

**PENGEMBANGAN *SMART PACKAGING BIODEGREDAABLE*
BERBASIS PATI SINGKONG DENGAN *PLASTICIZER*
GLISEROL DAN INDIKATOR ANTOSIANIN DARI BUNGA
TELANG**

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pasundan**

**Oleh :
MECCA WIRAYUDHA ALRASYID
NPM : 213020062**



**JURUSAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN *SMART PACKAGING BIODEGREDABLE* BERBASIS PATI SINGKONG DENGAN *PLASTICIZER* GLISEROL DAN INDIKATOR ANTOSIANIN DARI BUNGA TELANG

Oleh

Mecca Wirayudha Alrasyid

NPM : 213020062

(Program Studi Teknologi Pangan)

Tujuan penelitian ini untuk mengembangkan *smart packaging* berbasis bioplastik dari pati singkong dengan penambahan ekstrak antosianin dari bunga telang (*Clitoria ternatea*) sebagai indikator alami yang responsif terhadap perubahan suhu dan pH. Ekstrak diperoleh melalui metode maserasi dan ultrasonik, lalu diformulasikan ke dalam bioplastik dengan variasi konsentrasi 0–4%. Gliserol digunakan sebagai *plasticizer* dan nanosilika ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekanik dan kestabilan *film*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam respon uji kuat tarik didapatkan pada konsentrasi ekstrak bunga telang 2% memiliki kuat tarik sebesar 0,85 MPa, pada respon elongasi dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 2% sebesar 136,2%, pada respon uji *swelling* dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 2% sebesar 44%, pada respon sudut kontak dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 2% sebesar 48,43°, pada *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 2% sebesar 29,15 g/m²/hari, pada uji *Differential Scanning Calometry* (DSC) dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 2% memiliki kisaran suhu transisi gelas sebesar 117,0°C.

Formulasi dengan penambahan 2% ekstrak bunga telang memberikan respon warna yang jelas terhadap penurunan pH akibat aktivitas mikroorganisme selama penyimpanan daging ayam. Formulasi ini juga mampu menekan pertumbuhan mikroba, dengan nilai TPC sebesar $6,90 \times 10^{-3}$ CFU/g pada hari ke-7, serta menunjukkan sifat mekanik dan visual yang memadai. *Film* bioplastik juga terbukti bersifat biodegradable. Inovasi ini berpotensi menjadi solusi pengemasan cerdas berbasis bahan lokal yang ramah lingkungan dan mampu memberikan informasi visual terhadap kesegaran produk pangan secara *real-time*.

Kata kunci: *smart packaging*, pati singkong, bunga telang, antosianin, indikator pH, bioplastik.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF BIODEGREDAABLE SMART PACKAGING BASED ON CASSAVA STARCH WITH GLYCEROL PLASTICIZER AND ANTHOCYANIN INDICATOR FROM BUTTERFLY PEA FLOWER

By

Mecca Wirayudha Alrasyid

NPM: 213020062

(Department of Food Technology)

The purpose of this study is to develop a bioplastic-based smart packaging from cassava starch with the addition of anthocyanin extract from the clitoria ternatea flower as a natural indicator that is responsive to changes in temperature and pH. The extract is obtained by maseration and ultrasonic methods, and then formulated into bioplastics with a concentration variation of 0-4%. Glycerol is used as a plasticizer and nanosilicates are added to enhance the mechanical properties and stability of the film.

The results of the study showed that in the tensile strength test response obtained at a 2% concentration of wildflower extract had a tensile strength of 0,85 MPa, in the elongation test response with the addition of a 2% concentration of wildflower extract of 136,2%, in the swelling test response with the addition of a 2% concentration of wildflower extract of 44%, in the contact angle response with the addition of a 2% concentration of wildflower extract of 48,43°, in the Water Vapour Transmission Rate (WVTR) with the addition of a 2% concentration of wildflower extract of 29,15 g/m²/day, in the Differential Scanning Calometry (DSC) test with the addition of a 2% concentration of wildflower extract had a glass transition temperature range of 117,0°C.

The formulation with the addition of 2% of the bay leaf extract provides a clear color response to the pH drop due to the activity of microorganisms during the storage of chicken meat. The formulation was also able to suppress microbial growth, with a TPC value of $6,90 \times 10^{-3}$ CFU/g on day 7, as well as showing adequate mechanical and visual properties. Bioplastic films have also been shown to be biodegradable. This innovation has the potential to be a smart packaging solution based on local ingredients that is environmentally friendly and capable of providing real-time visual information on the freshness of food products.

Keywords: *smart packaging, cassava starch, butterfly pea flower, anthocyanin, pH indicator, bioplastic.*

**PENGEMBANGAN *SMART PACKAGING BIODEGREDAABLE*
BERBASIS PATI SINGKONG DENGAN *PLASTICIZER*
GLISEROL DAN INDIKATOR ANTOSIANIN DARI BUNGA
TELANG**

Oleh
MECCA WIRAYUDHA ALRASYID
NPM: 213020062
(Program Studi Teknologi Pangan)

Fakultas Teknik
Universitas Pasundan

Menyetujui
Tim Pembimbing

Tanggal, 8 September 2025

Ketua



(Jaka Rukmana, S.T., M.T)

Anggota



(Dr. Rossy Choerun Nissa, S.T., M.Biotek)

**PENGEMBANGAN *SMART PACKAGING BIODEGREDABLE*
BERBASIS PATI SINGKONG DENGAN *PLASTICIZER*
GLISEROL DAN INDIKATOR ANTOSIANIN DARI BUNGA
TELANG**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pasundan**

**Oleh
MECCA WIRAYUDHA ALRASYID
NPM: 213020062
(Program Studi Teknologi Pangan)**

Menyetujui :

**Koordinator Pembelajaran dan Kemahasiswaan
Program Studi Teknologi Pangan**

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'R' with a horizontal line crossing it, and a long horizontal stroke at the bottom.

(Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T.)

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Fakultas dan Universitas, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Pasundan. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Alrasyid, M. W. (2025). Pengembangan *Smart packaging Biodegradable* Berbasis Pati Singkong dengan *Plasticizer* Gliserol dan Indikator Antosianin Dari Bunga Telang. Tugas Akhir Program Sarjana, Universitas Pasundan.

dan dalam bahasa inggris sebagai berikut:

Alrasyid, M. W. (2025). *Development of Biodegradable Smart packaging Based on Cassava Strach with Glycerol Plasticizer and Anthocyanin Indicator from Butterfly Pea Flower. Bachelor's Thesis, Pasundan University.*

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan Judul **“PENGEMBANGAN *SMART PACKAGING BIODEGREDALE* BERBASIS PATI SINGKONG DENGAN *PLASTICIZER GLISEROL* DAN INDIKATOR ANTOSIANIN DARI BUNGA TELANG”**. Penulis Laporan Tugas Akhir ini merupakan program sarjana di Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan.

Penulisan Laporan Tugas akhir ini dapat diselesaikan atas bantuan doa dan dukungan motivasi baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak, oleh sebab itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. A.H. Dawam Abdullah, M.T. selaku Kepala Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk yang telah memberikan izin serta bantuannya kepada penulis dalam melaksanakan penelitian.
2. Jaka Rukmana, S.T., M.T., selaku Ketua Program studi Teknologi Pangan, Universitas Pasundan, Bandung dan Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktunya dan mengerahkan penulis dalam Pembuatan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Rossy Choerun Nissa, S.T., M.Biotek, selaku Pembimbing Lapangan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah membimbing serta memberikan pengarahan dalam melakukan penyusunan laporan tugas akhir.
4. Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T., selaku Koordinator Akademik, Tugas Akhir dan Kerja Praktek dan Kemahasiswaan Program studi Teknologi Pangan, Universitas Pasundan, Bandung.
5. Dr. Ira Endah Rohima, S.T., M.Si., selaku Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir.
6. Dosen beserta segenap civitas akademik di lingkup Jurusan Teknologi Pangan, Universitas Pasundan, Bandung.
7. Ayah saya Yusan Harun Alrasyid, ibu saya Arnis Abdullah Idris, dan Kaka-

kaka saya Medina Endah Paradista dan Kirana Maulidya, dan keluarga saya yang lain, yang selalu mendoakan dan mendukung saya dalam hal material dan moril, serta semangat dan kasih sayang yang tak pernah padam,

8. Kepada Rizky Akbar, Rifan Maulana, Galuh Garda Rani Mardani, Merry Sofia, dan Shahnaz Naurelia Idhna Qhaleed selaku teman, sahabat dan penyemangat bagi penulis.
9. Kepada Adnya, Aulia dan Mega selaku teman seperjuangan di laboratorium *workshop* Brin yang telah membantu dan menyemangati bagi penulis.
10. Kepada Sri Febby, Fara el Diba, Aisyah Syahirah, Erik Aprilyansyah, Rivaldy Titen, Fakhri Marsa, dan Arief Muhaemin selaku sahabat dan penyemangat bagi penulis.
11. Kepada Delvy Heria Maulani, Aji Hasan, Rizqan Karima Mulia dan Nyssa Anindya Putri selaku sahabat yang telah membantu dan menyemangati bagi penulis.
12. Teman-teman *Rice n Shine* angkatan 21 selaku teman perjuangan yang telah menyemangati bagi penulis.
13. Departemen Minat dan Bakat HMTP yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi besar bagi penulis.
14. *Last but not least*, terimakasih untuk diri sendiri karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini, mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tidak pernah memutuskan untuk menyerah sesulit apapun prosesnya, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri. *I wanna thank me for just being me at all times.*

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Maksud dan Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Kerangka Pemikiran.....	4
1.6 Hipotesis Penelitian	7
1.7 Tempat dan Waktu.....	7
II TINJAUAN PENELITIAN.....	8
2.1. <i>Smart packaging</i>	8
2.2. Pati singkong.....	10
2.3. Gliserol.....	11
2.4. Bunga Telang	12
2.5. pH Diferensial	14
2.6. Metode Pembuatan bioplastik.....	15
III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1. Bahan dan Alat	18
3.1.1 Bahan	18
3.1.2 Alat.....	18
3.2 Metode Penelitian.....	18
3.2.1 Penelitian Utama	18
3.2.2 Pengujian.....	19
3.3 Prosedur Percobaan	19
3.3.1 Prosedur Ekstraksi Bunga Telang	19
3.4 Jadwal Penelitian.....	24
IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Uji Stabilitas pH.....	25
4.2 Lembaran <i>Smart packaging</i>	27
4.3 Sifat Mekanik.....	28
4.3.1 Uji Kuat Tarik	28

4.3.2 Elongasi.....	30
4.3.3 <i>Swelling</i>	31
4.3.4 Sudut Kontak	32
4.3.5 <i>Water Vapour Transmission Rate (WVTR)</i>	33
4.4 Sifat Fisik.....	34
4.4.1 Warna.....	34
4.5 Sifat Thermal	36
4.5.1 <i>Differential Scanning Calorimetry (DSC)</i>	36
4.6 Sifat Kimia	37
4.6.1 <i>Fourier Transmission Infrared Spectrophotometer (FT-IR)</i>	37
4.7 Uji <i>Biodegradeble</i>	39
4.8 Analisis Morfologi	42
4.8.1 <i>Scanning Elektron Microscope (SEM)</i>	42
4.9 Analisis Hasil <i>Total Plate Count (TPC)</i>	45
V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan Pati pada beberapa bahan pangan	10
Tabel 2. Taksonomi Bunga Telang (<i>Clitoria ternatea</i> L.)	14
Tabel 3. Formulasi Perbandingan Pati, Gliserol, dan Ekstrak Bunga Telang dengan Penambahan Nanosilika	19
Tabel 4. Jadwal Penelitian.....	24
Tabel 5. Hasil Pengujian Warna Bioplastik Pati Singkong	34
Tabel 6. Perubahan <i>Smart packaging</i> Bioplastik Hasil Uji Biodegradable Menggunakan Jamur <i>A.niger</i>	40
Tabel 7. Morfologi Bioplastik Pati Singkong Pada Perbesaran 500x	42
Tabel 8, Perhitungan <i>Total Plate Count</i> (TPC) Hari ke-0	46
Tabel 9.Perhitungan <i>Total Plate Count</i> (TPC) Hari ke-7	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur (a) Amilase dan (b) Amilopektin.....	11
Gambar 2. Struktur Gliserol.....	11
Gambar 3. Bunga telang.....	13
Gambar 4. Struktur Antosianin.....	15
Gambar 5. Diagram Alir Proses Ekstraksi Antosianin Bunga Telang	21
Gambar 6. Proses Pembuatan <i>Smart packaging</i> Pati Singkong dengan Penambahan Bunga Telang	23
Gambar 7. Warna Pada Ekstrak Bunga Telang dengan pH yang Berbeda.....	26
Gambar 8. Struktur Senyawa Antosianin.....	27
Gambar 9. Lembaran <i>smart packaging</i> bioplastik Pati Singkong (a) Pati Gliserol, (b) Konsentrasi ekstrak bunga telang 0%, (c) Konsentrasi ekstrak bunga telang 1%, (d) Konsentrasi ekstrak bunga telang 2%, (e) Konsentrasi ekstrak bunga telang 3%, (f) Konsentrasi ekstrak bunga telang 4%	28
Gambar 10. Grafik Kuat Tarik	29
Gambar 11. Grafik Elongasi	30
Gambar 12. Uji <i>Swelling</i>	31
Gambar 13. Pengujian Sudut Kontak Bioplastik	32
Gambar 14. Grafik Uji <i>Water Vapor Transmission Rate</i> dengan Konsentrasi Bunga Telang yang Berbeda	33
Gambar 15. DSC Bioplastik Pati Singkong.....	36
Gambar 16. Grafik Spektrum FT-IR Pada Bioplastik Pati Singkong dan <i>Smart packaging</i>	38
Gambar 17. Hasil Pengujian Pada Daging Ayam	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Prosedur Analisis Kuat Tarik dan Elongasi.....	58
Lampiran 2. Prosedur Pengujian <i>Water Vapour Transmission Rate</i> (WVTR).....	59
Lampiran 3. Prosedur Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	59
Lampiran 4. Prosedur Pengujian FT-IR	59
Lampiran 5. Prosedur Pengujian <i>Biodegradable Test</i>	60
Lampiran 6. Pengukuran pH Menggunakan pH-meter	60
Lampiran 7. Hasil Uji Kuat Tarik (<i>Tensile</i>)	61
Lampiran 8. <i>Swelling</i>	63
Lampiran 9. Sudut Kontak	63
Lampiran 10. Hasil WVTR	66
Lampiran 11. Dokumentasi Penelitian	72

I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai : (1.1) Latar Belakang Penelitian (1.2) Identifikasi Masalah (1.3) Maksud dan Tujuan (1.4) Manfaat Penelitian (1.5) Kerangka Pemikiran (1.6) Hipotesis Penelitian.

