

## PENGARUH PENAMBAHAN PEKTIN KULIT JERUK, KITOSAN, DAN PEPPERMINT OIL TERHADAP KARAKTERISTIK BIOPLASTIK

### THE EFFECT OF THE ADDITION ORANGE PEEL PECTIN, CHITOSAN, AND PEPPERMINT OIL ON THE CHARACTERISTIC OF BIOPLASTICS

Muryeti<sup>1\*</sup>, Puspita Dwi Nuraini<sup>2</sup>

<sup>1,2\*</sup>Program Studi Teknologi Industri Cetak Kemasan, Jurusan Teknik Grafika dan Penerbitan, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424

\*e-mail: [muryeti@grafika.pnj.ac.id](mailto:muryeti@grafika.pnj.ac.id)

(Received: 2024 09, 19; Reviewed: 2024 12, 09; Accepted: 2024 12, 09)

#### Abstrak

Plastik yang sulit terurai menimbulkan ancaman serius bagi lingkungan, namun hal ini dapat diatasi dengan penggunaan bioplastik yang mampu terdegradasi secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat fisik, mekanik, kimia, barrier dan optik dari bioplastik yang terbuat dari pektin kulit jeruk (dengan variasi 1 g, 2 g, dan 3 g), serta penambahan karagenan (0,8 g), kitosan (1% dan 2%), gliserol (1,5 ml), dan *peppermint oil* (0,5 ml dan 1 ml). Tahapan penelitian meliputi pembuatan larutan kitosan, pembuatan bioplastik, dan pengujian berbagai karakteristik bioplastik yang dihasilkan. Data dari pengujian kemudian dianalisis menggunakan metode ANOVA tiga arah. Hasil optimal diperoleh dengan kombinasi pektin 2 g, kitosan 1%, dan minyak peppermint 1 ml, dengan hasil sebagai berikut: ketebalan 0,208 mm, kuat tarik 1,89 MPa, elongasi 63,69%, elastisitas 0,0313 MPa, daya serap air 163%, kelarutan 25%, kadar air 20,13%, degradasi 31,28%, permeabilitas uap air 23 g/m<sup>2</sup>/hari, transparansi 85,67%, serta nilai warna L\* 81,69, a\* -2,99, dan b\* 18,22.

**Kata Kunci:** bioplastik, karagenan, kitosan, pektin jeruk, *peppermint oil*

#### Abstract

Plastics that are difficult to decompose pose a serious threat to the environment, but this can be overcome by using bioplastics that can degrade naturally. This study aims to examine the physical, mechanical, chemical, and optical properties of bioplastics made from orange peel pectin (in variations of 1 g, 2 g, and 3 g), and the addition of carrageenan (0.8 g), chitosan (1% and 2%), glycerol (1.5 ml), and *peppermint oil* (0.5 ml and 1 ml). The research process includes making chitosan solutions, making bioplastics, and testing various characteristics. Data from the test were then analyzed using the three-way ANOVA method. Optimal results were obtained with a combination of 2 g pectin, 1% chitosan, and 1 ml *peppermint oil*, with the following results: thickness 0.208 mm, tensile strength 1.89 MPa, elongation 63.69%, elasticity 0.0313 MPa, water absorption 163%, solubility 25%, water content 20.13%, degradation 31.28%, water vapor permeability 23 g/m<sup>2</sup>/day, transparency 85.67%, and color values L\* 81.69, a\* -2.99, and b\* 18.22.

**Keywords:** bioplastic, carrageenan, chitosan, orange pectin, *peppermint oil*

#### 1. PENDAHULUAN

Plastik digunakan secara luas dalam berbagai kebutuhan manusia karena memiliki keunggulan seperti ringan, tahan air, fleksibel, dan harganya yang terjangkau (Udjiana et al., 2021). Namun,

meningkatnya penggunaan plastik dapat berdampak buruk pada lingkungan (Vuppaladadiyam et al., 2023). Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan plastik berbahan alami yang berasal dari sumber daya terbarukan (Behera et al., 2022). Salah satu jenis plastik alami yang dapat digunakan adalah bioplastik, yang terbuat dari bahan-bahan organik seperti karbohidrat, protein, dan lipid, sehingga dapat terurai dalam waktu relatif singkat. Indonesia memiliki potensi besar dalam hal sumber daya pertanian dan kelautan, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi bioplastik (Naurah et al., 2024). Salah satu contoh bahan pertanian yang berpotensi adalah kulit jeruk, yang mengandung pektin sebesar 30% dari berat keringnya (Putri et al., 2021). Pektin kaya akan karbohidrat, berfungsi sebagai agen pembentuk gel, penstabil, dan pengental dalam pembuatan bioplastik (Lugo et al., 2019). Bioplastik yang terbuat dari pektin memiliki keunggulan antara lain permukaannya yang halus, tetapi memiliki sifat mekanik yang rendah (Valdés et al., 2017).

Bioplastik yang hanya terbuat dari satu jenis polimer alami cenderung memiliki karakteristik yang kurang optimal (Khotimah et al., 2022), sehingga diperlukan bahan tambahan untuk meningkatkan kualitasnya. Dalam penelitian ini, beberapa bahan tambahan seperti karagenan, kitosan, gliserol, dan lipid ditambahkan. Karagenan merupakan kelompok polisakarida galaktosa dari ganggang laut merah, berfungsi sebagai pengental dan penstabil, serta memiliki sifat hidrofilik (Pujawati et al., 2021). Sifat hidrofilik ini dapat meningkatkan penyerapan air pada bioplastik, sehingga diperlukan bahan hidrofobik seperti kitosan dan lipid untuk mengimbangnya (Rosida et al., 2021). Kitosan adalah polimer alami yang diekstrak dari cangkang hewan laut seperti kerang, kepiting, udang, serta kutikula serangga dan jamur (Ramadhani & Firdhausi, 2021). Kitosan dapat membuat bioplastik lebih kuat, plastis, dan licin, meskipun membuatnya agak kaku. Agar bioplastik lebih fleksibel, diperlukan plasticizer seperti gliserol sebagai pemlastis (Sasria et al., 2020). Lipid yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *peppermint oil*, yang ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan air dan elastisitas bioplastik, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengemasan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimal bioplastik dan diharapkan dapat menghasilkan plastik yang lebih ramah lingkungan, membantu mengurangi penggunaan plastik sintetis di masyarakat.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL). Variabel yang digunakan adalah pektin dari kulit jeruk dengan tiga konsentrasi berbeda, yaitu 1 gram (P1), 2 gram (P2), dan 3 gram (P3), kitosan dengan konsentrasi 0% (K0), 1% (K1), dan 2% (K2), serta *peppermint oil* dengan variasi 0 ml (M0), 0,5 ml (M1), dan 1 ml (M2). Bahan tetap yang digunakan dalam penelitian ini adalah karagenan sebanyak 0,8 gram dan gliserol sebanyak 1,5 ml. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap, yaitu pembuatan larutan kitosan, pembuatan bioplastik, serta pengujian sifat-sifat bioplastik yang dihasilkan. Setiap perlakuan dilakukan dengan tiga kali pengulangan termasuk kontrol, sehingga total diperoleh 81 sampel. Komposisi pembuatan bioplastik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Bioplastik

