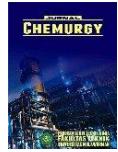
	<b>JURNAL CHEMURGY</b> E-ISSN 2620-7435 Available online at <a href="http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK">http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</a>	 SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## KARAKTERISTIK EDIBLE FILM BERBAHAN DASAR PEKTIN KULIT JERUK BALI DENGAN PENAMBAHAN BEESWAX DAN KITOSAN

### *CHARACTERISTICS OF EDIBLE FILM MADE FROM PECTIN FROM BALI ORANGE PEEL WITH THE ADDITION OF BEESWAX and CHITOSAN*

**Muryeti<sup>\*</sup>, Satrio Rizky Hadi, Pormauli Gultom**

Packaging Printing Technology Study Program/Graphic Publishing Engineering Department, Jakarta State Polytechnic

<sup>\*</sup>email: [muryeti@grafika.pnj.ac.id](mailto:muryeti@grafika.pnj.ac.id)

(Received: 2025 08, 28; Reviewed: 2026 06, 05; Accepted: 2026 06, 28)

#### **Abstrak**


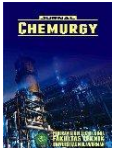
Penggunaan plastik konvensional sebagai kemasan menimbulkan permasalahan lingkungan karena sulit terurai. Salah satu alternatif ramah lingkungan adalah edible film berbasis biopolimer alami. Penelitian ini menggunakan pektin dari kulit jeruk bali dengan penambahan gliserol sebagai plasticizer, serta kombinasi kitosan (0–2%) dan beeswax (0–3%) untuk memperbaiki sifat fungsional film. Pembuatan edible film dilakukan dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial 3x4, kemudian diuji sifat fisik, mekanik, dan biodegradasinya. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi beeswax menurunkan transparansi, kuat tarik, kelarutan, serta biodegradasi, tetapi meningkatkan sifat hidrofobik dan fleksibilitas film. Kitosan berperan dalam memperkuat struktur dan menambah sifat antimikroba, namun menurunkan elastisitas. Analisis ANOVA menunjukkan kitosan dan beeswax, baik secara individu maupun kombinasi, berpengaruh signifikan terhadap sebagian besar parameter uji. Dengan demikian, kombinasi pektin, kitosan, dan beeswax dapat menghasilkan edible film dengan sifat yang dapat disesuaikan untuk aplikasi kemasan pangan berkelanjutan.

**Kata Kunci:** *Beeswax, Edible film, Kitosan, Pektin Jeruk Bali*

#### **Abstract**

*The use of conventional plastic as packaging causes environmental problems because it is difficult to decompose. One environmentally friendly alternative is edible film based on natural biopolymers. This study used pectin from grapefruit peel with the addition of glycerol as a plasticiser, as well as a combination of chitosan (0–2%) and beeswax (0–3%) to improve the functional properties of the film. The edible film was produced using a 3x4 factorial Complete Randomised Design (CRD) method, then tested for its physical, mechanical, and biodegradable properties. The results showed that an increase in beeswax concentration reduced the film's transparency, tensile strength, solubility, and biodegradability, but increased its hydrophobicity and flexibility. Chitosan played a role in strengthening the structure and adding antimicrobial properties, but reduced elasticity. ANOVA analysis showed that chitosan and beeswax, both individually and in combination, had a significant effect on most of the test parameters. Thus, the combination of pectin, chitosan, and beeswax can produce edible films with properties that can be adjusted for sustainable food packaging applications*

**Keywords:** *Beeswax, Chitosan, Edible Film, Pomelo Pectin*

	<h1>JURNAL CHEMURGY</h1> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at <a href="http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK">http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</a></p>	 <p>SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya penggunaan plastik konvensional dalam industri pengemasan telah menimbulkan permasalahan lingkungan serius karena sifatnya yang sulit terurai (Udjiana et al., 2021). Produksi plastik global telah mencapai ratusan juta ton per tahun dan manajemen limbah yang belum efektif menyebabkan akumulasi sampah di lingkungan darat dan laut (Perreard et al., 2025). Selain dampak lingkungan, penggunaan plastik yang tidak sesuai standar pada kemasan makanan juga berisiko menimbulkan kontaminasi senyawa berbahaya yang bersifat karsinogenik bagi manusia (Laelasari et al., 2021). Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan material kemasan alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan. Inovasi *Edible film* menjadi salah satu solusi yang dapat mengurangi penggunaan plastik konvensional. *Edible film* adalah lapisan tipis yang terbuat dari biopolimer alami, bersifat dapat terurai (*biodegradable*), dan aman untuk dikonsumsi (Widodo et al., 2019). Kemasan *Edible* ini tidak hanya berfungsi untuk melindungi produk dari kerusakan fisik dan kontaminasi mikroba, tetapi juga mampu mengurangi volume sampah secara signifikan (Chavan et al., 2023). Material penyusun *Edible film* umumnya berasal dari hidrokoloid (protein atau polisakarida) dan lipid (*beeswax* atau asam lemak), yang dapat dikombinasikan untuk mendapatkan karakteristik fungsional yang diinginkan (Mustapa et al., 2017).