1.1 Latar Belakang

Smart packaging menyediakan solusi pengemasan total yang di satu sisi memantau perubahan pada suatu produk atau lingkungannya (cerdas) dan pada pihak lain bertindak atas perubahan aktif. *Smart packaging* menggunakan sensor kimia atau biosensor untuk memantau kualitas dan keamanan pangan mulai dari produsen hingga konsumen. Seperti halnya teknologi yang telah dibahas sebelumnya, *smart packaging* menggunakan berbagai sensor untuk memantau makanan kualitas dan keamanan, misalnya dengan mendeteksi dan menganalisis kesegaran, patogen, kebocoran, karbon dioksida, oksigen, tingkat pH, waktu atau suhu. Hal ini dikarenakan produk pangan membutuhkan penanganan yang baik selama proses produksi dan distribusi. *Smart packaging* merupakan inovasi dalam industri pengemasan yang menggunakan teknologi canggih untuk meningkatkan fungsi dan interaktivitas kemasan. Konsep ini bertujuan untuk memberikan informasi kepada konsumen dan produsen serta melindungi produk (Schaefer & Cheung, 2018).

Menurut Saleh (2017), Banyak hal telah dilakukan untuk mengatasi masalah ini, salah satu cara yang dilakukan adalah mengembangkan pengemas yang digunakan untuk mengemas produk pangan tersebut. Salah satu bahan pengemas yang banyak diteliti adalah bioplastik. Bioplastik merupakan solusi untuk mengurangi masalah sampah plastik yang tidak dapat terurai karena bersifat ekologis dan tidak mencemari tanah. Bahan yang banyak digunakan untuk membuat bioplastik antara lain jenis umbi-umbian yang mengandung pati, salah satunya adalah singkong. Pemanfaatan singkong sebagai bahan pembuatan bioplastik telah banyak diteliti dan dikembangkan karena kemudahan isolasi pati dan juga kandungan patinya yang cukup tinggi yaitu mencapai 90% (bk) (Niba, 2006 dalam Hui, 2006).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, Provinsi Lampung merupakan penghasil singkong terbesar di Indonesia. Produksi singkong di Provinsi Lampung pada tahun 2015 mencapai 8.038.963 ton umbi basah dengan luas areal penanaman sekitar 301,684 Ha dan produktivitasnya sebesar 26,647 ton/Ha (BPS, 2016). Produksi pati yang tinggi, penanamannya yang mudah, dan mudah didapatkan di Indonesia menjadikan singkong sangat potensial dijadikan sebagai bahan dasar bioplastik.

Bioplastik bertujuan untuk melindungi produk makanan juga mengurangi limbah plastik. Selain fungsinya sebagai pengemas, bioplastik juga dapat dimanfaatkan dalam aplikasi *smart packaging*. Bunga telang mengandung tinggi antioksidan dan lebih dikenal oleh masyarakat sebagai tanaman obat. Selain itu warna biru pada bunga berasal dari antosianin, pigmen warna ini sering dimanfaatkan dalam bidang pangan oleh beberapa negara antara lain pewarna biru pada ketan di Malaysia. Memanfaatkan sifat pH-sensitif dari antosianin, bioplastik berbasis bunga telang dapat digunakan untuk menunjukkan perubahan kondisi makanan. Integrasi bunga telang dalam bioplastik untuk *smart packaging* tidak hanya meningkatkan daya tarik visual, tetapi juga menyediakan solusi yang inovatif untuk menjaga kualitas makanan (Sumartini, dkk., 2020).

Bunga telang (*Clitoria ternatea*) merupakan salah satu jenis bunga yang tumbuh di Indonesia dan berpotensi besar menjadi sumber antioksidan, sebab kaya akan kandungan antosianin. Antosianin termasuk dalam pigmen dari kelompok flavonoid yang larut dalam air, memiliki warna merah hingga biru sampai dengan ungu dan beredar luas pada seluruh bagian tanaman. Antosianin yang terdapat pada bunga telang adalah jenis antosianin terpolarisasi (memiliki lebih dari dua gugus asil) dengan delfinidin menjadi aglikonnya. Jenis antosianin terpolarisasi cenderung memiliki tingkat kestabilan lebih tinggi dibandingkan dengan jenis antosianin yang tidak memiliki gugus asil (Marpaung et al., 2013). Bunga telang telah banyak dieksplorasi dan menunjukkan potensi yang tinggi untuk meningkatkan kesehatan manusia. Bunga telang memiliki kandungan polifenol tinggi yang berpotensi sebagai antioksidan yang baik bagi kesehatan (Yurisna et al., 2022). Sejauh ini, komponen-komponen bioaktif telah banyak di ekstrak dan di

identifikasi untuk diuji aktivitas anti bakterinya dari berbagai macam tumbuhan di dunia. Kandungan komponen bioaktif, seperti flavonoid, tanin, dan flobatanin telah diidentifikasi pada bunga telang (*Clitoria ternatea L.*). Bunga telang tidak hanya menjadi tanaman herbal yang digunakan secara tradisional oleh masyarakat, namun juga dapat bermanfaat sebagai anti bakteri pada produk pangan.

Usaha untuk memantau kualitas daging ayam dengan *smart packaging* yang berbahan pati singkong dan bunga telang, menjadi salah satu alasan penulis membuat bioplastik dengan bahan dasar pati singkong, gliserol, nanosilika yang tujuannya untuk meningkatkan ketahanan terhadap air dan konsentrasi ekstrak bunga telang. Penulis berharap pada pembuatan bioplastik dari pati singkong dengan gliserol, nanosilika dan konsentrasi ekstrak bunga telang dapat menjaga daging ayam dari perubahan warna dan pH. Maka dari itu perlu diketahui karakteristik sifat mekanik, *barrier*, *thermal*, biodegradabilitas bioplastik berbahan dasar pati singkong dengan penambahan ekstrak bunga telang sebagai respon terhadap perubahan pH.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang penelitian, maka masalah yang dapat diidentifikasi ialah sebagai berikut :

- a. Bagaimana karakteristik *smart packaging* dengan konsentrasi ekstrak bunga telang yang berbeda?
- b. Bagaimana pengaruh interaksi antara pati singkong dengan gliserol dan konsentrasi ekstrak bunga telang terhadap *smart packaging*?
- c. Bagaimana perubahan warna pada *smart packaging* untuk penyimpanan daging ayam pada suhu konstan dengan variasi pH yang berbeda?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan *smart packaging* berbasis pati dengan zat warna dari bunga telang sebagai respon terhadap perubahan suhu dan pH.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bagaimana pembuatan bioplastik *smart packaging* dengan zat aktif antosianin ekstrak bunga telang untuk mengetahui respon terhadap perubahan suhu dan pH.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini antara lain yaitu:

- a. Informasi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi penyimpanan pengemas, yang dapat dimanfaatkan oleh pemilik usaha pengemas.
- b. Informasi cara membuat *smart packaging*.
- c. Mengurangi sampah plastik karena diganti dengan bioplastik yang pada dasarnya bersifat *biodegradable*.

1.5 Kerangka Pemikiran

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki beraneka ragam tanaman bunga dengan jenis warna yang menarik. Salah satu pigmen alami yang berpotensi besar menjadi pewarna alternatif alami yaitu pigmen antosianin yang berasal dari bunga telang. Bunga telang (*Clitoria ternatea*) merupakan salah satu jenis bunga yang tumbuh di Indonesia dan berpotensi besar menjadi sumber antioksidan, sebab kaya akan kandungan antosianin. Antosianin termasuk dalam pigmen dari kelompok flavonoid yang larut dalam air, memiliki warna merah hingga biru sampai dengan ungu dan beredar luas pada seluruh bagian tanaman. Antosianin yang terdapat pada bunga telang adalah jenis antosianin terpolarisasi (memiliki lebih dari dua gugus asil) dengan delfinidin menjadi aglikonnya. Jenis antosianin terpolarisasi cenderung memiliki tingkat kestabilan lebih tinggi dibandingkan dengan jenis antosianin yang tidak memiliki gugus asil (Marpaung et al., 2013).

Gliserol merupakan *plasticizer* yang bersifat hidrofilik, sehingga cocok untuk bahan pembentuk plastik yang bersifat hidrofobik seperti pati (Purnavita et al., 2020). *Plasticizer* ditambahkan pada pembuatan bioplastik untuk mengatasi sifat rapuh, mudah patah, dan rendahnya elastisitas (Polnaya et al., 2016).

Pati merupakan salah satu bahan baku alternatif yang aman untuk pengemas yang dapat dimakan (*edible*) dan mudah untuk diserap tubuh sehingga kemasan *edible* berbasiskan pati layak untuk dikembangkan. Bioplastik yang dibuat dari pati dikenal dengan bioplastik hidrokoloid. Bioplastik yang dibuat dari hidrokoloid memiliki beberapa kelebihan, diantaranya baik untuk melindungi produk terhadap oksigen dan karbon dioksida, serta memiliki sifat mekanis yang baik (Saleh et al., 2017).

Antosianin adalah kelompok pigmen yang berwarna biru atau ungu. antosianin merupakan metabolit sekunder yang larut dalam air, memiliki banyak manfaat dan dapat ditemukan pada berbagai jenis tanaman. Antosianin dapat dijumpai pada bunga, buah-buahan dan sayur- sayuran. Salah satu manfaat antosianin adalah sebagai indikator alami pH (Herlina dkk., 2023).

Dasar dari metode pH diferensial adalah sifat antosianin yang dapat mengalami perubahan warna secara *reversible* seiring dengan perubahan pH. Pada pH sangat rendah (pH 1-2) antosianin berada pada bentuk oxonium berwarna (ion flavilium), sedangkan pada pH 4-5 akan terbentuk senyawa hemiketal yang tidak berwarna. Perubahan struktur dan warna tersebut menimbulkan perubahan absorbansi pada pola spektra yang muncul jika dibaca dengan spektrofotometer *visible* (Herlina dkk., 2023)

Sifat-sifat *film* harus sebanding dengan *film* kemasan seperti plastik, yaitu menahan air untuk mencegah kehilangan kelembaban produk, permeabel terhadap gas tertentu, mengontrol perpindahan padatan terlarut, mempertahankan warna pigmen alami dan gizi, dan membawa bahan aditif seperti pewarna, pengawet, dan aroma untuk meningkatkan kualitas bahan pangan (Raditya, 2021. Dalam Nafidah, 2024).

Karakteristik mekanik bioplastik termasuk kuat tarik (*tensile strength*), kuat tusuk (*pencture strength*), persen pemanjangan (*elongation to break*), dan elastisitas (*elastic/young modulus*). Kemampuan suatu bahan untuk melewati partikel gas dan uap air pada suatu unit luasan bahan disebut permeabelitas. Sifat alami *film* yang mudah hancur adalah karakteristik lain dari bioplastik (Raditya, 2021, dalam Nafidah, 2024).

Beberapa penelitian tentang pembuatan bioplastik, diantaranya oleh (Krochta et al., 1994), (Santoso et al., 2004), (Yulianti & Ginting, 2012), serta (Afiifah Radhiyatullah et al., 2015). (Krochta et al., 1994) membuat bioplastik dari pati sebagai pembungkus makanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioplastik dari pati dapat digunakan sebagai pembungkus makanan dan dapat memperlama ketahanan makanan dari kerusakan. (Santoso et al., 2004), meneliti kemungkinan bioplastik dari pati sebagai pembungkus Lempok Durian dan hasilnya adalah dapat

digunakan. (Yulianti & Ginting, 2012) meneliti karakteristik fisik bioplastik dari umbi – umbian. Selanjutnya (Afiifah Radhiyatullah et al., 2015), meneliti pengaruh berat pati dan volume *plasticizer* gliserol terhadap karakteristik *film* bioplastik dari pati kentang.

Menurut Mukhriani (2014) dalam Anggriani (2019), metode ekstraksi dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya, maserasi, *ultrasound*, perkolasi, sochlet, reflux, dan destilasi uap. Anthika, et, al., (2015), melakukan penelitian mengenai ekstraksi antosianin pada bunga telang dengan menggunakan metode *ultrasound*, dimana bunga telang yang diekstrak menggunakan metode *ultrasound* mengandung antosianin sebesar 35,41 ppm. Dari pernyataan di atas kita akan membuat suatu ulasan mengenai penggunaan pelarut serta metode ekstraksi yang efektif untuk dapat menghasilkan ekstrak antosianin dengan kadar yang tinggi pada bunga telang.

Menurut Samber et al., (2012), kestabilan antosianin dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, suhu, cahaya, dan oksigen. Pigmen antosianin (merah, ungu dan biru) merupakan molekul yang tidak stabil jika terjadi perubahan pada suhu, pH, oksigen, cahaya, dan gula.

Menurut Riyadi (2015), kemasan yang baik adalah kemasan yang dapat menahan laju permeabilitas uap air, cahaya/sinar, oksigen, dan dapat mencegah reaksi kimia antara kemasan dan produk, sehingga dapat menghambat kemunduran mutu.

Menurut Warsiki et al., (2012), penambahan gliserol sebagai *plasticizer* sebanyak 1 mL per 100 mL larutan menghasilkan *film* yang lebih halus dan lentur, dibandingkan penambahan gliserol sebagai *plasticizer* sebanyak 0,5 ml dan 0,8 ml.