| 2      | Pektin (gr) | Karagenan (gr) | Kitosan (%) | Gliserol (ml) | Peppermint Oil (ml) |
|--------|-------------|----------------|-------------|---------------|---------------------|
| P1K0M0 | 1           | 0.8            | 0           | 1,5           | 0                   |
| P1K0M1 | 1           | 0.8            | 0           | 1,5           | 0,5                 |
| P1K0M2 | 1           | 0.8            | 0           | 1,5           | 1                   |
| P1K1M0 | 1           | 0.8            | 1           | 1,5           | 0                   |
| P1K1M1 | 1           | 0.8            | 1           | 1,5           | 0,5                 |
| P1K1M2 | 1           | 0.8            | 1           | 1,5           | 1                   |
| P1K2M0 | 1           | 0.8            | 2           | 1,5           | 0                   |
| P1K2M1 | 1           | 0.8            | 2           | 1,5           | 0,5                 |
| P1K2M2 | 1           | 0.8            | 2           | 1,5           | 1                   |
| P2K0M0 | 2           | 0.8            | 0           | 1,5           | 0                   |
| P2K0M1 | 2           | 0.8            | 0           | 1,5           | 0,5                 |
| P2K0M2 | 2           | 0.8            | 0           | 1,5           | 1                   |
| P2K1M0 | 2           | 0.8            | 1           | 1,5           | 0                   |

| 2      | Pektin<br>(gr) | Karagenan<br>(gr) | Kitosan<br>(%) | Gliserol<br>(ml) | Peppermint<br>Oil (ml) |
|--------|----------------|-------------------|----------------|------------------|------------------------|
| P2K1M1 | 2              | 0.8               | 1              | 1,5              | 0,5                    |
| P2K1M2 | 2              | 0.8               | 1              | 1,5              | 1                      |
| P2K2M0 | 2              | 0.8               | 2              | 1,5              | 0                      |
| P2K2M1 | 2              | 0.8               | 2              | 1,5              | 0,5                    |
| P2K2M2 | 2              | 0.8               | 2              | 1,5              | 1                      |
| P3K0M0 | 3              | 0.8               | 0              | 1,5              | 0                      |
| P3K0M1 | 3              | 0.8               | 0              | 1,5              | 0,5                    |
| P3K0M2 | 3              | 0.8               | 0              | 1,5              | 1                      |
| P3K1M0 | 3              | 0.8               | 1              | 1,5              | 0                      |
| P3K1M1 | 3              | 0.8               | 1              | 1,5              | 0,5                    |
| P3K1M2 | 3              | 0.8               | 1              | 1,5              | 1                      |
| P3K2M0 | 3              | 0.8               | 2              | 1,5              | 0                      |
| P3K2M1 | 3              | 0.8               | 2              | 1,5              | 0,5                    |
| P3K2M2 | 3              | 0.8               | 2              | 1,5              | 1                      |

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi neraca analitik, spatula, gelas ukur, *beaker glass* 500 ml dan 1.000 ml, termometer, batang pengaduk, pipet volumetrik dan bulb, cawan petri, oven, desikator, mikrometer sekrup, serta *Universal Testing Machine*. Bahan yang digunakan mencakup pektin kulit jeruk, karagenan, bubuk kitosan, gliserol, minyak peppermint, asam asetat, dan aquades.

### 2.1 Pembuatan Larutan Kitosan

Tahap pembuatan larutan kitosan mengikuti metode dari penelitian Isnaeni et al. (2022), namun dengan modifikasi pada konsentrasinya. Sebanyak 1 gr dan 2 gr bubuk kitosan dicampur dengan larutan asam asetat 1% yang telah ditambahkan 100 ml aquades. Campuran tersebut diaduk secara merata hingga larutan kitosan menjadi homogen.

### 2.2 Pembuatan Bioplastik

Tahap pembuatan bioplastik mengacu pada penelitian Agustini et al. (2023) dengan modifikasi pada bahan dan konsentrasinya. Pembuatan bioplastik dilakukan dengan mencampurkan pektin jeruk (1 g, 2g, dan 3 g), karagenan 0,8 g, kitosan (1 % dan 2 %), gliserol 1,5 ml, dan peppermint oil (0,5 ml dan 1 ml).

### 2.3 Prosedur Pengujian Karakteristik Bioplastik

#### a. Ketebalan

Ketebalan bioplastik diperoleh dari pengukuran menggunakan mikrometer sekrup dengan ketelitian 0,001 mm pada lima titik yang berbeda, yaitu empat bagian tepi sisi dan satu bagian tengah (Isnaeni et al., 2022). Uji ketebalan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Ketebalan (mm)} = \frac{T1 + T2 + T3 + T4 + T5}{5} \quad (1)$$

#### a. Transparansi

Pengujian transparansi bioplastik dilakukan dengan menggunakan alat *opacity tester Spherical Hazemeter* BS2782 ASTM D1003. Persentase tersebut merupakan besar cahaya yang dapat diteruskan oleh bioplastik (Pakerti & Muryeti, 2021).

#### b. Warna

Pengujian warna dilakukan untuk mengetahui tingkatan warna pada bioplastik menggunakan alat spektrodensitometer. Alat spektrodensitometer akan mengukur nilai LAB (Kurniawan et al., 2019).