Salah satu sumber polisakarida yang potensial dalam pembuatan edible film adalah pektin, yang melimpah pada limbah kulit buah-buahan seperti jeruk bali (*Citrus maxima*) (Amri Aji, 2017). Indonesia, sebagai salah satu negara penghasil jeruk terbesar, menghasilkan limbah kulit jeruk dalam jumlah besar yang belum dimanfaatkan secara optimal (Citrus Fruit Fresh And Processed Statistical Bulletin 2020, n.d.). Pektin dari kulit jeruk bali memiliki kemampuan membentuk gel dan mengikat air dengan baik, sehingga cocok sebagai bahan dasar *Edible film*. Namun, film yang dihasilkan dari pektin memiliki kelemahan, yaitu sifat mekanik yang rendah dan permeabilitas yang tinggi terhadap uap air, yang membatasi aplikasinya (Dalimunthe et al., 2023).

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, modifikasi formulasi pembuatan edible film perlu dilakukan melalui penambahan aditif seperti plastisizer, dan reinforced agent. Penambahan plastisizer seperti gliserol diperlukan untuk meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi kerapuhan film, meskipun penggunaannya dalam konsentrasi tinggi dapat menurunkan sifat penghalang film terhadap uap air (Adinda Larasati et al., 2024), sehingga meningkatkan kekuatan mekanik. Penambahan bahan antimikroba seperti kitosan, mampu menghambat pertumbuhan bakteri dan memperkuat struktur film (Ratna Ningsih et al., 2022).

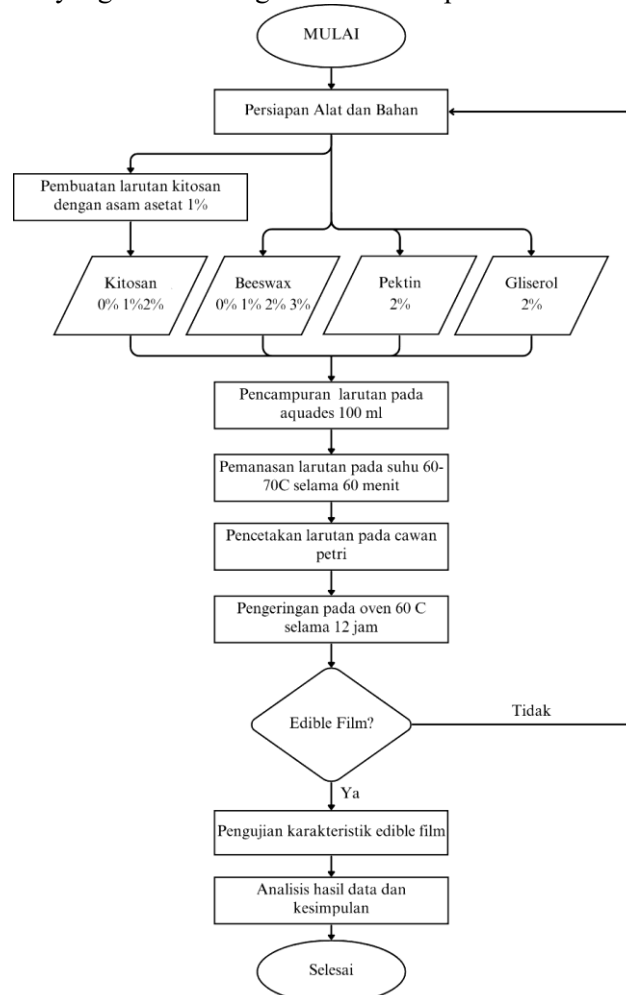
Selanjutnya, untuk memperbaiki sifat penghalang terhadap kelembapan yang merupakan kelemahan utama film berbasis hidrokoloid, penambahan komponen hidrofobik menjadi sangat penting. *Beeswax* (lilin lebah), sebagai senyawa lipid non-polar, efektif dalam membentuk lapisan yang sulit ditembus oleh molekul air, sehingga mampu menurunkan laju transmisi uap air secara signifikan. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk menginvestigasi pengaruh kombinasi kitosan dan *beeswax* terhadap karakteristik *edible film* berbasis pektin kulit jeruk bali.

## 2. METODOLOGI

Proses pembuatan film dilakukan dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial 3x4. Larutan film disiapkan dengan melarutkan pektin (2%) dan gliserol (2%) dalam akuades. Selanjutnya, larutan kitosan (0%, 1%, 2%) dan *beeswax* (0%, 1%, 2%, 3%) ditambahkan sesuai

variasi perlakuan. Variasi *Beeswax* 0% (B0), *Beeswax* 1% (B1), *Beeswax* 2% (B2), dan *Beeswax* 3% (B3). Variasi Kitosan 0% (K0), Kitosan 1% (K1), dan Kitosan 2% (K2).

Prosesnya dimulai dengan membuat larutan dasar dari pektin (2%) dan gliserol (2%). Secara terpisah, larutan kitosan disiapkan dengan melarutkan dalam asam asetat 1% menggunakan *magnetic stirrer* hingga mengental. Selanjutnya, larutan kitosan dan *beeswax* ditambahkan secara bertahap ke dalam campuran pektin dan gliserol sesuai variasi yang ditentukan. Setelah semua bahan diaduk hingga benar benar menyatu, larutan tersebut dicetak di cawan petri dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 12 jam. Film yang sudah kering kemudian dilepaskan dari cetakan dan siap untuk diuji



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Transparansi

Pengujian transparansi pada *edible film* menggunakan Spherical Hazemeter (standar ASTM D1003) bertujuan untuk mengukur seberapa baik lapisan *edible film* dapat ditembus cahaya. Hasilnya, yang ditampilkan dalam persen, menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai transmitansi, terlihat semakin buram. Sebaliknya, semakin rendah nilai *haze*, semakin jernih *edible film* tersebut.