Menurut (Untoro et al., 2024) Penggunaan nanosilika dengan konsentrasi 4% disarankan karena *film* nanokomposit dengan konsentrasi tersebut memiliki homogenitas yang lebih baik, yang menyebabkan *film* nanokomposit dengan konsentrasi 4% memiliki kekuatan tarik tertinggi dibandingkan dengan konsentrasi lainnya.

1.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan latar belakang permasalahan dan didukung oleh kerangka pemikiran diduga bahwa :

- a. Konsentrasi ekstrak bunga telang berpengaruh terhadap karakteristik *smart packaging*.
- b. Interaksi antara pati singkong dengan gliserol dan konsentrasi ekstrak bunga telang berpengaruh terhadap *smart packaging*.
- c. Warna pada *smart packaging* yang diaplikasikan untuk penyimpanan daging ayam akan dipengaruhi suhu konstan dan pH yang berbeda.

1.7 Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di Laboratorium Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) di Cistitu Bandung, dan juga di Laboratorium Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong Bogor. Waktu penelitian yaitu bulan November 2024 sampai dengan Juli 2025.

II TINJAUAN PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai: (2.1) *Smart packaging*, (2.2) Pati Singkong (2.3) Pemplastis Gliserol, (2.4) Bunga Telang, (2.5) pH Diferensial (2.6) Metode Pembuatan Bioplastik

2.1. *Smart packaging*

Smart packaging merupakan salah satu bentuk pengemasan inovatif yang diaplikasikan pada makanan untuk meningkatkan, mengkombinasikan dan memperluas fungsi utama pengemasan tradisional. *Smart packaging* merupakan pengemas yang memiliki kemampuan *intelligent* dan *active* sehingga dapat dijadikan solusi untuk memonitor perubahan pada produk atau lingkungan (*intelligent*) dan bertindak atas perubahan tersebut (*active*) (Achmadi et al., 2023)

Smart packaging merupakan salah satu teknologi baru dalam bidang kemasan. Berbeda dengan kemasan konvensional, *smart packaging* dapat menginformasikan perubahan yang terjadi pada produk atau lingkungannya seperti suhu, pH, dan pertumbuhan mikroba. Tidak hanya itu, *smart packaging* juga dapat memberikan suatu informasi terkini dari produk melalui teknologi internet (*internet of things*) misalnya informasi yang dapat diakses melalui label RFID (*Radio Frequency Identification*) yang ada pada kemasan (Alam et al., 2021). *Smart packaging* didasarkan pada desain yang disempurnakan dengan teknologi mutakhir untuk memaksimalkan fungsionalitas dan interaksi produk. Konsep ini berkaitan erat dengan kemajuan teknologi dan peningkatan kebutuhan konsumen, yang tidak hanya melindungi produk tetapi juga memberikan informasi dan meningkatkan pengalaman pengguna. Hal ini dikarenakan produk pangan membutuhkan penanganan yang baik selama proses produksi dan distribusi.

Smart packaging memberikan solusi untuk memastikan integritas, autentikasi dan ketertelusuran dari mana produk berasal, mencegah pemalsuan dan pencurian dan meningkatkan keamanan. Hal tersebut memberikan konsekuensi terhadap pengurangan polusi, *food loss* dan *waste* dalam rantai pasok pangan dan memberikan keuntungan terhadap konsumen dimana terdapat kualitas *real-time* dan

perpanjangan masa simpan dapat tersedia secara otomatis dan berkesinambungan pada pengemas (Fernandez et al., 2023) (Kuswandi & Jumina, 2020)

Menurut (Barone & Aschemann-Witzel, 2022), konsumen masih mengandalkan tanggal kedaluwarsa dan perasaan mereka sendiri saat membuat keputusan makanan. Secara khusus, tanggal kedaluwarsa dan karakteristik sensoris (misalnya warna) makanan muncul sebagai pendorong utama pilihan di toko dan penggunaan/pembuangan produk di rumah. Dengan demikian, konsumen mengakui bahwa *smart label* dalam *smart packaging* dapat memberikan validasi eksternal dalam hal kesegaran makanan, pengalaman dan waktu diperlukan bagi konsumen untuk siap mempercayai *label* sepenuhnya dan menggunakannya dalam proses pengambilan keputusan mereka dalam hal pembelian, penggunaan dan pembuangan makanan. Beberapa faktor yang mendukung penerimaan konsumen terhadap *smart packaging* adalah sebagai berikut:

- a. Mendidik konsumen adalah kunci untuk mengatasi keengganan awal terhadap inovasi ini, yang pada akhirnya mengarah pada penerimaan dengan cara memahami nilai dan manfaat dari informasi pada label (Carins & Bogomolova, 2021).
- b. Identifikasi manfaat oleh konsumen berpotensi efektif digunakan oleh perusahaan yang mengembangkan alat ini untuk melibatkan dan meyakinkan pengecer dalam menggunakan *label* tersebut di toko atau produk mereka. Pengecer memainkan peran kunci dalam mempengaruhi keputusan dan preferensi makanan konsumen untuk mencapai tujuan keseluruhan mengurangi limbah makanan di sepanjang rantai pasokan makanan (Aschemann-Witzel et al., 2016). Bagi produsen, menambahkan *smart label* ke produk mereka akan mengomunikasikan komitmen aktif mereka terhadap keberlanjutan, sehingga meningkatkan citra dan reputasi mereka.
- c. Efek positif yang luas dari *smart label* dalam hal pengurangan limbah makanan, dan juga daur ulang, memberikan wawasan yang dapat digunakan oleh pembuat kebijakan untuk menekan para pelaku rantai pasokan makanan agar alat-alat baru ini diterima secara luas.

2.2. Pati singkong

Tapioka adalah pati yang diekstrak dari ubi kayu segar (singkong). Tapioka didapatkan melalui proses penepungan. Tapioka yang berasal dari singkong merupakan sumber karbohidrat yang cukup baik, kandungan pati dari singkong yaitu 34,6% (F.G. Winarno, 1997). Tapioka banyak digunakan dalam berbagai industri karena kandungan patinya yang tinggi dibandingkan dengan beberapa jenis bahan pangan yang lain (Y. H. Hui & Frank Sherkat, 2005). Kandungan pati pada beberapa bahan pangan disajikan pada tabel 1.

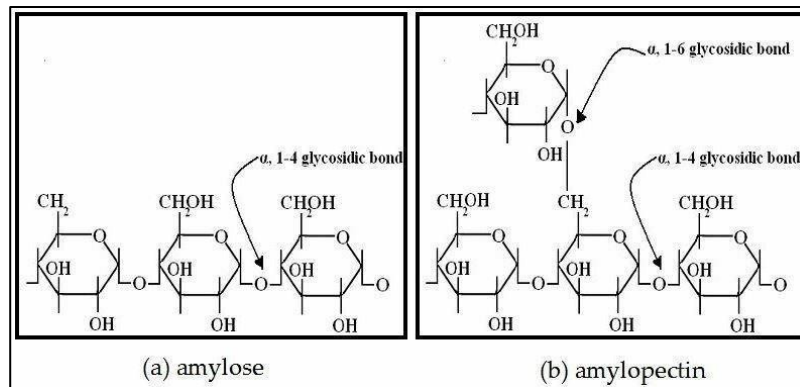
Tabel 1. Kandungan Pati pada beberapa bahan pangan

No	Bahan Pangan Pati	(% dalam basis kering)
1.	Biji gandum	67
2.	Beras	89
3.	Jagung	57
4.	Biji sorgum	72
5.	Kentang	75
6.	Ubi jalar	90
7.	Singkong	90

Sumber : (Cui. S. W, 2005)

Pati singkong dapat diproduksi dengan menggunakan metode ekstraksi dengan menggunakan cara kering dan basah, ekstraksi pati dengan cara kering menggunakan air dengan perbandingan 1:4 sedangkan ekstraksi kering dilakukan dengan mengekstraksi pati dari tepung yang dihasilkan umbi tersebut. (Liu, 2005 dalam Karnawidjaja, 2009 dalam Alexandra, 2019 dalam Nur 2020). Pati tapioka tersusun dari dua macam karbohidrat yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki struktur lurus dengan ikatan α -(1,4)-D-glukosa sedangkan amilopektin mempunyai cabang dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa sebanyak 4–5 dari berat total. Komponen pati dari tapioka secara umum terdiri dari 29,9% amilosa dan 70,1% amilopektin (Yulianti & Ginting, 2012). Amilosa memberikan sifat keras (pera) sedangkan amilopektin menyebabkan sifat lengket (F.G. Winarno, 1997). Konsentrasi keduanya akan mempengaruhi sifat mekanik dari polimer alami yang

terbentuk. Struktur molekul amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Gambar 1

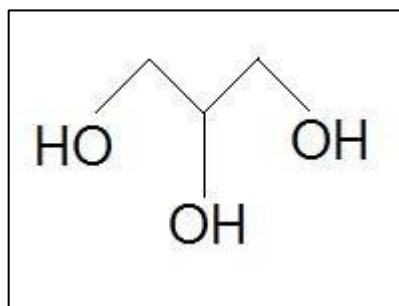


Gambar 1. Struktur (a) Amilase dan (b) Amilopektin.

Sumber: (F.G. Winarno, 1997)

2.3. Gliserol

Gliserol merupakan komponen yang menyusun berbagai macam lipid, termasuk gliserida. Gliserol mempunyai rasa yang manis dan tidak beracun. Gliserol adalah senyawa alkohol polihidrat (polyol) yang memiliki 3 buah gugus hidroksil di dalam 1 molekul atau yang dikenal dengan alkohol triavalent. Rumus kimia gliserol 10 adalah $C_3H_8O_3$. Berat molekul gliserol adalah 92,10 dan massa jenisnya adalah 1,23 g/cm³ (F.G. Winarno, 1997).



Gambar 2. Struktur Gliserol

Sumber: Solvay (2001)

Gliserol umumnya digunakan sebagai pemlastis pada pembuatan bioplastik. Penambahan gliserol sebagai *plasticizer* pada bioplastik akan menghasilkan *film* yang lebih fleksibel dan halus, selain itu gliserol meningkatkan permeabilitas *film* terhadap gas, uap air, dan zat terlarut (Winarno, 1997). Penambahan gliserol pada

bioplastik lebih menguntungkan dibandingkan dari pelarut seperti sorbitol, karena gliserol mudah tercampur dalam larutan *film* dan terlarut dalam air (hidrofilik). Sedangkan sorbitol sulit bercampur dan mudah mengkristal pada suhu ruang. Kelebihan lainnya pada gliserol adalah bahan organik dengan berat molekul rendah sehingga pada penambahan bahan baku dapat menurunkan kekakuan dari polimer sekaligus meningkatkan fleksibilitas pada bioplastik (Coniwanti et al., 2014).

Molekul *plasticizer* akan mengganggu kekompakan pati, menurunkan interaksi intermolekuler dan meningkatkan mobilitas polimer. Selanjutnya mengakibatkan peningkatan pemanjangan dan penurunan kuat tarik dengan peningkatan konsentrasi gliserol (Gontard et al., 1993).

2.4. Bunga Telang

Bunga telang (*Clitoria ternatea*) adalah sebuah tanaman berbunga yang memiliki bentuk polong-polongan. Morfologi tanaman ini tidak memiliki perbedaan yang mencolok pada akar, batang, dan bunga. Bentuk akar dan batang di dataran rendah dan tinggi memiliki persamaan, yaitu akar tunggang berwarna putih kekuningan, batang berbentuk bulat dan berkayu, batang berwarna hijau pada saat masih muda dan coklat ketika tua. Morfologi bunga di dataran rendah dan tinggi sama-sama memiliki 3 buah mahkota berwarna biru tua dengan 10 kepala sari dan satu putik. Perbedaan morfologi yang dapat diamati adalah bentuk daun, ukuran daun, polong, dan biji. Bentuk daun di dataran rendah adalah bulat telur dengan ujung dan pangkal membulat, sementara di dataran tinggi adalah bulat telur dengan ujung dan pangkal meruncing. Ukuran daun di dataran rendah lebih pendek dan lebih lebar dibandingkan dengan dataran tinggi yang lebih panjang dan lebih sempit (Hawari, 2022).



Gambar 3. Bunga telang

Bunga telang (*Clitoria ternatea*) berpotensi besar menjadi sumber antioksidan, sebab kaya akan kandungan antosianin. Antosianin termasuk dalam pigmen dari kelompok flavonoid yang larut dalam air, memiliki warna merah hingga biru sampai dengan ungu dan beredar luas pada seluruh bagian tanaman. Antosianin yang terdapat pada bunga telang adalah jenis antosianin terpolarisasi (memiliki lebih dari dua gugus asil) dengan delfinidin menjadi aglikonnya. Jenis antosianin terpolarisasi cenderung memiliki tingkat kestabilan lebih tinggi dibandingkan dengan jenis antosianin yang tidak memiliki gugus asil (Marpaung et al., 2013).

Bunga telang adalah jenis bunga majemuk yang tumbuh di pangkal daun. Secara umum, warna bunga telang adalah ungu, tetapi ada variasi warna lain seperti biru, merah muda (pink), dan putih. Bunga telang memiliki berbagai 9 komponen metabolit sekunder seperti tanin, fenol, triterpenoid, saponin, alkaloid, flobatanin, dan flavonoid (Budiasih, 2017). Bunga telang mengandung senyawa flavonoid sebesar 4,65%. Kadar flavonoid total ekstrak etanol bunga telang dalam studi lain dinyatakan sebesar 1171,10 mg/100g (Wahyuningtias et al., 2023). Bunga telang dapat dibuat menjadi seduhan seperti teh dan dapat juga dibuat menjadi olahan kombucha (Khaerah & Akbar, 2019)

Tabel 2. Taksonomi Bunga Telang (*Clitoria ternatea L.*)

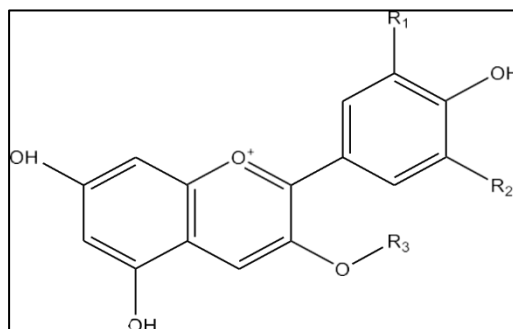
KERAJAAN	PLANTAE
Sub kerajaan	Tracheobionita
Super Divisi	Spermatophyta
Divisi	Magnoliophyta
Kelas	Magnoliopyhta
Sub kelas	Rosidae
Bangsa	Fabales
Keluarga	Fabaceae
Genus	<i>Clitoria</i>
Species	<i>Clitoria ternate L.</i>

(Sumber: Hartono et al., 2012)

2.5. pH Diferensial

Antosianin adalah kelompok pigmen yang berwarna biru/ungu. Antosianin merupakan metabolit sekunder yang larut dalam air, memiliki banyak manfaat dan dapat ditemukan pada berbagai jenis tanaman. Antosianin dapat dijumpai pada bunga, buah-buahan dan sayur-sayuran. Salah satu manfaat antosianin adalah sebagai indikator alami pH (Bondre dkk., 2012 dalam Purwaniati dkk., 2020).