#### c. Biodegradasi

Sampel bioplastik 2x2 cm ditimbang untuk mengetahui berat sebelum terjadinya biodegradasi ( $W_o$ ), setelah itu sampel dikubur ke dalam tanah selama 14 hari. Sampel yang

telah dikubur kemudian ditimbang untuk mengetahui berat setelah terdegradasi ( $W_1$ ). Pengurangan berat dihitung dengan persamaan berikut (Kamaluddin et al., 2022):

$$\text{Kehilangan berat (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

**d. Permeabilitas Uap Air (WVTR)**

Silika gel ditimbang sebanyak 2 gr, lalu diletakan ke dalam cawan dan ditutup dengan sampel bioplastik menggunakan plastisin sampai tidak ada celah. Cawan dидiamkan selama 24 jam di dalam desikator, penambahan berat diukur dengan persamaan (Agustini et al., 2023):

$$\text{WVTR} = \frac{W_1 - W_0}{t \times A} \times 24 \quad (3)$$

**e. Kuat Tarik**

Uji kuat tarik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* metode ASTM-D822. Sampel lembaran dipotong dengan ukuran 100 x 15 mm, lalu dijepit pada ujung sampel, kemudian, sampel ditarik hingga putus (Agustini et al., 2023). Perhitungan nilai kuat tarik dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kuat tarik (MPa)} = \frac{F_{maks} (N)}{A (mm^2)} \quad (4)$$

**f. Elongasi**

Uji elongasi dihasilkan dari perubahan panjang sampel bioplastik dari hasil nilai kuat tarik. Perhitungan elongasi dapat dilakukan dengan persamaan berikut (Agustini et al., 2023):

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (5)$$

**g. Elastisitas**

Uji elastisitas adalah perbandingan antara nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik. Perhitungan elastisitas dapat dilakukan dengan persamaan berikut (Kamaluddin et al., 2022):

$$\text{Elastisitas (MPa)} = \frac{\text{Kuat tarik}}{\% \text{Elongasi}} \quad (6)$$

**h. Daya Serap**

Sampel ukuran 2x2 cm ditimbang berat awalnya ( $W_0$ ) dan direndam dalam aquades 15 ml selama 1 menit. Sampel yang telah direndam kemudian dikeringkan dan langsung ditimbang berat akhirnya ( $W_1$ ). Penambahan berat dihitung persamaan berikut (Kamaluddin et al., 2022):

$$\text{Daya serap air (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (7)$$

**i. Kelarutan**

Sampel ukuran 2x2 cm dikeringkan pada oven dengan suhu 50°C selama 30 menit dan ditimbang ( $W_0$ ). Selanjutnya, sampel dilarutkan dalam aquades 10 ml pada suhu ruang. Sampel diangkat dan kembali dikeringkan pada oven dengan suhu 50°C selama 1 jam, setelah itu sampel ditimbang ( $W_1$ ) untuk diukur berat akhirnya. Nilai kelarutan bioplastik dapat diukur menggunakan persamaan berikut (Agustini et al., 2023):

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (8)$$

**j. Kadar Air**

Cawan porselin dimasukkan ke dalam oven selama 30 menit pada suhu 105°C, kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang beratnya (A). Sampel bioplastik sebanyak ±2 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin yang sudah ditimbang (B) dan dikeringkan ke dalam oven selama 3 jam pada suhu 105°C. Sampel yang sudah kering dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang beratnya (C). Nilai kadar air dapat diukur menggunakan persamaan berikut (Nurhabibah & Kusumaningrum, 2021):

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(B - C)}{(B - A)} \times 100\% \quad (9)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini melakukan beberapa uji untuk mengetahui karakterisasi dari bioplastik berbasis pektin kulit jeruk. Pengujian pada bioplastik bertujuan untuk mengetahui sifat fisik, mekanik, kimia, dan optik yang dihasilkan. Hasil dari pengujian akan diuraikan di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Ketebalan, Transparansi, Warna, Biodegradasi, dan WVTR

| Variasi | Ketebalan (mm) | Transparansi (%) | Pengujian Warna |            |            | Biodegradasi (%) | WVTR (g/m <sup>2</sup> /hari) |
|---------|----------------|------------------|-----------------|------------|------------|------------------|-------------------------------|
|         |                |                  | L*              | a*         | b*         |                  |                               |
|         |                |                  | P1K0M0          | 0.203±0.00 | 87.3±2.00  |                  |                               |
| P1K0M1  | 0.18±0.02      | 86.77±1.21       | 75.95±4.55      | -2.11±0.13 | 12.51±2.56 | 71.52±0.23       | 12.27                         |
| P1K0M2  | 0.181±0.03     | 87.5±0.20        | 78.42±2.10      | -2.37±0.31 | 12.61±1.87 | 70.37±0.21       | 21.82                         |
| P1K1M0  | 0.159±0.02     | 87.13±1.80       | 80.85±2.91      | -2.19±0.47 | 12.25±2.38 | 62.04±0.12       | 48.91                         |
| P1K1M1  | 0.213±0.02     | 87.83±0.65       | 80.04±5.03      | -2.19±0.36 | 11.93±2.13 | 64.43±0.07       | 14.27                         |
| P1K1M2  | 0.194±0.02     | 87.07±0.64       | 76.44±1.03      | -2.34±0.12 | 11.83±1.64 | 61.84±0.03       | 2.36                          |
| P1K2M0  | 0.153±0.02     | 86.8±0.10        | 78.36±4.05      | -2.35±0.33 | 15.52±5.39 | 80.91±0.02       | 30.64                         |
| P1K2M1  | 0.191±0.04     | 85.7±2.26        | 74.86±3.12      | -2.44±0.11 | 17±5.49    | 78.15±0.01       | 39.73                         |
| P1K2M2  | 0.204±0.03     | 86.73±2.12       | 81.46±1.69      | -2.63±0.42 | 14.77±3.91 | 62.28±0.05       | 10.82                         |
| P2K0M0  | 0.219±0.03     | 84.9±1.71        | 81.2±2.53       | -2.79±0.63 | 18.21±1.96 | 49.57±0.05       | 24.18                         |
| P2K0M1  | 0.208±0.02     | 84.57±1.63       | 78.87±2.27      | -2.65±0.85 | 23.47±0.31 | 51.34±0.04       | 16.09                         |
| P2K0M2  | 0.205±0.02     | 84.5±1.76        | 81.25±3.16      | -3.4±0.77  | 18.93±3.91 | 36.07±0.11       | 21.00                         |
| P2K1M0  | 0.189±0.03     | 85.27±2.95       | 79.76±2.03      | -3.55±1.00 | 20.55±1.29 | 48.82±0.06       | 21.82                         |
| P2K1M1  | 0.166±0.03     | 85.47±1.37       | 80.09±2.81      | -2.86±0.82 | 19.15±3.33 | 31.58±0.22       | 35.55                         |
| P2K1M2  | 0.208±0.03     | 85.67±3.98       | 81.69±2.36      | -2.99±0.65 | 18.22±4.55 | 31.29±0.28       | 23.00                         |
| P2K2M0  | 0.192±0.01     | 85.27±2.94       | 81.67±1.10      | -2.99±0.58 | 16.42±5.24 | 39.38±0.07       | 23.55                         |
| P2K2M1  | 0.208±0.01     | 86.57±1.75       | 81.32±1.58      | -2.82±0.48 | 14.8±2.88  | 39.28±0.05       | 20                            |
| P2K2M2  | 0.204±0.03     | 88.1±1.31        | 82.65±1.28      | -3.16±0.29 | 14.73±0.73 | 33.65±0.14       | 21                            |
| P3K0M0  | 0.264±0.03     | 83.7±1.21        | 80±4.17         | -3.29±0.46 | 19.93±1.70 | 9.4±0.07         | 26.73                         |
| P3K0M1  | 0.208±0.01     | 83.53±1.76       | 78.97±1.66      | -3.3±0.66  | 19.24±2.20 | 20.68±0.21       | 29.55                         |
| P3K0M2  | 0.242±0.01     | 83.97±1.11       | 81.39±1.32      | -3.94±0.53 | 19.8±2.89  | 21.85±0.20       | 23.36                         |
| P3K1M0  | 0.253±0.06     | 83.9±2.10        | 82.68±1.59      | -3.48±0.82 | 16.06±1.13 | 11.69±0.08       | 24.73                         |
| P3K1M1  | 0.274±0        | 84.4±1.35        | 81.37±1.56      | -3.5±1.43  | 22.43±6.23 | 10.32±0.07       | 31.00                         |
| P3K1M2  | 0.266±0.02     | 84.77±3.73       | 83.09±1.96      | -3.41±1.18 | 19.27±5.53 | 25.08±0.06       | 42.36                         |
| P3K2M0  | 0.251±0.01     | 84.67±1.87       | 81.55±3.28      | -3.64±0.85 | 16.57±2.15 | 8.21±0.03        | 47.82                         |
| P3K2M1  | 0.261±0.04     | 85.13±1.15       | 83.33±1.82      | -3.9±1.49  | 19.07±3.03 | 42.81±0.04       | 35.73                         |
| P3K2M2  | 0.259±0.01     | 84.27±3.07       | 82.98±1.18      | -3.22±1.01 | 19.61±6.33 | 32.24±0.26       | 14.64                         |