### Ketahanan Air (Swelling)

Uji daya serap air (*swelling*) mengukur kemampuan *edible film* menyerap air. Sampel berukuran 2 x 2 cm ditimbang untuk berat awal (W0), direndam dalam aquades selama satu menit, dan dikeringkan dengan tisu. Setelah ditimbang kembali untuk berat akhir (W1), persentase daya serap dihitung dari selisih berat akhir dan awal, dibagi berat awal, lalu dikalikan 100%.

$$\text{Air yang diserap (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

### Kelarutan (Solubility)

Uji kelarutan mengukur persentase *edible film* yang larut dalam air. Sampel berukuran 2 x 2 cm ditimbang untuk berat kering awal ( $W_0$ ), direndam dalam air selama satu menit, lalu dikeringkan kembali untuk mendapatkan berat kering akhir ( $W_1$ ). Persentase kelarutan dihitung dari selisih berat awal dan akhir, dibandingkan dengan berat awal, dan dinyatakan dalam persen.

$$S (\%) = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100\% \quad (2)$$

### Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Kuat tarik adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh *edible film* sebelum rusak. Pengujian dilakukan dengan menarik sampel berukuran 15 mm × 100 mm hingga putus, dan gaya maksimum yang terbaca digunakan untuk menghitung kuat tarik. Nilai kuat tarik ( $N/mm^2$ ) dihitung dengan membagi gaya maksimum ( $F_{maks}$ ) yang diterima sampel dengan luas permukaan awal ( $A$ ). Perhitungan kuat tarik film dilakukan menggunakan persamaan (3)

$$\text{Kuat Tarik}(N/mm^2) = \frac{\text{Gaya } (F_{maks})}{\text{Luas Permukaan } (A)} \quad (3)$$

### Elongasi (*Elongation*)

Pengujian elongasi mengukur kemampuan *edible film* untuk meregang sebelum robek, dengan membandingkan panjang awal dan panjang saat putus. Sampel berukuran 15 mm × 100 mm dijepit pada mesin uji dan ditarik hingga putus, mencatat nilai elongasi. Perhitungan elongasi dilakukan menggunakan persamaan (4) berikut, Dimana persentase elongasi didapat dengan cara Panjang awal ( $B$ ) dikurang Panjang akhir ( $A$ ) dibagi ( $B$ ) kemudian di konversi ke persen.

$$\text{Elongasi } \% = \frac{B - A}{B} \times 100 \quad (4)$$

### Modulus Young

Perhitungan modulus elastisitas (*Modulus Young*) bertujuan untuk menilai kemampuan *edible film* kembali ke bentuk semula setelah ditarik. Nilai ini berbanding lurus dengan kuat tarik dan berbanding terbalik dengan persentase elongasi dihitung dengan persamaan (5), yaitu kuat tarik atau *tensile strength* ( $TS$ ), dibagi dengan persen perpanjangan saat putus atau *elongation at break* ( $EA$ ).

$$\text{Modulus Young } (N/mm^2) = \frac{\text{Tensile Strength } (TS)}{\text{Elongation at Break } (EA)} \quad (5)$$

### Laju Transmisi Uap Air (WVTR)

Laju transmisi uap air (WVTR) mengukur kemampuan *edible film* menghambat penguapan. Pengujian dimulai dengan menimbang cawan krus dan memasukkan 2 gram silika gel, lalu menutupnya dengan *edible film* yang direkatkan dengan plastisin agar kedap udara. Cawan disimpan dalam desikator selama 24 jam, kemudian ditimbang untuk mengukur perubahan bobot. Nilai WVTR dihitung menggunakan persamaan (6), dinyatakan dalam  $g.H_2O/jam.m^2$ , di mana  $W$  adalah perubahan bobot ( $g$ ),  $T$  adalah waktu pengujian ( $jam$ ), dan  $A$  adalah luas permukaan film ( $m^2$ ).

$$WVTR \left( g.H_2O / jam \cdot m^2 \right) = \frac{w}{t \times A} \quad (6)$$

### Biodegradasi

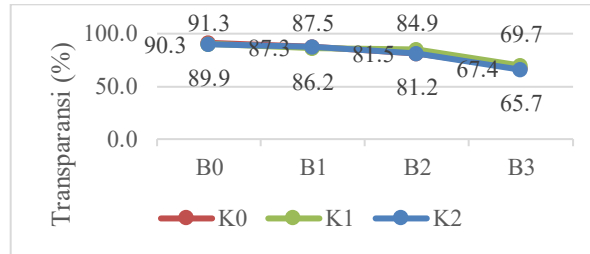
Uji biodegradabilitas mengukur sejauh mana material terurai secara alami, di mana bioplastik umumnya lebih mudah terdegradasi dibandingkan plastik sintetis. Sampel berukuran 2 × 2 cm ditimbang untuk berat awal ( $W_0$ ), kemudian dikubur dalam tanah selama 7 hari. Setelah diambil, sampel ditimbang kembali untuk berat setelah biodegradasi ( $W_1$ ). Perbedaan berat dihitung menggunakan persamaan (7).

$$\text{Susut Bobot } (\%) = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (7)$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Transparansi

Pengujian transparansi edible film dilakukan dengan Spherical Hazemeter sesuai standar ASTM D1003. Hasil uji dapat dilihat pada gambar 3.