Molekul antosianin tersusun dari sebuah aglikon (antosianidin) yang teresterifikasi dengan satu atau lebih glikon (gula) (Effendi, 1991 dalam Purwaniati dkk., 2020). Antosianin ditemukan di vakuola sel tanaman. Senyawa ini bersifat sangat reaktif, mudah teroksidasi maupun tereduksi, serta ikatan glikosidanya mudah terhidrolisis (Hutchings, 1999 dalam Purwaniati dkk., 2020).



Gambar 4. Struktur Antosianin

Sumber: Purwaniati, dkk (2020)

Antosianin adalah subkelas dari flavonoid yang larut dalam air yang bertanggung jawab atas warna merah, ungu dan biru pada buah, sayuran, sereal, bunga. Sehingga antosianin dapat menjadi pewarna makanan alami, selain itu, antosianin juga dipercaya sebagai antioksidan. Struktur kimia antosianin cenderung kurang stabil dan mudah mengalami degradasi, stabilitas antosianin diantaranya dipengaruhi oleh pH dan temperatur. Antosianin lebih stabil pada larutan asam dibanding larutan basa. Antosianin memberikan serapan maksimum didaerah sinar tampak, yaitu pada daerah 505-535 nm (Harbone, 1987 dalam Purwaniati dkk., 2020). Antosianin dapat mengalami perubahan warna secara *reversible* seiring dengan perubahan pH. Pada pH sangat rendah (pH 1-2) antosianin berada pada bentuk oxonium yang berwarna (ion flavilium), sedangkan pada pH 4-5 akan terbentuk senyawa hemiketal yang tidak berwarna.

2.6. Metode Pembuatan bioplastik

a. *Casting Solution*

Metode *casting solution* adalah metode yang diterima secara luas untuk mengembangkan *film* komposit. Melibatkan pengadukan atau ultrasonikasi yang ketat dari komposit polimer dan bahan nano dalam pelarut organik atau air untuk mencapai disperse dan homogenitas yang diinginkan dalam larutan pembentuk *film* yang disiapkan (Rhim et al., 2006). Kelebihannya metode *casting solution* sangat mudah, mudah disetel untuk ketebalan *film*, biaya rendah, dan terukur.

b. *Melt Mixing*

Metode ini memiliki beberapa keunggulan, diantaranya mudah, praktis, murah, serta dapat diaplikasikan pada berbagai bahan dan ramah lingkungan karena tidak ada pelarut organik serta ekonomis pada lingkungan industrial. Faktor yang berpengaruh dalam metode ini adalah konsentrasi, suhu, serta kecepatan *extruder*. Suhu sangat berpengaruh karena dapat mempengaruhi sifat fisis dan kimia bahan. Suhu disesuaikan dengan titik leleh masing-masing bahan dan tidak melewatinya agar bahan tidak rusak, karena pada proses yang memakai suhu tinggi dapat menyebabkan massa yang hilang pada campuran. Kecepatan *extruder* juga mempengaruhi homogenitas komposit, semakin rendah kecepatan *extruder* maka komposit semakin homogen.

c. Ekstrusi menggunakan *Ekstruder*

Teknologi ekstrusi merupakan suatu pengolahan dan pencetakan menggunakan mesin yang disebut ekstruder. Teknologi ekstrusi pertama kali dikenalkan oleh Joseph Brahmah pada tahun 1797 (Singh et al., 2017), yaitu berupa mesin sederhana yang menggunakan pipa tunggal dengan piston untuk mendorong adonan agar dapat dicetak. Penggunaan teknologi ekstrusi makin berkembang dengan adanya perubahan model cetakan dan parameter proses serta karena telah disesuaikan dengan tujuan produk akhir berupa pangan atau nonpangan. Metode ekstrusi yang umum digunakan adalah *hot* dan *cold extrusion*. *Hot extrusion* merupakan teknik ekstrusi yang menggunakan panas dan tekanan tinggi untuk mendorong material melewati cetakan, dan menghasilkan produk dengan bentuk yang diinginkan. *Cold extrusion* merupakan teknologi ekstrusi tanpa menggunakan sistem pemanas.

Tahap-tahap dalam proses ekstrusi: proses pengolahan ekstrusi dibagi menjadi tiga tahap yaitu pra-ekstrusi, ekstrusi dan tahap setelah ekstrusi (*post-extrusion*).

- a. Tahap pra-ekstrusi, terdiri dari dua langkah utama yaitu: (a) Pencampuran (*Blending*); dan (b) penambahan air (*Moisturizing*)
- b. Tahap ekstrusi, mesin yang digunakan ialah berbagai jenis ekstruder dan beragam aksesorisnya sesuai kebutuhan pengolah. Produk yang keluar dari tahap ini disebut ekstrudat dan tergantung dari kebutuhan kita atau jenis

ekstruder yang digunakan, ekstrudat ini dapat merupakan produk akhir ekstrusi ataupun juga produk yang harus diolah lagi lebih lanjut.

- c. Tahap setelah ekstrusi (*post-extrusion*). Mesin yang tersedia untuk proses ini ialah mesin pengering, *flavouring*, pemanggang, pelapis dan pendingin yang semuanya disesuaikan dengan kebutuhan pengolah. Sebagai akibat dari perkembangan teknologi di bidang ekstrusi yang pesat akhir-akhir ini, maka selain dapat berfungsi sendiri terpisah dari ekstruder, mesin-mesin tersebut juga dapat dipasangkan pada ekstruder.

Sedangkan pada ekstrusi, pengadukan dilakukan dengan ekstruder yang membuat adonan lebih homogen dan stabil daripada pengadukan menggunakan mortar. Selain itu di dalam ekstruder, bahan akan ditekan oleh sistem ulir untuk mengalir dalam suatu ruangan yang sempit sehingga akan mengalami pencampuran dan pemanasan sekaligus, sehingga akan terjadi penguapan air. Sumber panas utama dalam proses ekstrusi berasal dari konversi energi mekanik (gesekan) yaitu akibat gesekan antar bahan dan gesekan antara bahan dengan ulir (Lindriati et al., 2014).

III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan tentang: (3.1) Bahan dan Alat, (3.2) Metode Penelitian, (3.3) Prosedur Penelitian, dan (3.4) Jadwal Penelitian.

3.1. Bahan dan Alat

3.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, tepung tapioka merk sagu tani, gliserol teknis dan nanosilika dari Sumber Kimia Jaya. Bunga telang yang diperoleh dari Subang, dan daging ayam dari supermarket Superindo.

Bahan yang digunakan untuk analisis meliputi larutan buffer (2,5,8,10,12), *aquadest*, *nutrient* agar (NA), *plate count* agar (PCA) . Untuk ekstraksi bunga telang adalah Etanol 96%.

3.1.2 Alat

Alat yang digunakan *chopper*, ekstruder, neraca digital, *teflone sheet*, *hot press*, timbangan teknis merk ohous, gelas kimia, gelas ukur, pH meter, batang pengaduk, *micrometer*, *micropipet*.

Alat yang digunakan untuk pengujian bioplastic diantaranya FTIR, SEM, DSC, TGA Thermoscientific Nicolet ia5 id5 ATR, dan mikroskop electron jeol jsmit300, Mikrometer skrup, dan Cawan WVTR.

Alat yang digunakan dalam analisis kimia adalah buret, labu ukur, Erlenmeyer, cawan penguap, desikator, pipet tetes, pipet seukuran, ball filler, pipet ukur, neraca digital, oven, gelas kimia, *hot plate*, corong, batang pengaduk, *spektrofotometer UV-Vis*, evaporator vakum.

Alat yang digunakan dalam analisis mikroba, cawan petri, tabung reaksi, Erlenmeyer, timbangan digital, jarum ose, pipet ukur, *ball filler*, *hot plate*, *incubator*, *autoclave*.

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Penelitian Utama

Tabel dibawah merupakan formulasi pembuatan *smart packaging* berbahan dasar pati singkong dengan penambahan ekstrak bunga telang dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Formulasi Perbandingan Pati, Gliserol, dan Ekstrak Bunga Telang dengan Penambahan Nanosilika

Kode Sampel	Pati (%)	Gliserol (%)	Ekstrak Bunga Telang (%)	Nanosilika (%)	Total
0%	72,00	24,00	0	4	100
1%	71,25	23,75	1	4	100
2%	70,50	23,50	2	4	100
3%	69,75	23,25	3	4	100
4%	69,00	23,00	4	4	100

3.2.2 Pengujian

Pengujian yang akan diamati pada penelitian ini meliputi pengujian *Smart packaging*

Pengujian *Smart packaging* meliputi:

1. Sifat mekanik: Uji kuat tarik, *elongasi*, *swelling*, sudut kontak, dan WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*)
2. Sifat Fisik: Warna
3. Sifat thermal: DSC (*Differential Scanning Calorimetry*)
4. Sifat kimia : FT-IR (*Fourier Transmission Infared Spectrophotometer*)
5. Uji biodegradabilitas : Modifikasi ASTM G 21-70
6. Analisis morfologi: SEM (*Scanning Elektron Microscope*)
7. Analisis *Total Plate Count* (TPC)

3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Prosedur Ekstraksi Bunga Telang

Prosedur pembuatan *smart packaging* dari pati singkong dengan penambah ekstrak bunga telang terdiri dari empat tahap penelitian, yaitu:

3.3.1.1 Pembuatan Ekstrak Bunga Telang

Proses pembuatan ekstrak bunga telang menggunakan teknik maserasi. dilakukan dengan merendam 200 gram simplisia kering bunga telang. Pelarut yang digunakan adalah air. Ekstrak bunga telang yang diperoleh diuapkan pelarutnya

dengan menggunakan *rotary evaporator* dengan suhu 50°C sampai terbentuk ekstrak semi kental, (Narsih & Argato, 2018). *Rotary evaporator* mampu menguapkan pelarut dibawah titik didihnya dikarenakan prinsip kerja alat ini menggunakan vakum destilasi sehingga tekanan akan menurun dan pelarut menguap dibawah titik didihnya (Pangestu & Handayani, 2011).

1) Persiapan bahan

Persiapan bahan baku dilakukan dengan cara menyiapkan bunga telang kering.

2) Pemisahan

Proses pemisahan bunga telang bertujuan untuk memisahkan kelopak bunga dengan bunga telangnya.

3) Penimbangan

Penimbangan dilakukan dengan cara menimbang bunga telang yang telah dipisahkan dengan kelopak bunga, bunga telang ditimbang sebanyak 200 gram.

4) Ultrasonik

Bunga telang yang telah ditimbang dilakukan ultrasonik dengan suhu 30°C dan selama 5 menit dan ditambahkan larutan etanol 96%.

5) Ekstrak

Hasil dari ultrasonik yang didapat hasil ekstrak antosianin dari bunga telang dan etanol 96%.

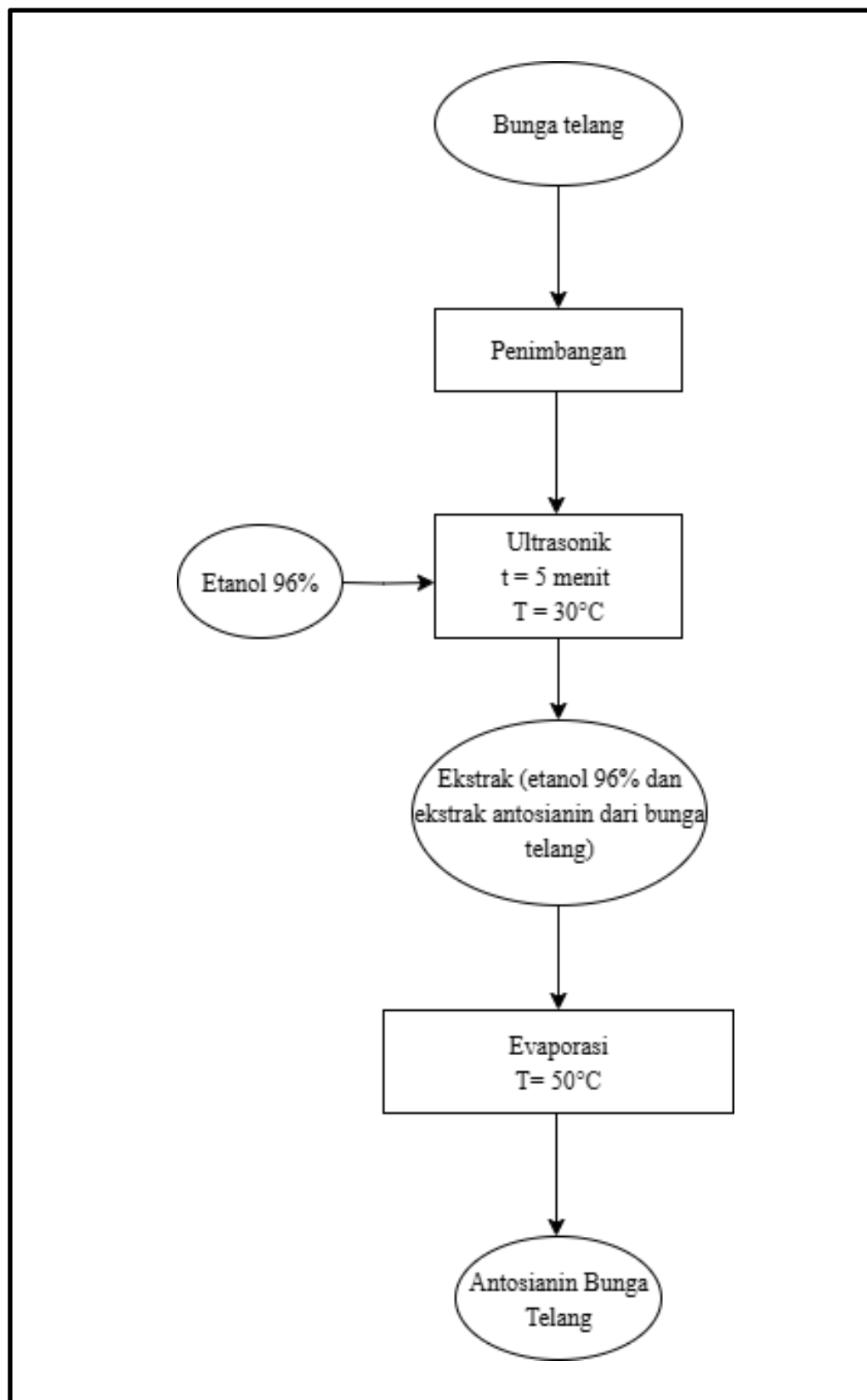
6) Evaporasi

Evaporasi dilakukan menggunakan suhu 50°C dengan pengecekan setiap interval 1 jam untuk melihat ekstrak antosianin sudah terpisah dengan pelarut etanol 96%.

