmasi adanya fenomena kompromi (*trade-off*) klasik dalam rekayasa bioplastik: peningkatan fleksibilitas hampir selalu diikuti dengan penurunan kekuatan struktural. Untuk memvisualisasikan perbedaan tren tersebut, seluruh titik data *tensile strength* dan *elongation* dari kedua kelompok dipetakan dalam grafik hubungan (*scatter plot*) di bawah ini.

Secara teoritis, divergensi sifat ini berakar pada perbedaan berat molekul dan struktur kimia. Gliserol, dengan molekul kecil dan rantai pendek, bertindak efektif sebagai pelumas antar-rantai (*inter-chain lubricant*), memfasilitasi pergeseran rantai polimer kitosan secara masif sehingga nilai elongasi melonjak drastis (Nisah, 2018). Di sisi lain, Sorbitol memiliki struktur molekul lebih besar dan kaku. Alih-alih melumasi, sorbitol cenderung berinteraksi kuat melalui ikatan hidrogen yang padat dengan matriks kitosan, bertindak menyerupai penguat (*reinforcing filler*) yang menjaga kekokohan material namun membatasi pergerakannya (Fajriati, 2017).

Selain perbedaan nilai rata-rata, sebaran data pada grafik juga mengungkap karakteristik stabilitas yang berbeda. Data sorbitol menunjukkan deviasi standar yang kecil (titik-titik berkumpul rapat), mengindikasikan performa yang stabil dan konsisten. Sebaliknya, dispersi data yang luas pada sampel gliserol mengindikasikan sensitivitas tinggi terhadap faktor lingkungan, terutama kelembapan.

Gliserol dikenal memiliki sifat hidroskopis yang jauh lebih tinggi dibandingkan sorbitol. Molekul gliserol cenderung menyerap uap air dari lingkungan. Karena air juga berfungsi sebagai *plasticizer* alami bagi kitosan, keberadaan air yang terserap akan memperkuat efek pelunakan secara eksponensial, menyebabkan fluktuasi data yang besar antar penelitian. Sebaliknya, sorbitol yang memiliki kecenderungan mengkristal memberikan stabilitas dimensi yang lebih baik dan resistensi lebih tinggi terhadap fluktuasi kelembapan (Suryadri et al., 2021).

Dari segi pemrosesan, gliserol menunjukkan sensitivitas dosis yang kritis. Peningkatan konsentrasi sedikit saja dapat menyebabkan penurunan kekuatan tarik yang tajam (*steep drop*), menuntut kontrol presisi yang ketat dalam manufaktur. Sementara itu, kurva penurunan kekuatan pada sorbitol cenderung lebih landai (*gradual*), memberikan "jendela pemrosesan" (*processing window*) yang lebih lebar bagi industri.

Implikasi praktis dari temuan ini sangat krusial bagi pengembangan produk:

1. Aplikasi Kaku (*Rigid Packaging*): Bioplastik berbasis Sorbitol lebih direkomendasikan untuk wadah makanan (*tray*) atau mangkuk sekali pakai yang menuntut kestabilan bentuk dan kekuatan tumpuk.
2. Aplikasi Fleksibel (*Flexible Packaging*): Bioplastik berbasis Gliserol adalah pilihan mutlak untuk kantong belanja, *sachet*, atau pelapis (*coating*) buah-buahan yang membutuhkan daya regang tinggi tanpa mudah sobek saat ditekuk.

4. KESIMPULAN

Penelitian literatur ini mengonfirmasi adanya *trade-off* mekanik yang signifikan pada film bioplastik kitosan. Sorbitol terbukti dominan sebagai agen penguat, menghasilkan film dengan kuat tarik tinggi (41–75 MPa) namun kaku (elongasi <15%), sehingga ideal untuk aplikasi kemasan *rigid*. Sebaliknya, Gliserol berfungsi efektif sebagai pelunak yang meningkatkan fleksibilitas hingga 60%, namun menyebabkan penurunan drastis pada integritas struktural (kuat tarik <25 MPa) serta memiliki sensitivitas tinggi terhadap kelembapan. Oleh karena itu, Sorbitol direkomendasikan untuk stabilitas bentuk, sedangkan Gliserol mutlak diperlukan untuk aplikasi kemasan fleksibel.