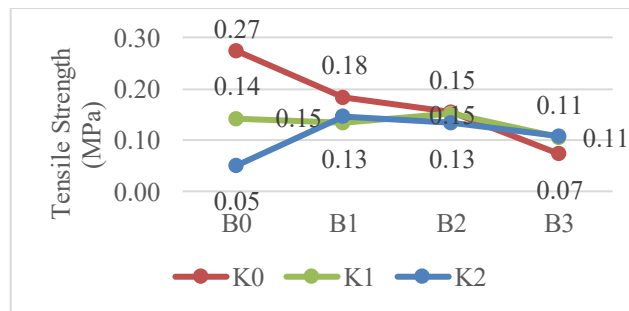


Gambar 3. Grafik Transparansi

Hasil uji transparansi menunjukkan bahwa kombinasi kitosan dan beeswax memengaruhi kejernihan edible film. Perlakuan tanpa kitosan dan beeswax (K0B0) menghasilkan transparansi tertinggi 91,33%, sedangkan kombinasi kitosan 2% dan beeswax 3% (K2B3) terendah 65,73%. Peningkatan konsentrasi beeswax membuat film lebih buram karena peningkatan viskositas yang menurunkan kejernihan (Evi Lusiana Dwi Safitri & Anggriani, 2020). Analisis ANOVA menunjukkan kitosan ( $p = 0,022 < 0,05$ ), beeswax ( $p = 0,000 < 0,05$ ), dan interaksinya ( $p = 0,025 < 0,05$ ) berpengaruh signifikan terhadap transparansi. Uji Duncan memperlihatkan K0B0 ( $91,33 \pm 0,76$ ) dan K1B0 ( $90,33 \pm 0,06$ ) memiliki transparansi tertinggi dan tidak berbeda nyata. Sebaliknya, K2B3 terendah ( $65,73 \pm 2,48$ ) serta berbeda nyata dengan semua perlakuan lain. Nilai rendah juga terlihat pada K0B3 ( $67,40$ ) dan K1B3 ( $69,67$ ), sedangkan K0B2 ( $81,53$ ) dan K2B2 ( $81,17$ ) termasuk kategori menengah.

#### 3.2 Tensile Strength

Hasil uji *Tensile Strength* menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi *beeswax* menyebabkan penurunan nilai kuat tarik, dapat dilihat pada Gambar 4.



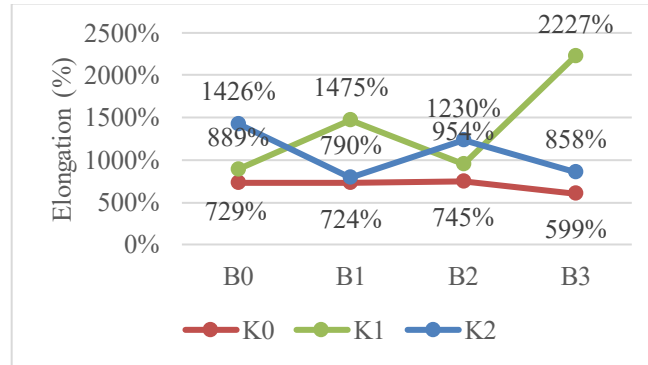
Gambar 4. Grafik Tensile Strength

Nilai tertinggi kuat tarik ada pada perlakuan tanpa kitosan dan *beeswax* K0B0 (0,2738 MPa) dan terendah pada K0B3 (0,05122 MPa). Penambahan *beeswax* meningkatkan elastisitas tetapi mengurangi kekuatan tarik karena membuat film lebih rapuh (Mohammadi et al., 2023). Kitosan tidak memberi pengaruh signifikan pada kekuatan tarik, mungkin akibat rasio campuran yang kurang optimal tanpa adanya plasticizer Hasil analisis varians (ANOVA) menunjukkan bahwa kitosan ( $p = 0,000 < 0,05$ ), beeswax ( $p = 0,020 < 0,05$ ), serta interaksi keduanya ( $p = 0,000 < 0,05$ ) berpengaruh signifikan terhadap nilai kuat tarik, yang berarti baik secara individu maupun kombinasi keduanya mampu memengaruhi elastisitas film. Uji Duncan memperlihatkan bahwa kuat tarik tertinggi diperoleh pada interaksi K1B3 sebesar  $22,275 \pm 1,017$  dan berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya, diikuti oleh K1B1 ( $14,753$ ) dan K2B0 ( $14,262$ ) yang tidak berbeda nyata satu sama lain tetapi berbeda dengan perlakuan bernilai lebih rendah. Sebaliknya, nilai terendah terdapat pada K0B3 sebesar  $5,993 \pm 1,017$  yang berbeda nyata dengan perlakuan bernilai tinggi. Beberapa perlakuan lain seperti K0B0, K0B1, K0B2, K1B0, dan K2B1 tidak menunjukkan perbedaan nyata satu sama lain,

sementara K2B2 ( $12,297 \pm 1,017$ ) memberikan kuat tarik lebih tinggi dibandingkan kelompok tersebut, meskipun tetap berbeda nyata dari perlakuan dengan nilai tertinggi.

### 3.3 Elongasi

Hasil pengujian elongasi menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi *beeswax* cenderung meningkatkan fleksibilitas atau nilai elongasi film dapat dilihat pada Gambar 5.