#### Hasil Uji Ketebalan

Pada Tabel 1. nilai ketebalan bioplastik dalam penelitian ini berkisar antara 0,153 - 0,274 mm, menunjukkan bahwa beberapa sampel belum memenuhi persyaratan *Japanese Industrial Standard (JIS)*, terutama bioplastik dengan konsentrasi 3 gram, di mana ketebalan bioplastik yang baik seharusnya  $\leq 0,25$  mm (Brilianti et al., 2023). Data yang diperoleh menunjukkan bahwa ketebalan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah pektin yang digunakan. Hal ini terjadi karena semakin banyak padatan terlarut yang digunakan dalam bioplastik, sehingga bioplastik yang dihasilkan menjadi lebih tebal (Brilianti et al., 2023). Namun, hal ini berbeda pada bioplastik dengan konsentrasi P1K2M0, P2K1M1, dan P3K0M1 yang menunjukkan penurunan ketebalan. Diduga, hal ini terjadi karena proses pencetakan larutan bioplastik secara manual pada cawan petri mengakibatkan permukaan yang tidak rata. Selain itu, sifat larutan bioplastik yang kental dan cepat mengeras juga menyebabkan ketebalan tidak merata di beberapa bagian (Maryuni et al., 2018). Penelitian ini memiliki nilai ketebalan yang lebih tinggi dibanding penelitian sebelumnya menghasilkan nilai ketebalan bioplastik 0,1065-0,1765 mm (Ni'mah et al., 2023). Hasil analisis variansi ANOVA menunjukkan bahwa variabel pektin memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai ketebalan yang ditunjukkan dengan nilai sig.<0,05 yaitu 0,000.

#### Hasil Uji Transparansi

Hasil pengujian transparansi penelitian ini berada pada rentang 83,53%-88,10%. Penggunaan pektin akan memengaruhi nilai transparansi karena semakin banyak pektin yang digunakan maka semakin turun nilai transparansinya (Warkoyo et al., 2014). Penambahan pektin

dapat menurunkan nilai transparansi sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Permata, 2023. Pada penelitian sebelumnya didapatkan nilai transparansi berada pada rentang 85,83% - 87,97% (Permata, 2023). Nilai transparansi penelitian sebelumnya lebih rendah dibanding nilai transparansi penelitian ini sebesar 88,10%. Hasil analisis variansi ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan tunggal variabel pektin memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai transparansi yang ditunjukkan dengan nilai sig.<0,05 yaitu <0,001.

### Hasil Uji Warna

Hasil pengujian warna menunjukkan tingkat kecerahan atau nilai L\* sebesar 74,86 - 83,33 yang bernilai mendekati 100 sehingga setiap sampel memiliki warna yang terang. Tingkat kecerahan bertambah seiring dengan penambahan konsentrasi pektin pada pembuatan bioplastik. Pada Gambar 11 (b) menunjukkan nilai a\* pada bioplastik bernilai negatif, hal ini menandakan bioplastik yang dihasilkan berwarna kehijauan. Nilai a\* sebesar -3,94 hingga -2,11. Pada Gambar 11 (c) menunjukkan nilai b\* sebesar 11,83 – 23,47 bernilai positif, hal ini menandakan bioplastik yang dihasilkan berwarna kekuningan. Hasil analisis variansi ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan tunggal variabel pektin dan kitosan memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai *luminance* atau L\* yang ditunjukkan dengan nilai sig.<0,05 yaitu <0,001. Sedangkan nilai a\* dan b\* hanya dipengaruhi secara signifikan oleh penggunaan tunggal variasi pektin dengan nilai sig.<0,05 yaitu <0,001.

### Hasil Uji Biodegradasi

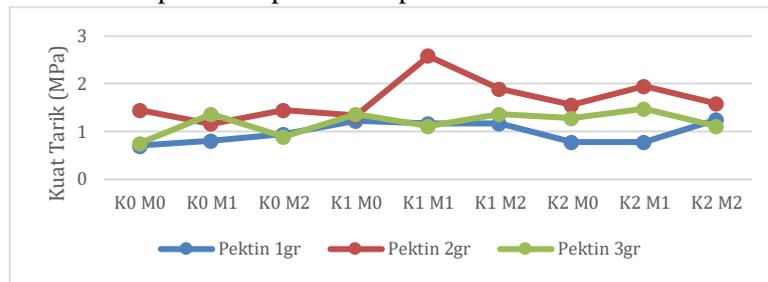
Nilai degradasi yang dihasilkan pada penelitian ini berada pada rentang 8,21% - 80,91%. Penggunaan pektin kulit jeruk pada pengujian degradasi mempengaruhi tingkat degradasi bioplastik yang dihasilkan, terbukti pada pembuatan bioplastik dengan pektin 1 g menghasilkan nilai degradasi yang lebih tinggi dibanding dengan penggunaan pektin 2 g dan 3 g. Hal ini terjadi karena adanya kandungan senyawa *limonene* pada kulit jeruk sehingga berfungsi sebagai agen pengurai bioplastik dalam tanah (Marlina et al., 2021). Penelitian ini bertentangan dengan pendapat penelitian sebelumnya, mengatakan semakin besar konsentrasi pektin kulit jeruk ditambahkan maka semakin cepat bioplastik terdegradasi dalam tanah (Marlina et al., 2021). Hal tersebut tidak terbukti pada penelitian ini karena semakin besar penggunaan pektin maka nilai degradasi yang dihasilkan semakin kecil sehingga bioplastik terdegradasi semakin lama. Pengujian sebelumnya melakukan pengujian degradasi pada bioplastik dari bahan pati singkong dan tandan pisang selama 15 hari. Hasil yang didapat menunjukkan nilai degradasi berkisar antara 29,81% hingga 50,6% (Saputri et al., 2024). Jika dibandingkan dengan penelitian ini menghasilkan nilai degradasi yang lebih tinggi karena penelitian ini mampu menghasilkan nilai degradasi sampai 80,91% dalam waktu 14 hari. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan tunggal variabel pektin memberikan pengaruh terhadap nilai biodegradasi yang ditunjukkan dengan nilai sig. *p-value*  $0,000 < \alpha; 0,05$ .