7) Ekstrak bunga telang

Bahan yang telah menjadi ekstrak bunga telang ini akan dijadikan sampel pada penelitian.

Diagram alir pembuatan ekstrak antosianin bunga telang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Proses Ekstraksi Antosianin Bunga Telang

3.3.1.2 Uji Stabilitas pH

Ekstrak Bunga Telang yang telah diketahui aktivitas antioksidannya kemudian dilakukan pengujian stabilitas pH untuk mengetahui perubahan warna yang dihasilkan. Sampel sebanyak 2 mL dilarutkan dalam buffer (2, 5, 8, 10, 14) kemudian dilihat perubahan warnanya. Identifikasi perubahan warna ini akan digunakan untuk perubahan warna pada *smart packaging* bioplastik pati singkong selama penyimpanan (Neliyanti dan Idyawati 2014).

3.3.1.3 Pembuatan *Smart packaging* Bioplastik Pati Singkong dengan Penambahan Antosianin Bunga Telang Pada Konsentrasi yang Berbeda (Alexandra, 2019).

Membuat kemasan *smart packaging* bioplastik berbahan dasar dari pati singkong dan gliserol. Komposisi pati singkong dan gliserol memiliki perbandingan (3:1), metode pembuatan bioplastik pati singkong dengan menggunakan alat *extruder double screw* model TSH-20B. Pembuatan *smart packaging* bioplastik pati singkong terdiri dari beberapa proses pengolahan diantaranya:

1) Penimbangan Bahan Baku Bioplastik

Menimbang pati singkong, gliserol, ekstrak bunga telang, dan nanosilika menggunakan neraca dengan perbandingan massa (3:1) dalam basis tertentu.

2) Ultrasonik

Gliserol dan nanosilika yang sudah ditimbang, dilakukan ultrasonik dengan waktu 5 menit dan di suhu 30°C.

3) Pencampuran I (*Premixing*)

Melakukan pencampuran dengan alat blender dengan kapasitas sebanyak 100 gram selama 3 menit hingga diperoleh campuran yang homogen. Tambahkan ekstrak bunga telang dengan konsentrasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, pada hasil campuran pati dengan gliserol.

4) Ekstrusi

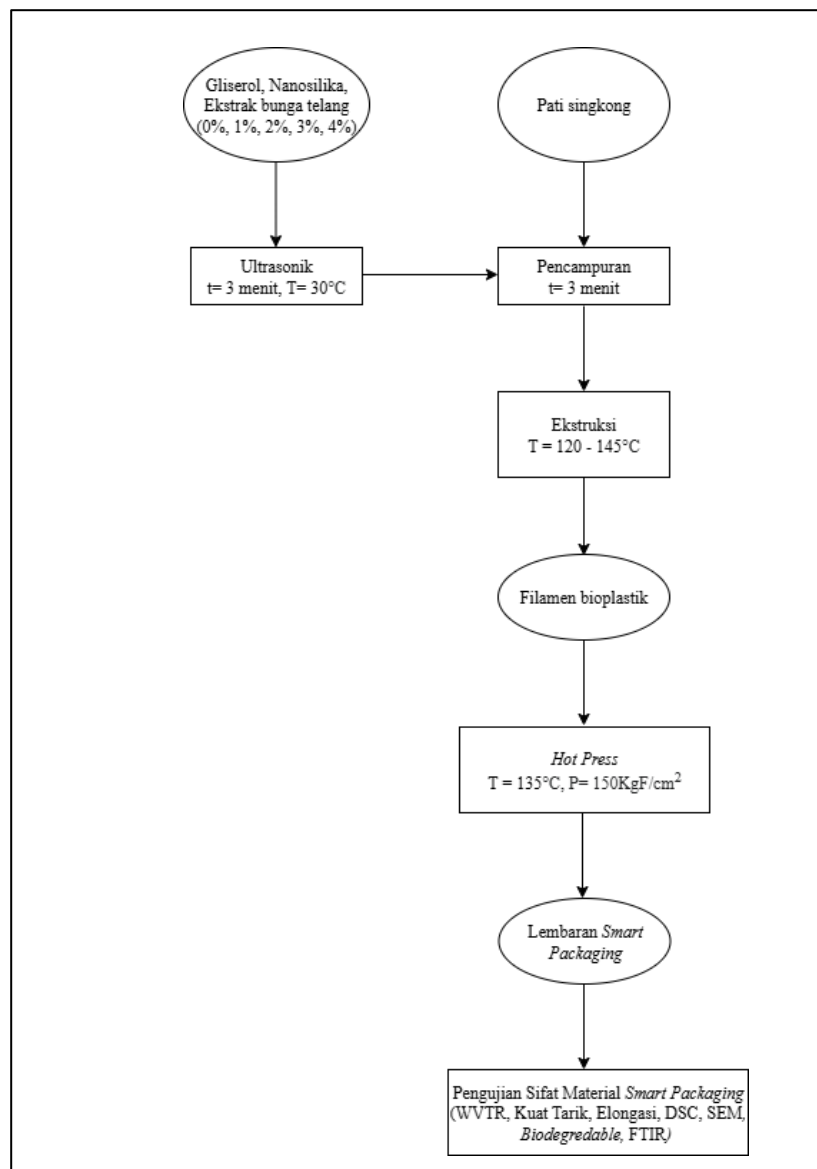
Setelah bahan semua tercampur, campuran dimasukan dan diproses dengan alat *extruder* pada suhu 120 - 145°C.

5) Pencetakan Lembaran Bioplastik

Filamen bioplastik yang sudah terbentuk kemudian ditimbang sebanyak 15

gram kemudian disimpan dalam *teflon sheet* dan diberi spacer. Lalu ditekan dengan alat *hot press* dengan suhu 135°C dengan tekanan 150 KgF/cm^2 . Kemudian didinginkan sehingga diperoleh bioplastik berbentuk lembaran dengan ketebalan sekitar 0,2 mm sampai 0,25 mm.

Diagram alir pembuatan *smart packaging* dengan penambahan antosianin bunga telang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses Pembuatan *Smart packaging* Pati Singkong dengan Penambahan Bunga Telang

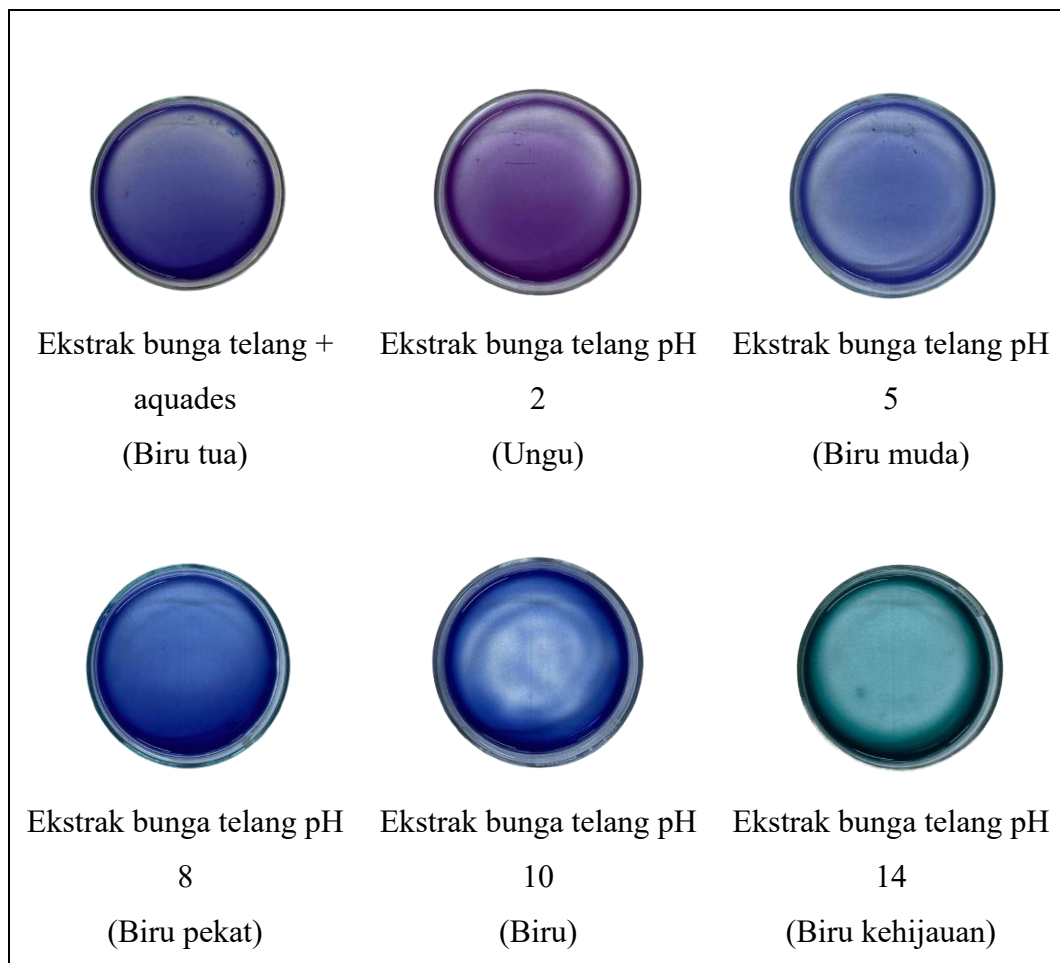
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menguraikan hasil: (4.1) Uji Stabilitas pH (4.2) Lembaran *Smart packaging* (4.3) Sifat mekanik, (4.4) Sifat *thermal*, (4.5) Sifat kimia, (4.6) Uji biodegradabilitas, (4,7) Analisis morfologi (4.8) Analisis Hasil *Total Plate Count* (TPC)

Hasil penelitian pembuatan *smart packaging* dengan perbandingan pati singkong dengan ekstrak bunga telang dan konsentrasi gliserol. Kemudian dilakukan pengujian uji Stabilitas pH. Hasil lembaran *smart packaging*. sifat mekanik meliputi uji kuat tarik, *elongasi*, warna, *swelling*, sudut kontak, dan WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*). Sifat thermal meliputi DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). Sifat kimia meliputi FT-IR (*Fourier Transmission Infrared Spectrophotometer*). Uji biodegradabilitas, serta Analisis morfologi meliputi SEM (*Scanning Elektron Microscope*). Analisis Hasil *Total Plate Count* (TPC)

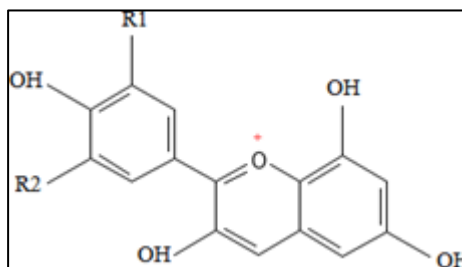
4.1 Uji Stabilitas pH

Pengujian ini dilakukan untuk menunjukkan bahwa ekstrak bunga telang yang mengandung antosianin dapat mengubah warna sesuai dengan kondisi pH. Perubahan warna ini akan digunakan untuk mengidentifikasi perubahan warna pada *smart packaging* bioplastik yang terbuat dari pati singkong selama penyimpanan.



Gambar 7. Warna Pada Ekstrak Bunga Telang dengan pH yang Berbeda

Berdasarkan pada gambar tersebut, terlihat bahwa ekstrak bunga telang mengalami perubahan warna dengan berubahnya pH lingkungan. Menurut Samber *et al.*, (2012) menyatakan bahwa warna dan stabilitas pigmen antosianin tergantung pada struktur molekul secara keseluruhan. Semakin banyak substitusi OH dapat menyebabkan warna semakin biru, sedangkan metoksilasi akan menyebabkan warnanya semakin merah. Kestabilan antosianin dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, suhu, cahaya, dan oksigen (Basuki dkk, 2005).