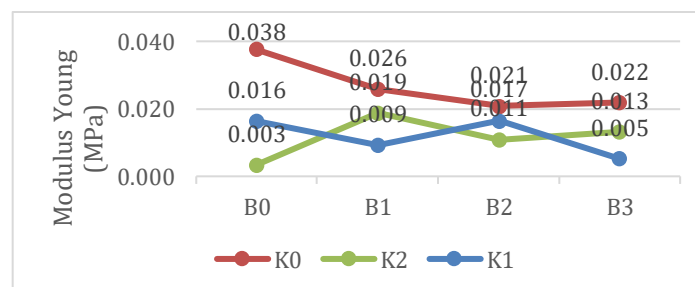


Gambar 5. Grafik elongasi

Nilai elongasi tertinggi 22,27% dicapai pada perlakuan K1B3, menunjukkan sinergi antara kitosan 1% dan *beeswax* 3% dalam meningkatkan elastisitas film. *Beeswax* berfungsi sebagai plasticizer yang membuat film lebih fleksibel. Sebaliknya, perlakuan K0B3 menghasilkan elongasi terendah 5,99%, menunjukkan bahwa *beeswax* tanpa kitosan tidak cukup meningkatkan fleksibilitas. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Nabila et al., 2018) yang menyatakan bahwa peningkatan plasticizer dapat meningkatkan fleksibilitas, meskipun sering mengurangi kuat tarik. Hasil analisis varians (ANOVA) menunjukkan bahwa kitosan ( $p = 0,000 < 0,05$ ), *beeswax* ( $p = 0,020 < 0,05$ ), serta interaksi keduanya ( $p = 0,000 < 0,05$ ) berpengaruh signifikan terhadap nilai elongasi Edible film, yang berarti baik secara individu maupun kombinasi keduanya mampu memengaruhi elastisitas film. Uji Duncan memperlihatkan bahwa nilai elongasi tertinggi diperoleh pada interaksi K1B3 sebesar  $22,275 \pm 1,017$  dan berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya, diikuti oleh K1B1 (14,753) dan K2B0 (14,262) yang tidak berbeda nyata satu sama lain tetapi berbeda dengan perlakuan bernilai lebih rendah. Sebaliknya, nilai terendah terdapat pada K0B3 sebesar  $5,993 \pm 1,017$  yang berbeda nyata dengan perlakuan bernilai tinggi. Beberapa perlakuan lain seperti K0B0, K0B1, K0B2, K1B0, dan K2B1 tidak menunjukkan perbedaan nyata satu sama lain, sementara K2B2 ( $12,297 \pm 1,017$ ) memberikan nilai elongasi lebih tinggi dibandingkan kelompok tersebut, meskipun tetap berbeda nyata dari perlakuan dengan nilai tertinggi.

### 3.4 Modulus Young

*Modulus Young* mengukur elastisitas film, sebanding dengan kuat tarik dan berbanding terbalik dengan elongasi. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.



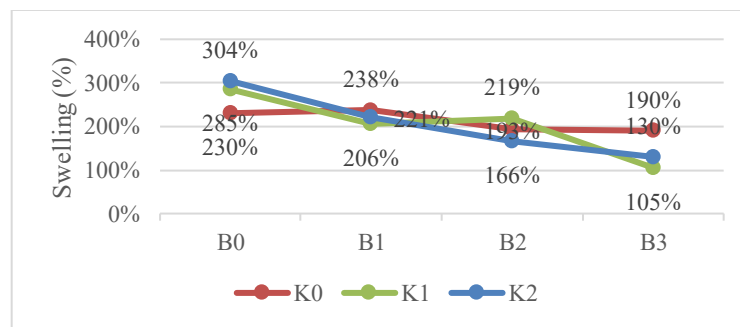
Gambar 6. Grafik Modulus Young

Hasil uji Modulus Young menunjukkan Peningkatan pektin meningkatkan kekakuan film (nilai tertinggi 0,0375 MPa pada K0B0), sedangkan *beeswax* menurunkan Modulus Young melalui efek plastisasi. Kombinasi dengan kitosan menghasilkan nilai fluktuatif. Semua sampel di bawah standar Japan Industrial Standard (JIS)  $\geq 0,35$  MPa, menunjukkan elastisitas tinggi dan kekakuan rendah.

Analisis varians (ANOVA) terhadap Modulus Young Edible film menunjukkan bahwa kitosan ( $p = 0,000 < 0,05$ ) dan beeswax ( $p = 0,017 < 0,05$ ) berpengaruh signifikan terhadap nilai Modulus Young, sementara interaksi keduanya ( $p = 0,053 > 0,05$ ) tidak memberikan pengaruh nyata, sehingga perubahan konsentrasi kitosan maupun beeswax secara individu memengaruhi tingkat kekakuan film, tetapi kombinasi keduanya tidak menghasilkan efek gabungan yang signifikan. Uji Duncan memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi beeswax cenderung menurunkan nilai Modulus Young, di mana konsentrasi 0% menghasilkan nilai tertinggi sebesar  $1,9957 \pm 1,39891$ , sedangkan konsentrasi 3% memberikan nilai terendah sebesar  $0,8911 \pm 0,87233$ . Sementara itu, pada variabel kitosan, nilai tertinggi terdapat pada perlakuan tanpa kitosan sebesar  $2,4725 \pm 1,28028$ , yang berbeda nyata dibandingkan perlakuan dengan kitosan 1% dan 2%, masing-masing sebesar  $0,9492 \pm 0,58174$  dan  $1,0761 \pm 0,46739$ . Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi beeswax dan kitosan, nilai Modulus Young Edible film cenderung menurun.

### 3.6 Daya Serap Air (Swelling)

Uji daya serap air (*swelling*) bertujuan untuk mengukur kemampuan film dalam menyerap air dan mengembang. Hasil pengujian ini disajikan pada Gambar 8.