### Hasil Uji Permeabilitas Uap Air (WVTR)

Hasil permeabilitas uap air berada pada rentang 2,36- 48,91 g/m<sup>2</sup>/hari. Hasil uji permeabilitas uap air pada penelitian ini hanya kandungan bioplastik P1K1M2 sebesar 2,36 g/m<sup>2</sup>/hari yang memenuhi ketetapan nilai laju permeabilitas uap air menurut *Japanesse International Standard* (JIS) yaitu sebesar <10 g/m<sup>2</sup>/hari (Dewi et al., 2021). Pada komposisi pembuatan bioplastik yang lain didapatkan nilai permeabilitas uap air yang lebih besar dari ketentuan menurut JIS. Hal tersebut disebabkan oleh suhu pengeringan dan kondisi fisik dari bioplastik. Suhu pengeringan yang terlalu tinggi menyebabkan adanya lubang dan ketebalan yang tidak merata pada bioplastik (Zuchrillah et al., 2020). Penelitian sebelumnya menggunakan pati jagung dan alga hijau menghasilkan laju permeabilitas uap air sebesar 0,84 sampai 1,18 g/m<sup>2</sup>/hari (Agustini et al., 2023). Dibandingkan penelitian ini hasil permeabilitas yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi. Hasil analisis variansi ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan variabel penggunaan pektin, dan kitosan, dan *peppermint oil* tidak memberikan pengaruh terhadap nilai permeabilitas uap air yang ditunjukkan dengan nilai sig.>  $\alpha; 0,05$  sebesar 0,464; 0,951; dan 0,604.

### Hasil Uji Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat tarik bioplastik dapat dilihat pada Gambar 1.

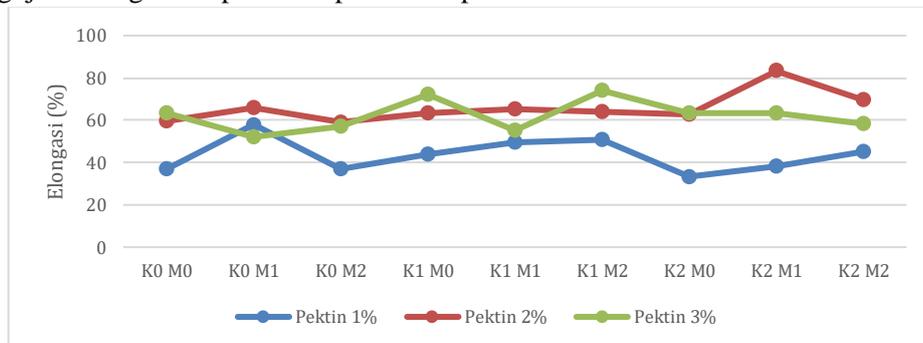


Gambar 1. Grafik Hasil Uji Kuat Tarik

Nilai kuat tarik dalam penelitian ini berkisar antara 2,58 MPa hingga 0,71 MPa. Nilai ini meningkat saat pektin ditambahkan sebesar 2 g, tetapi menurun ketika jumlah pektin ditingkatkan menjadi 3 g. Penurunan ini terjadi karena penggunaan pektin yang berlebihan dalam matriks biopolimer menyebabkan kejenuhan pada ikatan tarik antar bahan, sehingga mengurangi kekuatannya (Muryeti et al., 2021). Hal yang sama ada pada penelitian sebelumnya, penambahan 1,2 g tapioka meningkatkan kuat tarik menjadi 8,22 MPa, namun penambahan 1,8 g dan 2,4 g tapioka menurunkan kuat tarik menjadi 7,62 MPa dan 1,86 MPa (Muryeti et al., 2021). Nilai kuat tarik dari 27 variasi bioplastik dalam penelitian ini masih berada di bawah standar yang ditetapkan oleh *Japanese Industrial Standard (JIS)*, yaitu >3,92 MPa (Brilianti et al., 2023). Beberapa faktor mempengaruhi ketidakesuaian ini, salah satunya adalah penggunaan pektin yang berlebihan dalam pembuatan bioplastik, yang dapat menurunkan nilai kuat tarik. Selain itu, homogenitas bioplastik juga memengaruhi hasil. Semakin homogen komponen penyusunnya, semakin rapat lapisan yang terbentuk, pada akan akhirnya meningkatkan nilai kuat tarik (Lestari et al., 2022). Hasil analisis variansi ANOVA menunjukkan bahwa variabel pektin dan kitosan memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kuat tarik yang ditunjukkan dengan nilai sig.<0,05 yaitu 0,000 dan 0,013.

### Hasil Uji Elongasi

Hasil pengujian elongasi bioplastik dapat dilihat pada Gambar 2.