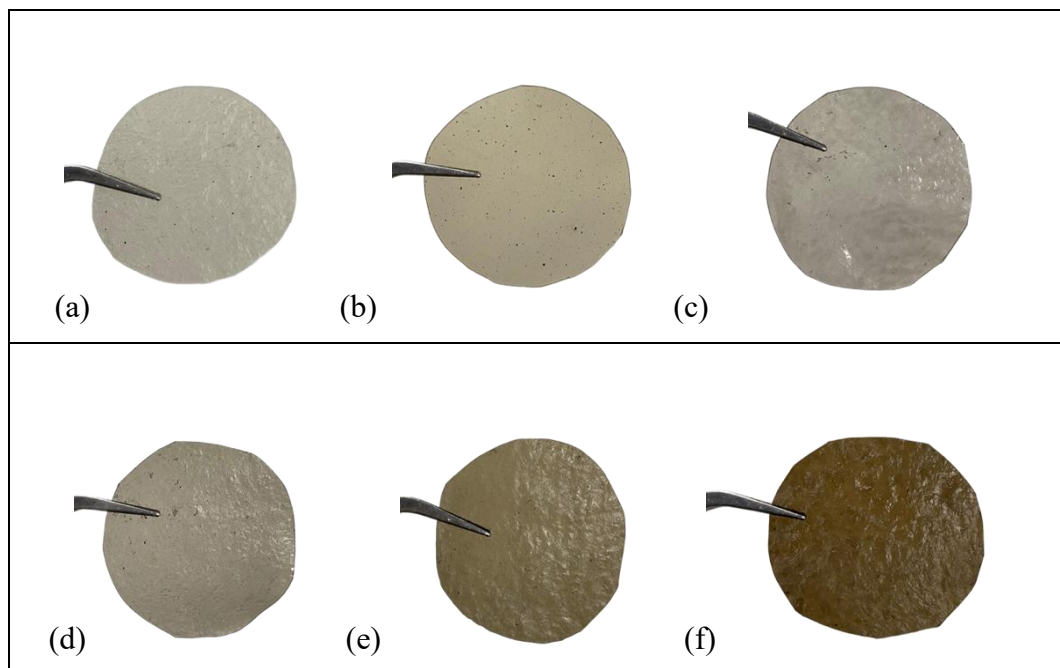
Gambar 8. Struktur Senyawa Antosianin
(Ifadah, dkk. 2021)

Substitusi beberapa gugus kimia pada rangka antosianin dapat mempengaruhi warna yang diekspresikan oleh antosianin dan kestabilannya. Penambahan gugus glikosida atau peningkatan jumlah gugus hidroksil bebas pada cincin A (gambar 8) menyebabkan warna cenderung biru dan relatif tidak stabil. Sebaliknya, penambahan gugus metoksi atau metilasi akan menyebabkan warna cenderung merah dan relatif stabil (Santoso & Estiasih, 2014).

Pada umumnya penambahan hidroksi akan menurunkan stabilitas, sedangkan penambahan metil akan meningkatkan stabilitas. Warna diberikan oleh antosianin berdasarkan susunan ikatan rangkap terkonjugasinya yang panjang, sehingga mampu menyerap cahaya pada rentang cahaya tampak. Sistem ikatan rangkap terkonjugasi ini juga yang mampu menjadikan antosianin sebagai antioksidan dengan mekanisme penangkapan radikal. Radikal bebas adalah atom atau senyawa yang mengandung satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan. Senyawa paling berbahaya dalam radikal bebas adalah hidroksil (OH) sebab memiliki reaktivitas paling tinggi. Molekul tersebut sangat reaktif dalam mencari pasangan elektronnya (Santoso, 2017).

4.2 Lembaran *Smart packaging*

Sejumlah pati singkong dan gliserol ditimbang dengan komposisi pati singkong dan gliserol memiliki perbandingan (3:1), metode pembuatan *smart packaging* bioplastik pati singkong dengan menggunakan metode *pressing* dan menggunakan alat *extruder double screw* model TSH-20B.

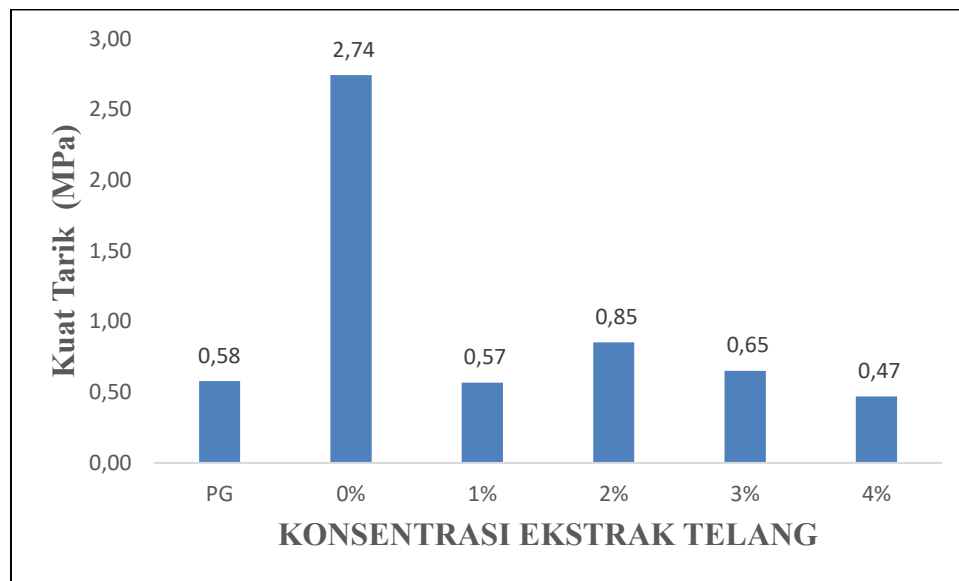


Gambar 9. Lembaran *smart packaging* bioplastik Pati Singkong (a) Pati Gliserol, (b) Konsentrasi ekstrak bunga telang 0%, (c) Konsentrasi ekstrak bunga telang 1%, (d) Konsentrasi ekstrak bunga telang 2%, (e) Konsentrasi ekstrak bunga telang 3%, (f) Konsentrasi ekstrak bunga telang 4%

4.3 Sifat Mekanik

4.3.1 Uji Kuat Tarik

Kuat tarik menurut Sanyang et al. (2015) dalam Zaky dan Rini (2021), menjelaskan bahwa fenomena penurunan kuat tarik karena pengaruh peningkatan konsentrasi pemlastis dapat dijelaskan melalui peran pemlastis yang mengurangi daya tarik molekul yang kuat antar pati dan mendorong pembentukan ikatan hidrogen antara molekul pati dan pemlastis. Hasil pengujian kuat tarik pada kemasan *smart packaging* pati singkong dan gliserol dengan penambahan ekstrak bunga telang dapat dilihat pada gambar grafik 10.



Gambar 10. Grafik Kuat Tarik

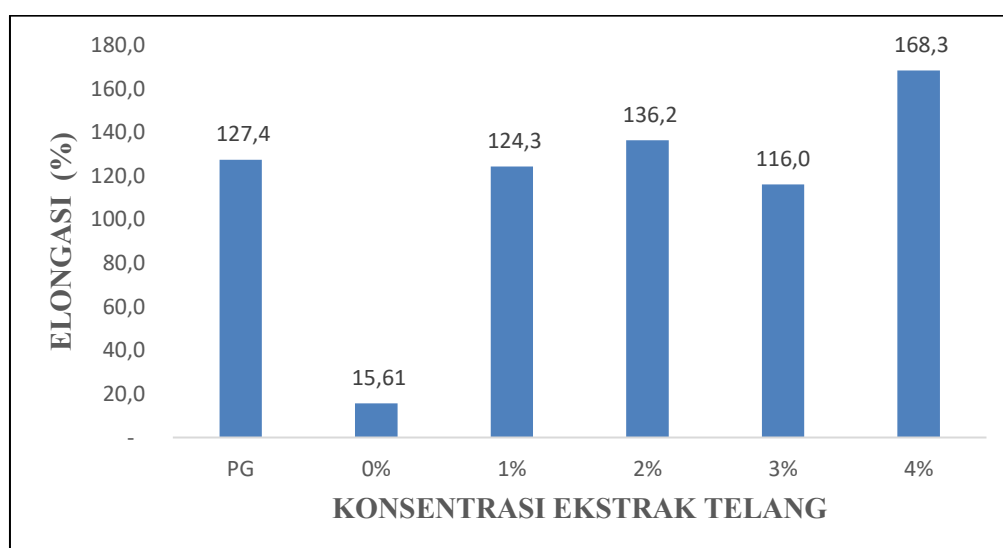
Berdasarkan grafik diatas didapat pati gliserol memiliki nilai kuat tarik sebesar 0,58 MPa, konsentrasi 0% memiliki nilai kuat tarik sebesar 2,74 MPa, konsentrasi 1% memiliki nilai kuat tarik sebesar 0,57 MPa, konsentrasi 2% memiliki nilai kuat tarik sebesar 0,85 MPa, konsentrasi 3% memiliki nilai kuat tarik sebesar 0,63 MPa, konsentrasi 4% memiliki nilai kuat tarik sebesar 0,47 MPa.

Konsentrasi 0% memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati gliserol dan *smart packaging* pada berbagai penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang. Semakin banyak penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang akan mengurangi daya regang putus, karena semakin banyak bahan pengencer (ekstrak bunga telang) maka bahan akan semakin basah dan mengurangi daya regangan putus. Menurut Sanyang *et al.* (2015) dalam Zaki dan Rini (2021), menjelaskan bahwa fenomena penurunan kuat tarik karena pengaruh peningkatan konsentrasi pemlastis dapat dijelaskan melalui peran pemlastis yang mengurangi daya tarik molekul yang kuat antar pati dan mendorong pembentukan ikatan hidrogen antara molekul pati dan pemlastis. Melemahnya ikatan hidrogen diantara rantai pati menyebabkan menurunnya kuat tarik *edible film*. Secara umum nilai kuat tarik *film* bioplastik pada penelitian ini belum memenuhi standar minimal nilai kuat tarik *film* bioplastik yaitu 3,92 MPa (Ariska & Suyatno, 2015) dalam Zaki dan Rini (2021).

Kandungan *plasticizer* bioplastik pati singkong tidak berubah, yang membuatnya fleksibel ketika ditarik. Di sisi lain, *smart packaging* yang memiliki ekstrak, yang membuatnya lebih kaku. Tergantung pada laju tegangan, suhu, dan kelembaban, hubungan tegangan dan regangan pada tarikan memberikan nilai yang sangat berbeda. Hasil analisis variasi ANOVA menunjukkan bahwa variabel pati singkong dan gliserol mempengaruhi nilai kuat tarik dari yang dihasilkan dengan nilai p-value 0,00 atau kurang dari 0,05 yang mana nilai ini lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05 ($\alpha = 5\%$) dan mengindikasikan bahwa nilai F-hitung lebih besar daripada F-tabel.

4.3.2 Elongasi

Elongasi merupakan tingkat kemuluran bahan yang dihitung dengan membandingkan penambahan panjang sebelum dan sesudah dilakukan uji tarik. Perubahan komposisi dapat mempengaruhi tingkat kemuluran sampel yang dihasilkan (Masahid, *et, al*, 2023). Berdasarkan Gambar 11, nilai elongasi yang dihasilkan yaitu pada *range* 15,61 – 216,60%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penambahan gliserol akan menyebabkan nilai elongasi semakin tinggi. Semakin banyak gliserol yang digunakan maka nilai elongasi akan semakin tinggi (Unsa, 2018). Hasil analisis variasi ANOVA menunjukkan bahwa variabel pati singkong dan gliserol memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai elongasi yang ditunjukkan dengan nilai sig.<0,05 yaitu 0.000 dan 0.007.

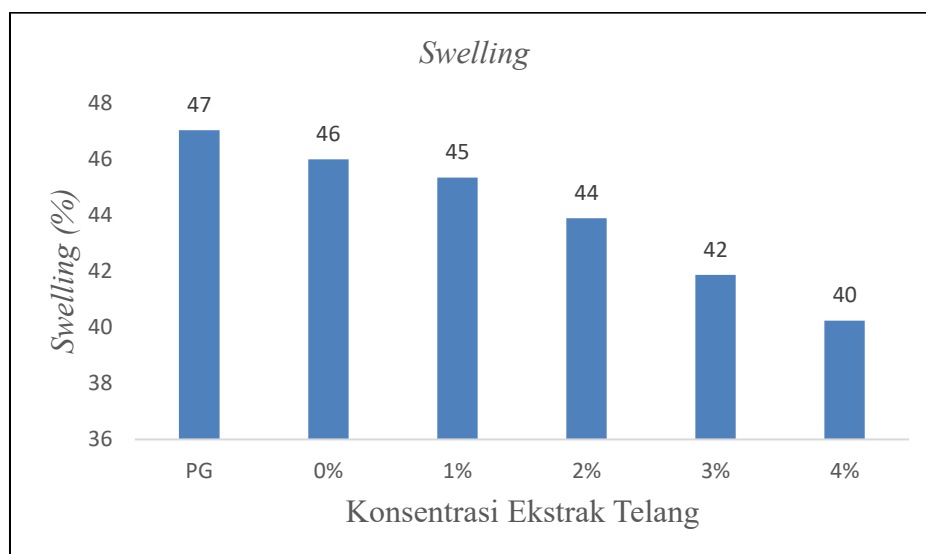


Gambar 11. Grafik Elongasi

Penambahan pati singkong, *plasticizer* gliserol dan ekstrak antosianin dari bunga telang dapat mengakibatkan penurunan nilai elongasi *smart packaging*. Hal tersebut diakibatkan adanya interaksi kuat dan kompak antara molekul pati dan gliserol, *smart packaging* yang semakin kuat akan mengakibatkan semakin sulit untuk merenggang atau memanjang, sehingga akan memudahkan kemungkinan putus dan memperkecil presentase perpanjangan *smart packaging* (Rahim, 2011). Selain itu penambahan gliserol pada pembuatan *smart packaging* dapat menyebabkan interaksi hidrogen berkurang, sehingga struktur *film* lebih renggang dan elastis (Hawa, 2020). Hal ini sesuai dengan penelitian Galiotta et al. (1998) dalam Ardiyan et al (2023), semakin tinggi penambahan gliserol akan meningkatkan keregangan dan fleksibilitas tetapi menurunkan elastisitas, kuat tarik, dan sifat pertahanan *film*.

4.3.3 Swelling

Uji ketahanan bioplastik dilakukan untuk mengetahui terjadinya ikatan dalam polimer serta struktur ikatan dalam polimer yang ditentukan melalui penambahan berat polimer setelah terjadinya penyerapan air. Sifat ketahanan bioplastik terhadap air ditentukan dengan uji swelling, yaitu penggabungan plastik oleh adanya air. Uji *swelling* pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suatu bioplastik terhadap air. Uji *swelling* dilakukan dengan cara mencelupkan sampel ke dalam air dan mengukur peningkatan berat akibat penyerapan air.