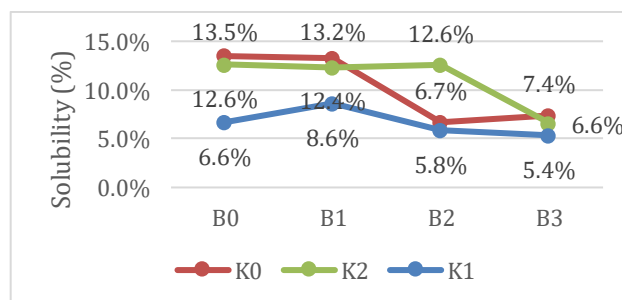


Gambar 8. Grafik *Swelling*

Hasil uji swelling menunjukkan perbedaan daya serap air antarperlakuan. Nilai tertinggi (304%) diperoleh pada K2B0, sedangkan terendah (105%) pada K1B3. Pada film tanpa beeswax, kitosan meningkatkan swelling karena struktur film kurang rapat dan mudah ditembus air. Sebaliknya, penambahan beeswax menurunkan swelling akibat sifat hidrofobiknya yang membentuk matriks lebih padat dan mempersempit celah penyerapan (Oko et al., 2023). Analisis ANOVA menunjukkan beeswax berpengaruh signifikan ( $p = 0,000 < 0,05$ ) dalam menurunkan swelling, sedangkan kitosan tidak berpengaruh nyata ( $p = 0,649 > 0,05$ ). Namun, interaksi keduanya signifikan ( $p = 0,000 < 0,05$ ), sehingga kombinasi mampu memengaruhi daya serap air. Uji Duncan menunjukkan swelling tertinggi pada K2B0 ( $3,043 \pm 0,141$ ) dan K1B0 ( $2,850 \pm 0,141$ ), sedangkan terendah pada K1B3 ( $1,053 \pm 0,141$ ) dan K2B3 ( $1,303 \pm 0,141$ ). Perlakuan lain menghasilkan nilai menengah yang berbeda nyata dibanding kelompok tertinggi dan terendah.

### 3.7 Kelarutan (Solubility)

Pengujian kelarutan pada edible film bertujuan untuk mengetahui persentase bagian berat kering film yang dapat larut dalam air. Hasil uji solubility dapat dilihat pada Gambar 9.

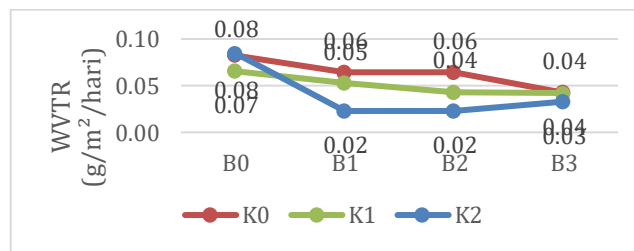


Gambar 9. Grafik *Solubility*

Hasil uji kelarutan menunjukkan penurunan kelarutan edible film seiring peningkatan konsentrasi *beeswax*. Film tanpa *beeswax* memiliki kelarutan tertinggi, sedangkan penambahan *beeswax* menurunkan kelarutan secara signifikan karena sifat hidrofobiknya yang menghambat interaksi dengan air dan membentuk struktur lebih padat (Peter et al., 2024). Penambahan kitosan juga menurunkan kelarutan akibat sifat hidrofobiknya yang meningkat seiring konsentrasi. Data hasil pengujian kelarutan (solubility) Edible film menunjukkan bahwa baik kitosan maupun *beeswax* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai solubility, dengan masing-masing nilai signifikansi 0,004 dan 0,009 ( $p < 0,05$ ), sedangkan interaksi keduanya tidak berpengaruh signifikan dengan nilai signifikansi 0,381 ( $p > 0,05$ ). Hal ini menunjukkan bahwa kitosan dan *beeswax* secara individu memengaruhi tingkat kelarutan film, namun kombinasi keduanya tidak menimbulkan efek interaksi yang nyata. Berdasarkan uji Duncan, konsentrasi kitosan 2% dan 0% menghasilkan kelarutan tertinggi masing-masing sebesar  $0,1108 \pm 0,04295$  dan  $0,1025 \pm 0,03696$  yang tidak berbeda nyata satu sama lain, sedangkan kitosan 1% memiliki nilai terendah yaitu  $0,0667 \pm 0,02674$  dan berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Sementara itu, pada faktor *beeswax*, nilai kelarutan tertinggi diperoleh pada konsentrasi 1% sebesar  $0,1133 \pm 0,03000$  dan 0% sebesar  $0,1100 \pm 0,03708$  yang tidak berbeda nyata, sedangkan nilai terendah terdapat pada *beeswax* 3% sebesar  $0,0656 \pm 0,03877$  yang berbeda nyata dibandingkan perlakuan 0% dan 1%.

### 3.8 Laju Transmisi Uap Air (*Water Vapor Transmission Rate/WVTR*)

Uji laju transmisi uap air (WVTR) mengukur kemampuan film dalam menahan uap air. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10.