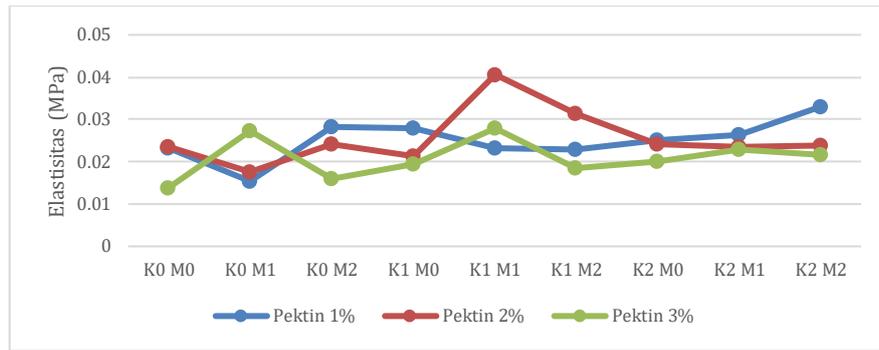


Gambar 2. Grafik Hasil Uji Elongasi

Nilai elongasi tarik pada penelitian ini berada pada rentang 33,33% - 82,23%. Penelitian ini memiliki nilai elongasi yang lebih tinggi dibanding penelitian sebelumnya menghasilkan nilai elongasi bioplastik 3,474% -19,285% dari spirulina dan gliserol (Ni'mah et al., 2023) dan 1,402% -13,317% dari pektin kulit pisang, kitosan, dan gliserol (Saleh & Utami, 2023). Hasil analisis variansi ANOVA menunjukkan bahwa variabel pektin dan kitosan memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai elongasi yang ditunjukkan dengan nilai sig.<0,05 yaitu 0,000 dan 0,007.

### Hasil Uji Elastisitas

Hasil pengujian elastisitas bioplastik dapat dilihat pada Gambar 3.

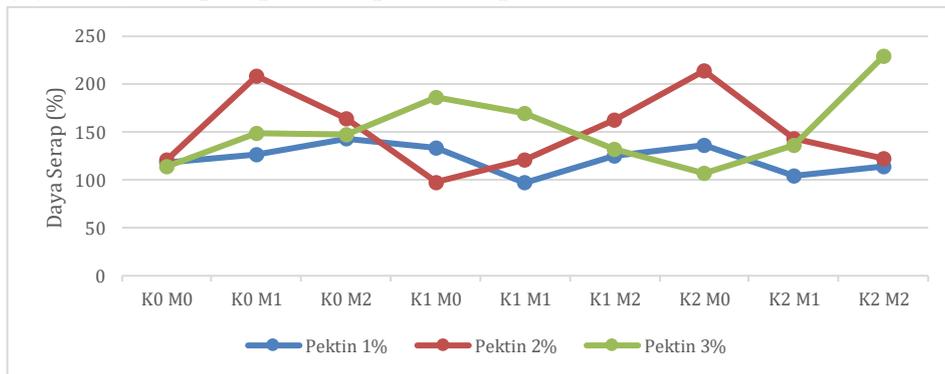


Gambar 3. Grafik Hasil Uji Elastisitas

Nilai elastisitas pada penelitian ini berada pada rentang 0,0139 MPa - 0,0406 MPa. Semakin tinggi nilai elastisitas maka sifat bioplastik semakin kaku dan dan rapuh (Jorge et al., 2023). Penelitian ini memiliki nilai elastisitas yang lebih rendah dibanding penelitian sebelumnya menghasilkan nilai elastisitas bioplastik 0,133-0,288 MPa dari variasi kitosan dan sorbitol (Gustiyani & Muryeti, 2023) dan pada pembuatan bioplastik dengan pati biji alpukat, kitosan, dan sorbitol menghasilkan nilai elastisitas terbaik sebesar 0,130 MPa (Afif et al., 2018). Hasil analisis variansi ANOVA menunjukkan bahwa variabel pektin, kitosan, dan *peppermint oil* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai elongasi yang ditunjukkan dengan nilai sig.>0,05, yaitu 0,223, 0,242 dan 0,576.

### Hasil Uji Daya Serap

Hasil pengujian daya serap bioplastik dapat dilihat pada Gambar 4.

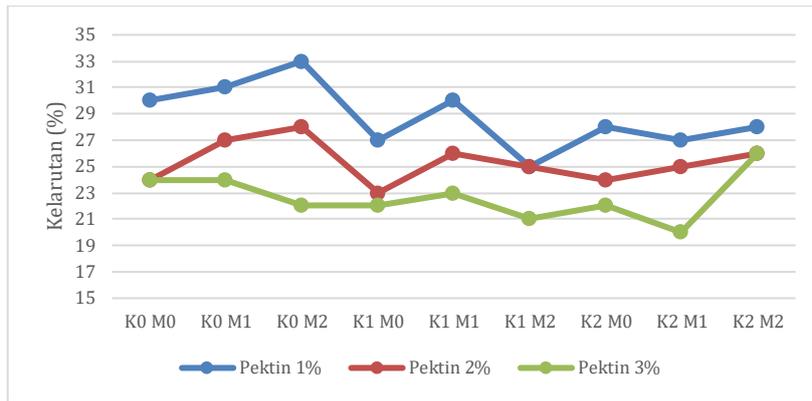


Gambar 4. Grafik Hasil Uji Daya Serap

Hasil pengujian daya serap bioplastik berada pada rentang 97% - 229%. Tingginya kemampuan bioplastik untuk menyerap air akan membuat kualitas bioplastik semakin rendah karena berkaitan dengan umur simpan selama penyimpanan (Afif et al., 2018). Penelitian sebelumnya menghasilkan nilai daya serap lebih tinggi dengan bahan pati, kitosan, dan sorbitol menghasilkan daya serap terbaik sebesar 120,86% (Afif et al., 2018). Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan konsentrasi pektin, kitosan, dan *peppermint oil* tidak berpengaruh terhadap nilai daya serap bioplastik, hal ini dinyatakan dengan nilai sig.  $p\text{-value} > \alpha; 0,05$  yaitu sebesar 0,113, 0,838, dan 0,724.

### Hasil Uji Kelarutan

Hasil pengujian kelarutan bioplastik dapat dilihat pada Gambar 5.

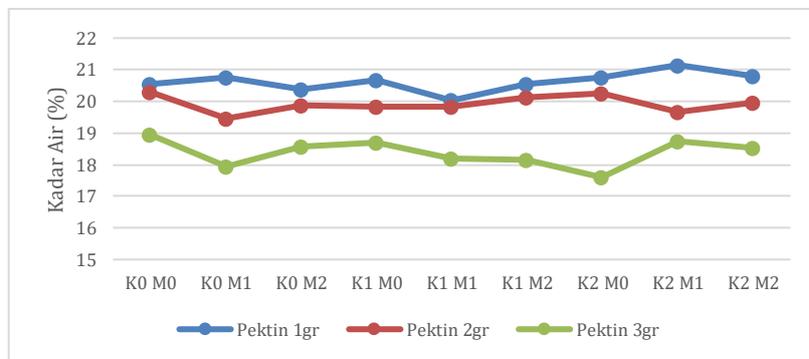


Gambar 5. Grafik Hasil Uji Kelarutan

Nilai kelarutan bioplastik pada penelitian ini berada pada rentang 20% - 33%. Nilai kelarutan pada penelitian ini menurun ketika dilakukan penambahan konsentrasi pektin. Hal ini karena semakin banyak konsentrasi pektin yang digunakan, semakin banyak pula air yang akan diserap sehingga nilai kelarutan yang dihasilkan semakin kecil. Nilai kelarutan bergantung pada penggunaan pektin dalam pembuatan bioplastik. Pektin dapat larut dalam air karena mengandung metoksil yang dapat menentukan mudah atau tidaknya membentuk gel (Husni et al., 2021). Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa variabel penggunaan tunggal pektin dan kitosan memberikan pengaruh terhadap nilai kelarutan yang ditunjukkan dengan nilai sig.  $p$ -value 0,000;  $0,045 < \alpha$ ; 0,05.