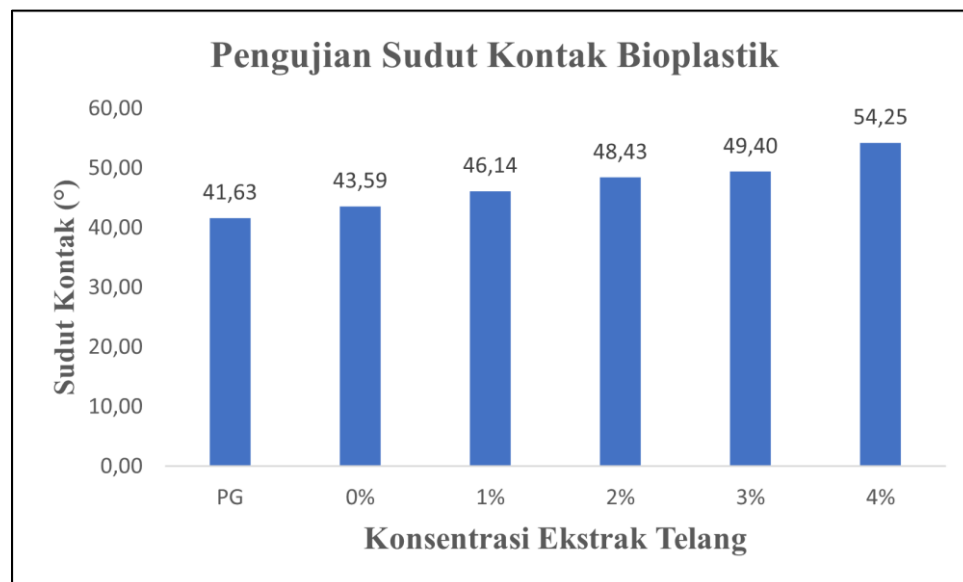


Gambar 12. Uji *Swelling*

Gambar 12 memperlihatkan penurunan nilai *swelling* seiring meningkatnya konsentrasi ekstrak bunga telang dapat disebabkan oleh terbentuknya struktur matriks *film* yang lebih kompak akibat adanya interaksi antarmolekul antara antosianin dengan komponen pati dan gliserol. Selain itu, keberadaan nanosilika sebesar 4% turut memperkuat struktur *film*, sehingga mengurangi permeabilitas air terhadap bioplastik. Secara umum, rendahnya nilai *swelling* pada bioplastik menunjukkan tingkat ketahanan yang lebih tinggi terhadap kelembaban. Hal ini sangat penting dalam aplikasi *smart packaging*, karena kemasan harus mampu melindungi produk dari paparan air yang berlebihan agar tidak mempercepat kerusakan atau pembusukan produk yang dikemas.

4.3.4 Sudut Kontak

Sudut kontak diperoleh secara geometris dengan menerapkan garis singgung dari titik kontak sepanjang antarmuka cair-uap di profil droplet (Yuan & Lee, 2013 dalam Intandiana, dkk, 2019). Hasil pengujian nilai masing-masing sudut kontak dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Pengujian Sudut Kontak Bioplastik

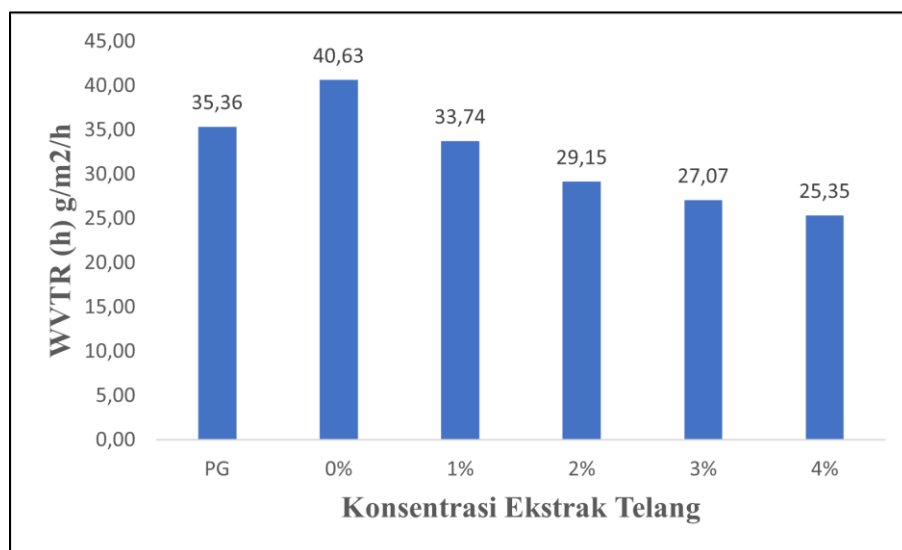
Adanya pelakuan pelapisan diketahui meningkatkan nilai sudut kontak bioplastik dengan masing-masing nilai sudut kontak. Nilai besaran sudut kontak dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu bahan bersifat basah (hidrofilik) apabila

memiliki nilai sudut kontak di bawah 30° , bahan bersifat basah sebagian (*Partially wetted*) apabila nilai sudut kontak antara 30° - 89° , dan bahan bersifat menolak air (hidrofobik) apabila nilai sudut kontak $> 90^\circ$ (Syakur et al., 2011 dalam Intandiana, dkk, 2019).

Terdapat hubungan *invers* antara sudut kontak dan *swelling*. *Film* dengan sudut kontak tinggi (hidrofobik) cenderung memiliki nilai *swelling* rendah karena air lebih sulit meresap ke dalam matriks *film*. Sebaliknya, *film* dengan sudut kontak rendah (hidrofilik) lebih mudah menyerap air dan menunjukkan nilai *swelling* yang tinggi. Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa hubungan ini tidak selalu linier. Beberapa formulasi menunjukkan bahwa meskipun sudut kontak tidak terlalu tinggi, nilai *swelling* tetap rendah. Hal ini menunjukkan bahwa selain sifat permukaan, struktur internal *film* dan distribusi bahan tambahan seperti ekstrak bunga telang dan nanosilika turut memengaruhi kapasitas penyerapan air.

4.3.5 Water Vapour Transmission Rate (WVTR)

Laju transmisi uap air atau WVTR merupakan suatu pengukuran kemudahan suatu bahan untuk dilalui uap air tanpa memperhatikan ketebalan bahan dan perbedaan tekanan udara di dalam dan di luar bahan (Pudjiastuti, et al., 2012). Pengujian WVTR digunakan untuk mengetahui permeabilitas dari bahan pengemas yang akan digunakan. Hasil pengujian WVTR dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Uji *Water Vapor Transmission Rate* dengan Konsentrasi Bunga Telang yang Berbeda

Hasil WVTR menunjukan pengujian WVTR dilakukan untuk mengetahui seberapa baik *smart packaging* yang dikembangkan mampu menahan uap air. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan ekstrak bunga telang memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai WVTR. Nilai WVTR untuk formulasi tanpa ekstrak (0%) adalah 40,63 g/m²/hari, sedangkan pada formulasi dengan 4% ekstrak bunga telang turun menjadi 25,35 g/m²/hari. Penurunan nilai WVTR menunjukkan bahwa *film* bioplastik menjadi semakin tahan terhadap penetrasi uap air seiring peningkatan konsentrasi ekstrak bunga telang. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya jaringan matriks yang lebih padat dan homogen akibat interaksi antara antosianin, pati, dan nanosilika. Nanosilika berperan dalam mengisi celah-celah antar polimer, sehingga memperkecil porositas dan menurunkan difusi molekul air melintasi *film*.

4.4 Sifat Fisik

4.4.1 Warna

Tabel 5. Hasil Pengujian Warna Bioplastik Pati Singkong

Sampel Kode	L*	a*	b*	ΔE
PG	64,30±0,17	5,07±0,06	14,27±0,15	66,19
0%	65,83±0,23	4,90±0,10	13,70±0,26	67,59
1%	48,90±1,18	4,30±0,10	12,67±0,25	51,14
2%	41,87±0,32	6,87±0,06	17,87±0,06	45,57
3%	35,63±0,21	13,03±0,12	20,67±0,06	42,86
4%	31,27±0,81	13,20±0,20	16,60±1,21	37,73

Nilai L^* menunjukkan kecerahan dengan rentang 0 (hitam) sampai 100 berarti (putih). Nilai L^* pada *smart packaging* bioplastik pati singkong dengan sampel kode mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang dari 64,30 (PG) ke 31,27 (4%).

Nilai a^* menunjukkan posisi antara hijau (-) dan merah (+). Nilai a^* pada *smart packaging* bioplastik pati singkong dengan sampel kode berfluktuasi dengan penambahan ekstrak bunga telang dimulai dari 5,07 (PG) menurun ke 4,30 (1%) dan kemudian sedikit meningkat dan berfluktuasi hingga mencapai 13,20 (4%).

Nilai b^* menunjukkan posisi antara biru (-) dan kuning (+). Nilai b^* pada *smart packaging* bioplastik pati singkong dengan sampel kode berfluktuasi dengan penambahan ekstrak bunga telang dimulai dari 14,27 (PG) menurun ke 12,67 (1%) dan kemudian sedikit meningkat dan berfluktuasi dari 17,87 (2%) ke 20,67 (3%), dan kembali menurun menjadi 16,60 (4%).

Nilai ΔE menunjukkan perbedaan warna yang terlihat, yang berarti warna yang ditampilkan lebih akurat. Nilai ΔE pada *smart packaging* bioplastik pati singkong menurun secara signifikan dari 66,19 (PG) ke 37,73 (4%).

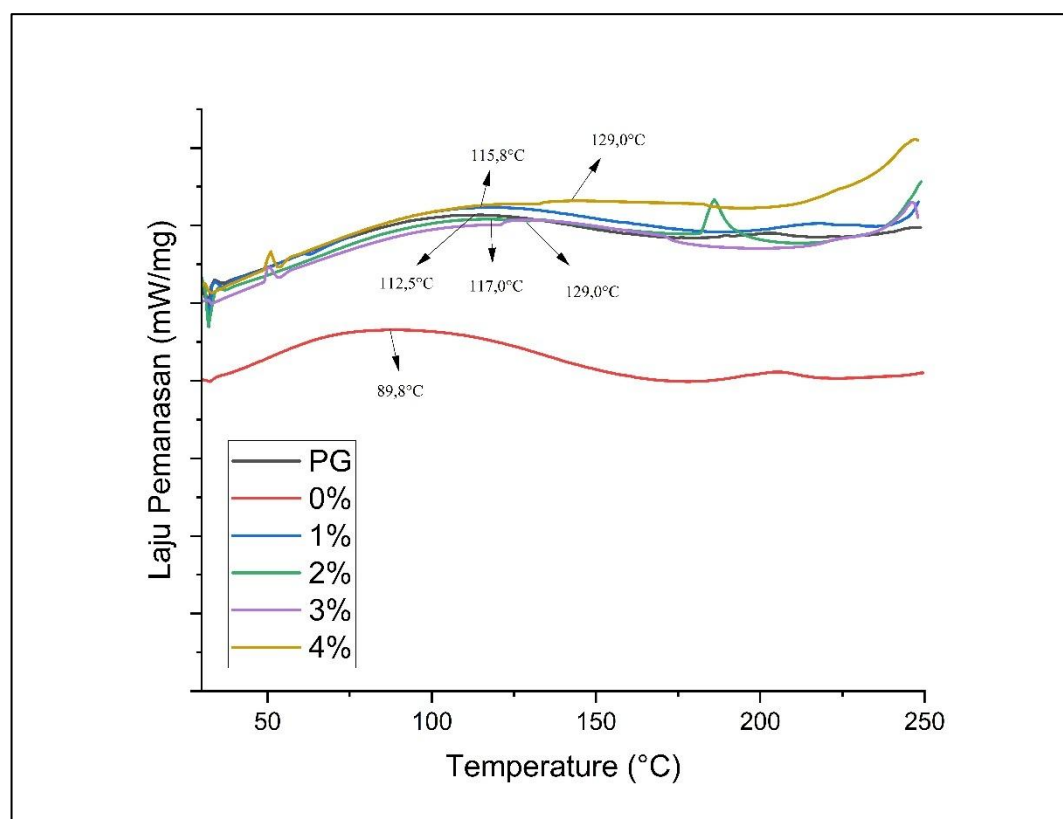
Hasil pengujian warna menunjukkan bahwa penambahan ekstrak antosianin dari bunga telang menyebabkan penurunan kecerahan (L^*), peningkatan nilai a^* (menuju warna merah), peningkatan pada nilai b^* (menuju warna kuning) dan perubahan warna yang ditampilkan lebih akurat (ΔE). Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak bunga telang memiliki dampak yang lebih akurat terhadap karakteristik warna dari *smart packaging* bioplastik yang dihasilkan. Peningkatan nilai a^* dan b^* pada *smart packaging* bioplastik pati singkong yang dihasilkan mengindikasikan terjadinya pencoklatan yang kemungkinan besar disebabkan oleh reaksi maillard. Reaksi ini dapat dipicu oleh proses pada suhu tinggi dan keberadaan asam amino dan gula pereduksi (Hustiany, 2011; Tamanna & Mahmood, 2015; Liu et al., 2022).

Hasil analisis variansi ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan tunggal variabel pati dan gliserol memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai *luminance* atau L^* yang ditunjukkan dengan nilai sig.<0,05 yaitu <0,001.

4.5 Sifat Thermal

4.5.1 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Teknik DSC merupakan teknik analisa untuk mengukur perbedaan kalor yang masuk ke dalam sampel dengan pembanding sebagai fungsi temperatur. DSC membantu memahami perilaku termal komponen makanan seperti pati, lemak, dan protein. Ini digunakan untuk mempelajari gelatinisasi pati, profil leleh lemak, dan denaturasi protein, yang semuanya penting untuk pemrosesan dan kualitas makanan.