5. REFERENSI

- Agus Dudung. (2018). Kompetensi Profesional Guru (Suatu Studi Meta-Analysis Desertasi Pascasarjana UNJ). JKJP (*Jurnal Kesejahteraan Keluarga Dan Pendidikan*), 5(1), 9–19. <http://doi.org/10.21009/JKJP>
- Aripin, S., Saing, B., & Kustiyah, E. (2017). Studi_Pembuatan_Bahan_Alternatif_Plastik. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 06(2), 79–84.
- Ariska, R., Firmansyah, M. L., & Wulandari, S. (2016). Karakterisasi edible film dari pektin kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) dengan penambahan kitosan dan gliserol. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 26(2), 123–130.
- Arvanitoyannis, I., Kolokuris, I., Nakayama, A., Yamamoto, N., & Aiba, S. I. (2017). Physico-chemical studies of chitosan-poly(vinyl alcohol) blends plasticized with sorbitol and sucrose. *Carbohydrate Polymers*, 34(1–2), 9–19. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)00089-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)00089-1)
- Campos, M. G. N., Mei, L. H. I., & Santos, A. R. (2016). Sorbitol-plasticized and neutralized chitosan membranes as

- skin substitutes. *Materials Research*, 18(4), 781–790. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.025015>
- Dallan, P. R. M., Moreira, P. D. L., Petinari, L., Malmonge, S. M., Beppu, M. M., Genari, S. C., & Moraes, A. M. (2017). Effects of chitosan solution concentration and incorporation of chitin and glycerol on dense chitosan membrane properties. *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*, 80(2), 394–405. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30610>
- Dani, P. E., & Saputra, H. (2016). *KARAKTERISASI PLASTIK BIODEGRADABLE DARI PATI LIMBAH KULIT PISANG MULI DENGAN PLASTICIZER SORBITOL*. 2016.
- De Cock, P., Mäkinen, K., Honkala, E., Saag, M., Kennepohl, E., & Eapen, A. (2016). Erythritol Is More Effective Than Xylitol and Sorbitol in Managing Oral Health Endpoints. *International Journal of Dentistry*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9868421>
- Equilibria, J. P. (2016). Polymer-plasticizer compatibility during coating formulation: A multi-scale investigation. *Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)*, 508, 621–628. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.508.621>
- Fajriati. (2017). *SINTESIS KOMPOSIT FILM KITOSAN - TiO2 MENGGUNAKAN SORBITOL SEBAGAI PLASTICIZER*. 13(1), 75–94.
- Firman, R.; S.; (2018). Pemanfaatan pati tapioka dan kitosan dalam pembuatan plastik biodegradable dengan penambahan gliserol sebagai plasticizer. *Jurnal Litbang Industri*, 2018(2), 73–81.
- Gustiyani, & Muryeti. (2023). Pembuatan Edible Film Dari Pati Tapioka Dan Pektin Dari Kulit Jeruk Manis (*Citrus Sinensis*). *Journal Printing and Packaging Technology*, 3(1), 2023.
- Habibi, R., & Artha Glory Romey Manurung. (2023). SLR Systematic Literature Review: Metode Penilaian Kinerja Karyawan Menggunakan Human Performance Technology. *Journal of Applied Computer Science and Technology*, 4(2), 100–107. <https://doi.org/10.52158/jacost.v4i2.511>
- Ir. Zufri Hasrudy Siregar, S.T., M.Eng., C. E., Azhar Aras Mubarak, S.T., M. T., Yuvita Satriani Djuli, S.T., M. T., Hery Irwan, S.T., M.T., P., Dr. Ir. M. Ansyar Bora, S.T., M.T., I., Dr. Ir. Abdullah Merjani, S.T., M. T., M.T., I. A. A. D., Fahriadi Pakaya, M. T., & Firman Edi, S.T., M. T. (2024). *Pengantar Teknik Mesin Dan Industri*. Tri Edukasi Ilmiah. https://www.researchgate.net/profile/M-Bora/publication/392798780_Pengantar_Teknik_Mesin_dan_Industri/links/68538d6c26f43051a5817f64/Pengantar-Teknik-Mesin-dan-Industri.pdf