### Hasil Uji Kadar Air

Hasil pengujian kadar air bioplastik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Kadar Air

Nilai kadar air pada penelitian ini berada pada rentang 17,6% - 21,15%. Nilai kadar air yang dihasilkan akan menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi pektin dalam proses pembuatan bioplastik. Hal ini dikarenakan bioplastik memiliki lebih sedikit air bebas karena tingginya konsentrasi pektin, sehingga akan membentuk ikatan hidrogen yang kuat dengan molekul air. Penggunaan pektin yang tinggi akan meningkatkan jumlah polimer dan viskositas yang menyusun matriks bioplastik, semakin besar konsentrasi penyusun bioplastik akan meningkatkan jumlah padatan, sehingga jumlah air dalam bioplastik akan lebih sedikit (Nurdiani et al., 2019). Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan tunggal variabel pektin memberikan pengaruh terhadap nilai kadar air yang ditunjukkan dengan nilai sig.  $p$ -value  $0,000 < \alpha$ ; 0,05.

Penelitian bioplastik dari bahan pektin, kitosan dan karagenan mempengaruhi sifat bioplastik yang dihasilkannya. Perlu dilakukan penelitian untuk aplikasinya sebagai kemasan pangan.

#### 4. KESIMPULAN

Komposisi optimal penelitian ini berada pada penggunaan pektin 2 gr, kitosan 1%, dan *peppermint oil* 1 ml yang memiliki nilai ketebalan 0,208 mm, nilai kuat tarik 1,89 MPa, nilai elongasi 63,69%, nilai elastisitas 0,0313 MPa, nilai daya serap 163%, nilai kelarutan 25%, nilai kadar air 20,13%, nilai degradasi 31,28%, nilai permeabilitas uap air 23 g/m<sup>2</sup>/hari, nilai transparansi 85,67%, serta nilai warna meliputi nilai L\* 81,69, nilai a\* -2,99, dan nilai b\* 18,22. Penggunaan pektin memberikan pengaruh pada sifat ketebalan, kuat tarik, elongasi, kelarutan, kadar air, biodegradasi, transparansi, dan warna. Penggunaan kitosan memberikan pengaruh pada sifat kuat tarik, kelarutan, dan warna (L\*). Sementara penggunaan *peppermint oil* tidak memberikan pengaruh terhadap sifat bioplastik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M., Wijayati, N., & Mursiti, S. (2018). Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 102–109. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Agustini, N. W. S., Kusmiati, K., Admirasari, R., Nurcahyanto, D. A., Hidhayati, N., Apriastini, M., Afiati, F., Priadi, D., Fitriani, B. M., Adalina, Y., & Ahmad, R. Z. (2023). Characterization of corn-starch edible film with the addition of microalgae extract *Chlorella vulgaris* as an antioxidant applied to dodol (glutinous-rice cake) products. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100511>
- Behera, L., Mohanta, M., & Thirugnanam, A. (2022). Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application. *Environmental Technology and Innovation*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102180>
- Brilianti, K. F., Ridlo, A., & Sedjati, S. (2023). Sifat Mekanik dan Ketebalan Bioplastik dari *Kappaphycus alvarezii* Menggunakan Variasi Konsentrasi Amilum dengan Pemplastis Gliserol. *Journal of Marine Research*, 12(1), 95–102. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.34169>
- Dewi, R., Rahmi, & Narsun. (2021). Perbaikan Sifat Mekanik Dan Laju Transmisi Uap Air Edible Film Bioplastik Menggunakan Minyak Sawit Dan Plasticizer Gliserol Berbasis Pati Sagu. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 10(1), 61–77. <https://doi.org/https://doi.org/10.29103/jtku.v10i1.4177>
- Gustiyani, G., & Muryeti, M. (2023). Pembuatan Edible Film Dari Pati Tapioka dan Pektin Dari Kulit Jeruk Manis (*Citrus Sinensis*) Dengan Penambahan Plasticizer Sorbitol dan Kitosan. *Journal Printing and Packaging Technology*, 3(1), 10–20. <https://doi.org/10.32722/printpack.v3i1>
- Husni, P., Ikhrom, U. K., & Hasanah, U. (2021). Uji dan Karakterisasi Serbuk Pektin dari Albedo Durian sebagai Kandidat Eksipien Farmasi. *Majalah Farmasetika*, 6(3), 202. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i3.33349>
- Isnaeni, R., Fitri, A., Nurandini, D., Tirtana, A., & Prayitno, M. Z. (2022). Characteristics Of Edible Film (Layer By Layer) From Carrageenan-Chitosan With The Addition Of Belimbing Wuluh Leaf Extract As Antioxidant Substance. *Konversi*, 11(1). <https://doi.org/10.20527/k.v11i1.13081>
- Jorge, A. M. S., Gaspar, M. C., Henriques, M. H. F., & Braga, M. E. M. (2023). Edible Films Produced From Agrifood By-Products And Wastes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103442>
- Kamaluddin, M. A., Maryono, M., Hasri, H., Genisa, M. U., & Rizal, H. P. (2022). Pengaruh Penambahan Plasticizer Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Selulosa Limbah Kertas. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 7(2), 197–208. <http://dx.doi.org/10.23960%2Faec.v7i02.2022.p197-208Anal.Enviro.Chem>
- Khotimah, K., Ridlo, A., & Suryono, C. A. (2022). Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik Komposit dari Alginat dan Karagenan. *Journal of Marine Research*, 11(3), 409–419. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i3.33865>