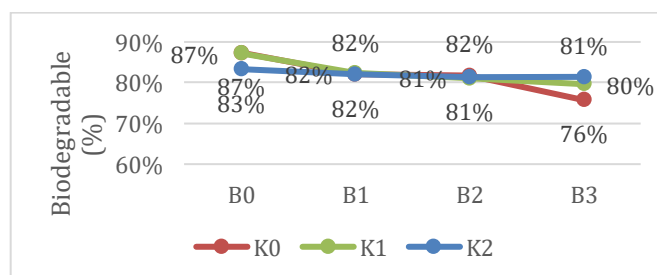


Gambar 10. Grafik WVTR

Hasil pengujian WVTR menunjukkan penurunan nilai seiring peningkatan konsentrasi kitosan dan *beeswax*. Pada perlakuan tanpa kitosan (K0), WVTR tertinggi diperoleh pada *beeswax* 0% ( $8,22 \text{ g.H}_2\text{O/jam.m}^2$ ), turun menjadi  $4 \text{ g.H}_2\text{O/jam.m}^2$  pada B3. Kitosan meningkatkan viskositas larutan dan ketebalan film sehingga memperkecil pori-pori, sedangkan *beeswax* yang bersifat hidrofobik menurunkan permeabilitas uap air. Analisis ANOVA menunjukkan kitosan dan *beeswax* berpengaruh signifikan terhadap WVTR dengan nilai signifikansi masing-masing 0,001 dan 0,000 ( $p < 0,05$ ), sedangkan interaksi keduanya tidak signifikan ( $p = 0,894$ ). Uji Duncan memperlihatkan perlakuan tanpa kitosan menghasilkan WVTR tertinggi ( $0,0631 \pm 0,01553$ ), berbeda nyata dengan kitosan 1% dan 2% yang menurunkan WVTR menjadi  $0,0509 \pm 0,01889$  dan  $0,0409 \pm 0,02745$ . Pada variabel *beeswax*, WVTR tertinggi terdapat pada B0 ( $0,0774 \pm 0,01336$ ) dan berbeda nyata dengan B1, B2, dan B3 yang bernilai  $0,0463 \pm 0,01966$ ;  $0,0436 \pm 0,02170$ ; dan  $0,0392 \pm 0,01298$ .

### 3.9 Biodegradasi

Uji biodegradasi mengukur laju penguraian film berdasarkan persentase kehilangan beratnya, hasilnya disajikan dalam grafik pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Biodegradasi

Hasil uji biodegradasi menunjukkan bahwa persentase degradasi edible film menurun dengan meningkatnya konsentrasi *beeswax* dan kitosan. Kitosan memperlambat degradasi karena sifat hidrofobik dan aktivitas antimikrobanya (Melisa Pribadi et al., 2022). Sementara itu, peningkatan *beeswax* juga menurunkan laju biodegradasi karena mengurangi kemampuan film menyerap air, menyulitkan penguraian oleh mikroba tanah (Yustianto et al., 2024).

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi *beeswax*, kitosan, dan pektin dari kulit jeruk bali dapat menghasilkan edible film dengan sifat yang dapat disesuaikan. Penambahan *beeswax* meningkatkan sifat hidrofobik dan kemampuan sebagai penghalang pada film, namun menurunkan kelarutan dan biodegradabilitas. Kitosan berkontribusi pada peningkatan kuat tarik tetapi mengurangi fleksibilitas, sedangkan pektin meningkatkan daya serap air dan biodegradabilitas. Dengan demikian, formulasi optimal bergantung pada tujuan aplikasi kemasan pangan yang diinginkan, baik untuk kekuatan mekanik, ketahanan terhadap air, maupun kemampuan terurai di lingkungan. Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai signifikansi di atas 0,05, sehingga penurunan degradasi edible film akibat penambahan kitosan dan *beeswax* belum terbukti signifikan. Hal ini diduga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembapan, suhu, dan mikroorganisme tanah yang tidak terkontrol selama pengujian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adinda Larasati, W., Rahmawati, Y., Taufany, F., Altway, A., & Nurkhamidah, S. (2024). Pengaruh Gliserol sebagai Plasticizer terhadap Karakterisasi Edible Film dari Kappa Karaginan *The Effect of Glycerol as Plasticizer on the Characterisation of Edible Film from Kappa Carrageenan*. In *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia* (Vol. 21, Issue 3).
- Amri Aji. (2017). Pengaruh Waktu Ekstraksi Dan Konsentrasi Hcl Untuk Pembuatan Pektin Dari Kulit Jeruk Bali (*Citrus maxima*).
- Ardiana, A., Lim, A., Muljana, H., Putra, H., & Widjaja, B. (2023). Studi Laboratorium Campuran Biopolimer Glukomanan Dan Beeswax Untuk Meningkatkan Kuat Geser Tanah Pasir. *Jurnal Teknik Sipil*, 198–207. <https://doi.org/10.24002/jts.v17i3.6968>
- Chavan, P., Lata, K., Kaur, T., Rezek Jambrak, A., Sharma, S., Roy, S., Sinhmar, A., Thory, R., Pal Singh, G., Aayush, K., & Rout, A. (2023). *Recent advances in the preservation of postharvest fruits using edible films and coatings: A comprehensive review*. *Food Chemistry*, 418, 135916. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135916>
- CITRUS FRUIT FRESH AND PROCESSED *Statistical bulletin 2020*. (n.d.).
- Dalimunthe, N. F., Fath, M. T. Al, Ginting, M. H. S., Natasya, T., & Pulungan, K. A. (2023). Karakteristik dan Daya Hambat Mikroba Edible Film dengan Penambahan Filler Kulit Salak (*Salacca zalacca*) sebagai Pengemas Makanan. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(1), 39–45. <https://doi.org/10.32734/jtk.v12i1.10395>
- Hutabarat, J., Bimantio, M. P., & Widyowanti, R. A. (2023). Karakteristik Edible Film Komposit Protein Biji Karet (*Hevea Brasiliensis*) dan Kitosan dengan Penambahan Gliserol sebagai Plasticizer. *BIOFOODTECH: Journal of Bioenergy and Food Technology*, 1(02), 76–94. <https://doi.org/10.55180/biofoodtech.v1i02.300>
- Konsentrasi Lilin Lebah Evi Lusiana Dwi Safitri, V., & Anggriani, R. (2020). Kajian Karakteristik Fisik dan Mekanik Edible Film Berbasis Pati Umbi Suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) dengan. <https://doi.org/10.22219/fths.v3i1>
- Laelasari, E., Anwar, A., & Puspita, T. (2021). Perbandingan Risiko Kesehatan Penggunaan Aditif Ftalat Dan Non Ftalat Pada Bahan Plastik Kemasan Makanan. *Jurnal Ekologi Kesehatan*, 20(1), 21–35. <https://doi.org/10.22435/jek.v20i1.3683>
- Melisa Pribadi, N., Putri Maharani, P., & Nurma Wahyusi, K. (2022). Edible Film Dari Pektin Kulit Pepaya Dan Kitosan Dari Kulit Udang Sebagai Pelapis Makanan. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 17, Issue 1).