- Lavorgna, M., Piscitelli, F., Mangiacapra, P., & Buonocore, G. G. (2016). Study of the combined effect of both clay and glycerol plasticizer on the properties of chitosan films. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.054>
- Malek Ali. (2017). Synthesis and Characterization of the Composite Material PVA/Chitosan/5% Sorbitol with Different Ratio of Chitosan .pdf. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS*. https://www.researchgate.net/profile/Abderraouf-Gherissi/publication/317213868_Synthesis_and_characterization_of_the_composite_material_PVAChitosan5_sorbitol_with_different_ratio_of_chitosan/links/5b02a7b4a6fdccf9e4f6ec95/Synthesis-and-characterization-of
- Mohamed, R., Ghazali, M., & Samsudin, M. A. (2020). A Systematic Review on Mathematical Language Learning Using PRISMA in Scopus Database. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(8), 1–12. <https://doi.org/10.29333/ejmste/8300>
- Muhibbin, M. A., & Hendriani, W. (2021). Challenges and Strategies of Inclusive Education in Higher Education in Indonesia: Literature Review. *JPI (Jurnal Pendidikan Inklusi)*, 4(2), 92.
- Nisah, K. (2018). STUDY PENGARUH KANDUNGAN AMILOSA DAN AMILOPEKTIN UMBI-UMBIAN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK PLASTIK BIODEGRADABLE DENGAN Plastizicer GLISEROL. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi Dan Kependidikan*, 5(2), 106. <https://doi.org/10.22373/biotik.v5i2.3018>
- Purwanti, A. (2017). Analisis Kuat Tarik dan Elongasi Plastik Kitosan Terplastisasi Sorbitol. *Jurnal Teknologi*, 3(2), 99–106.
- Rethlefsen, M. L., & Page, M. J. (2022). PRISMA 2020 and PRISMA-S: common questions on tracking records and the flow diagram. *Journal of the Medical Library Association*, 110(2), 253–257. <https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1449>
- Saputra, E. (2016). Penggunaan Edible Film dari Chitosan dengan Plasticizer Karboksimetilselulosa (CMC) Sebagai Pengemas BurgerLele Dumbo. *Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jawa Timur*, 13(1), 59–65. <https://core.ac.uk/download/pdf/234615593.pdf>
- Siregar, Z. H., Harahap, U. N., & SR, M. Z. (2020). Perencanaan Bahan Baku Menggunakan Metode Min-Max pada

- PT. Pacific Palmindo Industri . *TALEN TA Conference Series: Energy & Engineering*, 3(2), 757–764.
<https://doi.org/10.32734/ee.v3i2.1073>
- Suryadri, H., Andriani, R., D, M. G. A., & Damris, M. (2021). *Perbandingan penambahan CMC dan sorbitol dengan penambahan gelatin dan gliserol terhadap edible film yang terbuat dari limbah cair tahu*. 5(2), 93–104.
- Susilowati, E., Kartini, I., Santosa, S. J., & Triyono. (2016). Effect of glycerol on mechanical and physical properties of silver-chitosan nanocomposite films. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 107(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/107/1/012041>
- Yustinah, Noviyanti, S., Hasyim, U. H., & Syamsudin, A. B. (2019). Pengaruh Penambahan Kitosan dalam Pembuatan Plastik Biodegradable dari Rumput Laut Gracilaria sp dengan Pemlastik Sorbitol. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 1–6.