- Kurniawan, Y. S., Adhiwibawa, M. A. S., Setiyono, E., Fahmi, M. R. G., & Lintang, H. O. (2019). Statistical Analysis for Evaluating Natural Yellow Coloring Agents from Peel of Local Fruits in Malang: Mangosteen, Honey Pineapple and Red Dragon Fruits. *Indonesian Journal of Natural Pigments*, 1(2), 49. <https://doi.org/10.33479/ijnp.2019.01.2.49>
- Lestari, B. R. A., Rohmah, N. W., & Pujiastuti, C. (2022). Kajian Pembuatan Edible Film Dari Pati Uwi Dengan Penambahan Kitosan Dan Gliserol. *Journal of Chemical and Process Engineering ChemPro*, 3(1), 38–44. [www.chempro.upnjatim.ac.id](http://www.chempro.upnjatim.ac.id)
- Lugo, E. P., Martínez-Castillo, J. I., Cuevas-Bernardino, J. C., González-Flores, T., Valdez-Ojeda, R., Pacheco, N., & Ayora-Talavera, T. (2019). Citrus pectin obtained by ultrasound-assisted extraction: Physicochemical, structural, rheological and functional properties. *CYTA - Journal of Food*, 17(1), 463–471. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1600036>
- Marlina, R., Kusumah, S. S., Sumantri, Y., Syarbini, A., Cahyaningtyas, A. A., & Ismadi, I. (2021). Karakterisasi Komposit Biodegradable Foam Dari Limbah Serat Kertas Dan Kulit Jeruk Untuk Aplikasi Kemasan Pangan. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 43(1), 1. <https://doi.org/10.24817/jkk.v43i1.6765>
- Maryuni, A. T., Mangiwa, S., & Dewi, W. K. (2018). Karakterisasi Bioplastik Dari Karaginan Dari Rumput Laut Merah Asal Kabupaten Biak Yang Dibuat Dengan Metode Blending Menggunakan Pemlastis Sorbitol. *AVOGADRO Jurnal Kimia*, 2(1), 1–9.
- Muryeti, Ningtyas, R., Nugroho, H., & Sabrina, A. (2021). Mechanical properties of edible film from Tanduk Banana (*Musa corniculata* Rumph) peels for food packaging. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1011(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1011/1/012060>
- Naurah, A., Azhar, H., Pambudi, T. S., Yurohman, Y., & Riswoko, A. (2024). Eksplorasi Material Bioplastik dari Limbah Kulit Jeruk untuk Perancangan Produk Tas Belanja. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 8(1), 89. <https://doi.org/10.30595/jrst.v8i1.18291>
- Ni'mah, K. P., Hakim, M. F., Julia Putri, L. D., & Rahmawati, F. (2023). The Influence of Adding Glycerol and Spirulina on The Characteristics of Starch-Based Bioplastics Film from Potato Peel Waste. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 11(6), 810. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v11i6.9549>
- Nurdiani, R., Yufidasari, H. S., & Sherani Joys Sandralina. (2019). Karakteristik Edible Film Dari Gelatin Kulit Ikan Kakap Merah (*Lutjanus argentimaculatus*) Dengan Penambahan Pektin. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(1), 174–186.
- Nurhabibah, S. A., & Kusumaningrum, W. B. (2021). Karakterisasi Bioplastik Dari K-Karagenan *Eucheuma Cottonii* Terplastisasi Berpenguat Nanoselulosa. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 43(2), 82–94. <https://doi.org/10.24817/jkk.v42i2.6808>
- Pakerti, H. L., & Muryeti, M. (2021). Karakteristik Plastik Biodegradable Dari Pati Ubi Jalar Dengan Variasi Kitosan. *Journal Printing and Packaging Technology*, 2(1), 38–47.
- Permata, H. (2023). *Bioplastik Dari Pektin Kulit Jeruk Manis (Citrus Sp.) Dengan Penambahan Karagenan, Kitosan Dan Gliserol*.
- Pujawati, D., Hartiati, A., & Suwariani, N. P. (2021). Karakteristik Komposit Bioplastik Pati Ubi Talas-Karagenan pada Variasi Suhu dan Waktu Gelatinisasi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 277–287. <https://doi.org/https://doi.org/10.24843/JRMA.2021.v09.i03.p02>
- Putri, W. D. R., Nasution, A. T., Tiffani, M. H., & Wardana, A. (2021). Optimasi Konsentrasi Pelarut Dan Waktu Ekstraksi Pektin Kulit Jeruk Manis (*Citrus Sinensis*) Dengan Metode Maserasi. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 22(1), 47–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2021.022.01.5>
- Ramadhani, A. A., & Firdhausi, N. F. (2021). Potensi Limbah Sisik Ikan Sebagai Kitosan dalam Pembuatan Bioplastik. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi*, 6(2), 90. <https://doi.org/10.36722/sst.v6i2.782>

- Rosida, D. F., Hapsari, N., & Dewati, R. (2021). *Edible Coating dan Film dari Biopolimer Bahan Alami Terbarukan*. Mitra Abisatya.
- Saleh, E. R. M., & Utami, S. (2023). Characteristics of Biodegradable Plastic from Mulu Bebe Banana Peel Starch with The Addition of Chitosan and Glycerol Plasticizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1177(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1177/1/012047>
- Saputri, C. A., Julyatmojo, F. A., Harmiansyah, Febrina, M., Mahardika, M., & Maulana, S. (2024). Characteristics of Bioplastics Prepared from Cassava Starch Reinforced with Banana Bunch Cellulose at Various Concentrations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1309(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1309/1/012006>
- Sasria, N., Asrilyah, A., Lubis, M. P. D., Zulfikar, A., & Tanjung, R. A. (2020). Sintesis dan karakterisasi plastik biodegradable berbasis pati nasi aking dan kitosan cangkang udang. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(2), 231. <https://doi.org/10.36055/tjst.v16i2.8700>
- 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>
- Valdés, A., Ramos, M., Beltrán, A., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2017). State of The Art of Antimicrobial Edible Coatings for Food Packaging Applications. In *Coatings* (Vol. 7, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/coatings7040056>
- Vuppaladadiyam, S. S. V., Vuppaladadiyam, A. K., Sahoo, A., Urgunde, A., Murugavelh, S., Šrámek, V., Pohořelý, M., Trakal, L., Bhattacharya, S., Sarmah, A. K., Shah, K., & Pant, K. K. (2023). Waste to energy: Trending key challenges and current technologies in waste plastic management. *Science of The Total Environment*, 169436. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169436>
- Warkoyo, Rahardjo, B., Marseno, D. W., & Karyadi, J. N. W. (2014). Sifat Fisik, Mekanik dan Barrier Edible Film Berbasis Pati Umbi Kimpul (*Xanthosoma Sagittifolium*) yang Diinkorporasi dengan Kalium Sorbat. *AGRITECH*, 34(1).
- Zuchrillah, D. R., Pudjiastuti, L., Puspita, N. F., Hamzah, A., Karisma, A. D., Surono, A., Altway, S., Ardiani, L., Rohmah, N. A., & Ningrum, E. O. (2020). Characteristic of Edible Film Biocomposites from mixed Chitosan and Pectin Saba Banana (*Musa acuminata*) Peel Waste. *CHEESA*, 3(1), 33. <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>