- Mohammadi, M., Zoghi, A., & Azizi, M. H. (2023). *Assessment of properties of gluten-based edible film formulated with beeswax and DATEM for hamburger bread coating. Food Science and Nutrition, 11*(4), 2061–2068. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3242>
- Mustapa, R., Restuhadi, F., Efendi, R., Studi Teknologi Hasil Pertanian, P., & Teknologi Pertanian, J. (2017). Pemanfaatan Kitosan Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Edible Film Dari Pati Ubi Jalar Kuning *Utilization Of Chitosan As The Basic Material Of Making Edible Film Made From Sweet Potato Starch* (Vol. 4, Issue 2).
- Nabila, S. D. P., Kusdarwati, R., & Agustono, A. (2018). Pengaruh Penambahan Beeswax Sebagai Plasticizer Terhadap Karakteristik Fisik Edible Film Kitosan [The Effect of Using Beeswax as Plasticizer Against Physical Characteristics of Chitosan Edible Film]. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan, 10*(1), 34. <https://doi.org/10.20473/jipk.v10i1.8518>
- Nurrahmah, N. S., Rochima, E., Rostini, I., & Pratama, R. I. (2024). Gelatin, Chitosan, and Beeswax Based Edible Packaging for Food Product: A Review. *Asian Food Science Journal, 23*(11), 10–23. <https://doi.org/10.9734/afsj/2024/v23i11750>
- Oko, S., Kurniawan, A., Ramadhan, G., Alam, P., Program, S., Teknik, K. (2023). *Pengaruh Penambahan Massa Lilin Lebah (Beeswax) Sebagai Zat Anti Air Pada Pembuatan Edible Film Dari Beras Merah (Oryza Nivara)*. <https://doi.org/10.24853/jurtek.15.1.65-72>
- Perreard, S., Boucher, J., & Gallato, M. (2025). *Plastic Overshoot Day – Report 2025*. EA – Earth Action. <https://www.plasticovershoot.earth>
- Peter, A., Pop, L., Mihaly Cozmata, L., Nicula, C., Mihaly Cozmata, A., Drazic, G., Magyari, K., Muresan-Pop, M., Todea, M., & Baia, L. (2024). Beeswax-poly(vinyl alcohol) composite films for bread packaging. *Food Chemistry: X, 24*. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.102053>
- Ratna Ningsih, S. N., Tania, E., Azizah, N. N., Lutfiah, S. L., & Gunarti, N. S. (2022). Aktivitas Antibakteri Kitosan Dari Berbagai Jenis Bahan Baku Hewani : Review Journal. *Jurnal Buana Farma, 2*(4), 25–30. <https://doi.org/10.36805/jbf.v2i4.576>
- Udjiana, S. S., Hadianoro, S., & Azkiya, N. I. (2021). Perbandingan Karakteristik Plastik Biodegradable dari Biji Durian menggunakan Filler Kalsium Silikat dan Kalsium Karbonat. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan, 5*(1), 22–30. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i1.197>
- Widodo, Lu., Neza Wati, S., Made Vivi, N. A., Studi Teknik Kimia, P., Teknik, F., Veteran Jawa Timur Jl Raya Rungkut Madya, U., Anyar, G., & Surabaya, K. (2019). Pembuatan Edible Film Dari Labu Kuning Dan Kitosan Dengan Gliserol Sebagai Plasticizer. *Making Edible Film From Yellow Pumpkin and Chitosan With Glycerol as Plasticizer*.
- Wijayani, K. D., Darmanto, Y. S., & Susanto, E. (2021). Karakteristik Edible Film Dari Gelatin Kulit Ikan Yang Berbeda Edible Film Characteristics from Different Fish Skin Gelatin. In *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan* (Vol. 3, Issue 1).
- Yulistiani, F., Kurnia, D. R. D., Agustina, M., & Istiqlaliyah, Y. (2019). Pembuatan Edible Film Antibakteri Berbahan Dasar Pektin Albedo Semangka, Sagu, dan Ekstrak Bawang Putih. *FLUIDA, 12*(1), 29–34. <https://doi.org/10.35313/fluida.v12i1.1621>
- Yustianto, A. H., Sully, D. A., Fauzi, A. D., & Amalia, R. (2024). *The Effect of Differences in the Use of Flour and Plasticizers in Making Biodegradable Plastic on the Physical Characteristics of Beeswax. Journal of Vocational Studies on Applied Research, 6*(2), 14–21. <https://doi.org/10.14710/jvsar.v6i2.24257>