Gambar 15. DSC Bioplastik Pati Singkong

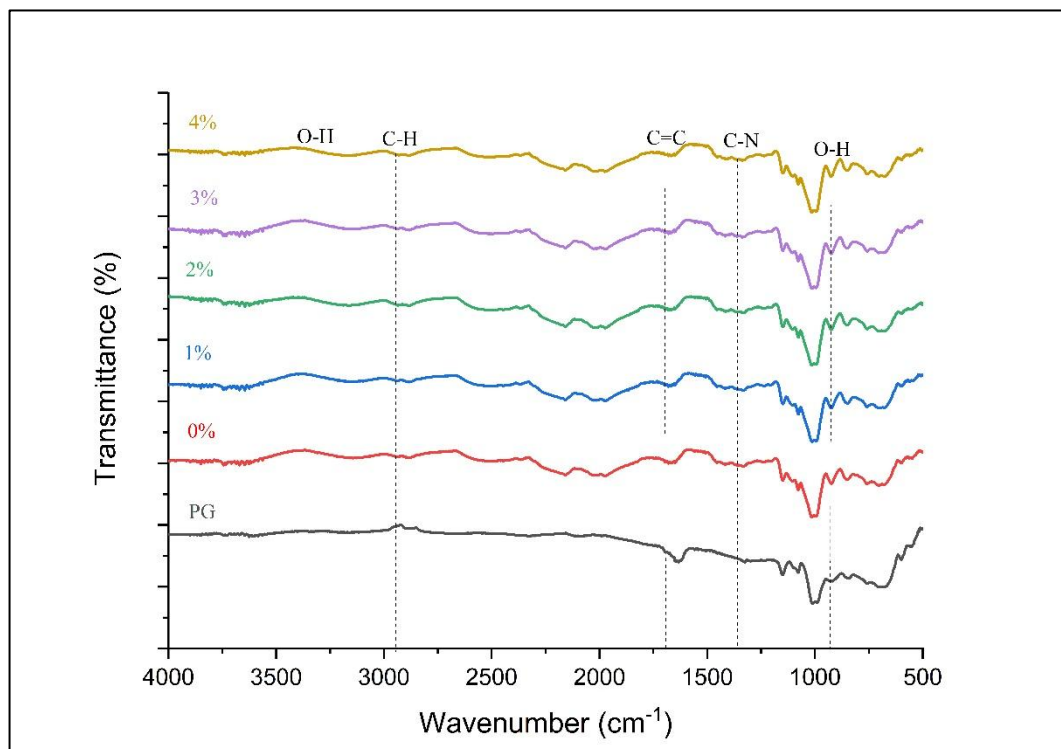
Dalam penelitian ini, *differential scanning calorimetry* (DSC) digunakan untuk memastikan tingkat penyerapan energi yang ditunjukkan oleh bahan plastik *degradable*. Salah satu cara untuk menilai kualitas plastik adalah dengan melihat bagaimana plastik bereaksi terhadap panas, untuk proses ini, pemanasan bersifat eksotermik. Pada gambar 15. pati gliserol memiliki kisaran suhu transisi gelas 112,5°C dimana transisi gelas dapat terjadi karena suhu padatan *amorf* meningkat,

titik leleh 36,8°C, dan suhu kristalisasi 179,9°C. Pati gliserol dan ekstrak bunga telang 0% memiliki kisaran suhu transisi gelas 89,9°C dimana transisi gelas dapat terjadi karena suhu padatan *amorf* meningkat, titik leleh 32,4°C, dan suhu kristalisasi 149,3°C. Pati gliserol dan ekstrak bunga telang 1% memiliki kisaran suhu transisi gelas 115,8°C dimana transisi gelas dapat terjadi karena suhu padatan *amorf* meningkat, titik leleh 61,4°C, dan suhu kristalisasi 150,9°C. Pati gliserol dan ekstrak bunga telang 2% memiliki kisaran suhu transisi gelas 117,0°C dimana transisi gelas dapat terjadi karena suhu padatan *amorf* meningkat, titik leleh 37,5°C, dan suhu kristalisasi 181,4°C. Pati gliserol dan ekstrak bunga telang 3% memiliki kisaran suhu transisi gelas 129,0°C dimana transisi gelas dapat terjadi karena suhu padatan *amorf* meningkat, titik leleh 49,4°C, dan suhu kristalisasi 174,0°C. Pati gliserol dan ekstrak bunga telang 4% memiliki kisaran suhu transisi gelas 144,4°C dimana transisi gelas dapat terjadi karena suhu padatan *amorf* meningkat, titik leleh 54,1°C, dan suhu kristalisasi 184,1°C. Perubahan dari padatan amorf ke padatan kristal adalah proses eksotermis, dan menghasilkan puncak (*peak*) pada sinyal DSC pada termogram.

4.6 Sifat Kimia

4.6.1 *Fourier Transmission Infrared Spectrophotometer (FT-IR)*

Fourier Transmission Infrared Spectrophotometer (FT-IR) digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi dan ikatan yang berbeda dalam sampel nanoselulosa yang disintesis. FT-IR berfungsi sebagai karakterisasi utama untuk mengonfirmasi keberhasilan isolasi selulosa dan nanoselulosa dari sumbernya (Marakana et al., 2021). Pada analisa FT-IR, setiap molekul memiliki spektrum inframerah yang berbeda-beda. Ketika molekul menyerap radiasi inframerah, molekul akan bergetar lebih kuat. Energi ini dilepaskan sebagai panas ketika molekul kembali ke keadaan semula. Panjang gelombang penyerapan tergantung pada sifat vibrasi ikatan. Penyerapan radiasi inframerah oleh jenis ikatan yang berbeda, terjadi pada panjang gelombang yang berbeda-beda, hasil dari pengujian FTIR untuk bioplastik pati singkong dan *smart packaging* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Spektrum FT-IR Pada Bioplastik Pati Singkong dan *Smart packaging*

Gambar 16 spektrum FT-IR pada seluruh sampel menunjukkan puncak serapan lebar di sekitar $3200\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$, yang merupakan karakteristik regangan gugus hidroksil (--OH). Gugus ini berasal dari gugus polar yang melimpah dalam struktur pati dan gliserol, serta dari senyawa fenolik pada ekstrak bunga telang (Sánchez-González *et al.*, 2011). Meningkatnya intensitas pita ini pada konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi menunjukkan adanya peningkatan kandungan --OH serta interaksi melalui ikatan hidrogen antar komponen.

Pada puncak $2920\text{--}2930\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan asimetris dan simetris C–H dari gugus metil dan metilen yang berasal dari gliserol dan pati (Chung *et al.*, 2010). Pada daerah $1600\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$, tampak pita yang berkaitan dengan regangan ikatan C=C aromatik, yang merupakan indikasi kehadiran senyawa flavonoid dari bunga telang (Sulaiman *et al.*, 2020). Semakin tajamnya pita ini pada konsentrasi 3–4% menunjukkan keberhasilan ekstrak bunga telang terinkorporasi dalam struktur *film*.

Pada puncak 1000–1150 cm^{-1} menandakan regangan C–O dan C–O–C dari ikatan glikosidik pada polisakarida (Kavoosi *et al.*, 2013). Variasi intensitas dan sedikit pergeseran pada pita ini mengindikasikan adanya interaksi antarmolekul, khususnya antara gugus polar dari pati dan gliserol dengan nanosilika serta senyawa aktif dari ekstrak.

Selain itu, munculnya puncak intens di sekitar 1100 cm^{-1} yang semakin kuat dengan adanya nanosilika menunjukkan vibrasi ikatan Si–O–Si, yang menandakan bahwa nanosilika berhasil terdispersi dalam matriks *film* (Zhang *et al.*, 2014). Interaksi ini dapat membantu meningkatkan kestabilan struktural dan sifat mekanik *film*.

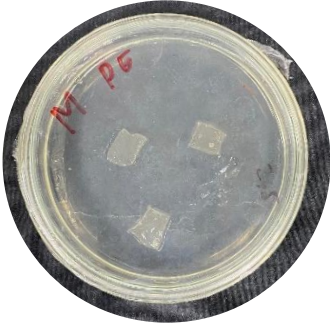
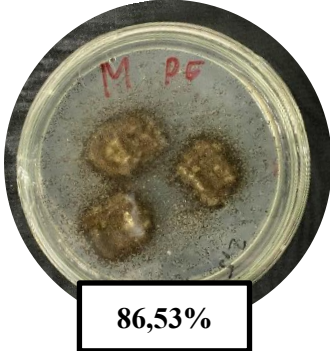
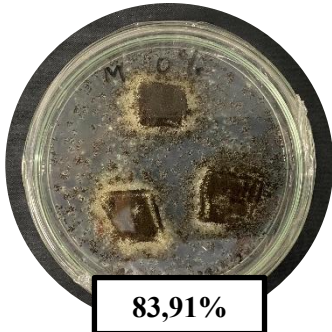
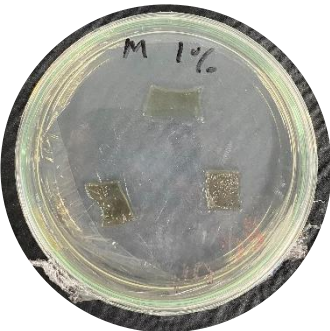
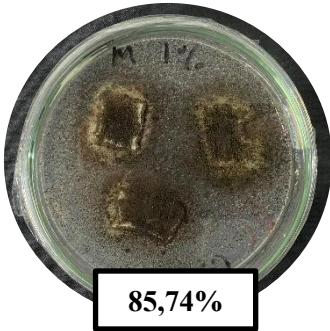
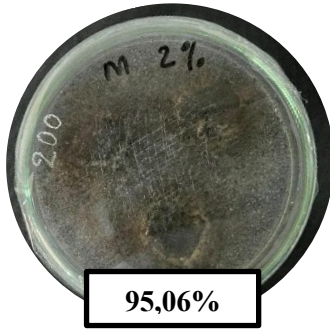
Pada puncak daerah 1400–1500 cm^{-1} juga menguat pada konsentrasi ekstrak yang tinggi dan berkaitan dengan vibrasi gugus C–N dan senyawa aromatik lainnya. Ini mendukung hipotesis bahwa ekstrak bunga telang berperan tidak hanya sebagai pewarna alami, tetapi juga sebagai komponen aktif yang dapat memodifikasi karakteristik kimia *film*.

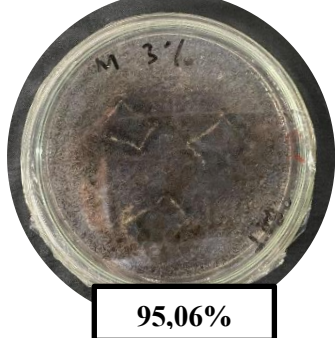
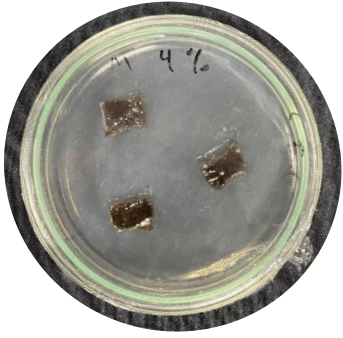
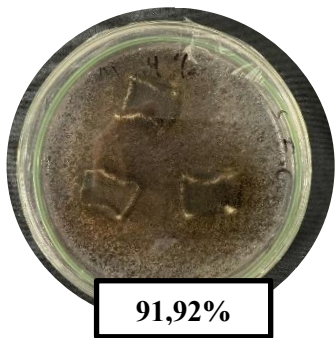
Hasil FTIR menunjukkan adanya interaksi kimia dan fisik antara bahan penyusun *film*. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak bunga telang, selain meningkatkan sifat bioaktif *film*, juga berkontribusi dalam membentuk jaringan molekuler melalui ikatan hidrogen dan interaksi polar yang dapat mempengaruhi sifat fungsional *film* seperti kelarutan, *swelling*, dan ketahanan air.

4.7 Uji Biodegradeble

Uji *Biodegradable* merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar suatu bahan dapat diuraikan oleh komponen hidup. Pengujian sifat *biodegradable* pada *smart packaging* juga dilakukan dengan menggunakan jamur *A.niger*. Jamur *A.niger* dapat tumbuh dengan mudah pada material organik seperti pada tumbuhan busuk dan tanaman serasah (Rilda *et al.*, 2023). Pertumbuhan dari jamur *A.niger* ini yang menjadi indikator kemampuan degradasi sampel. Tabel 6 menunjukkan laju degradasi sampel pati singkong dan gliserol pada *smart packaging* bioplastik selama 10 hari menggunakan jamur *A.niger*.

Tabel 6. Perubahan *Smart packaging* Bioplastik Hasil Uji *Biodegradable*
Menggunakan Jamur *A.niger*

Variasi	Hari ke-0	Hari ke-10
PG		
0%		
1%		
2%		

3%		 95,06%
4%		 91,92%

Berdasarkan tabel diatas bioplastik berbasis pati singkong, gliserol, ekstrak bunga telang, dan nanosilika diuji sifat biodegradabilitasnya menggunakan *Aspergillus niger* (*A. niger*) sebagai mikroorganisme pengurai.

Uji biodegradabilitas dilakukan selama 10 hari. Berdasarkan hasil pengamatan, seluruh variasi formula menunjukkan pertumbuhan jamur *A. niger* yang signifikan ($\geq 60\%$), memenuhi kriteria SNI 71887:2016 sebagai bahan *biodegradable*. Jamur ini diketahui menghasilkan enzim amilase yang efektif dalam menguraikan pati. nanosilika dapat mengurangi porositas atau kelarutan air dari *film*, yang secara tidak langsung bisa memperlambat penetrasi atau akses enzim dari jamur ke substrat pati. Namun efek ini tampaknya tidak cukup signifikan untuk menghentikan pertumbuhan *A. niger*, karena *film* tetap menunjukkan degradasi yang tinggi.

Syarat suatu bioplastik dapat terurai menurut SNI 71887: 2016 adalah terjadi pertumbuhan mikroorganisme $>60\%$ selama satu minggu pengujian. Bioplastik memenuhi syarat biodegradable karena bioplastik dapat diuraikan oleh *Aspergillus niger* merupakan mikroorganisme yang mampu menguraikan pati karena menghasilkan enzim amilase.

4.8 Analisis Morfologi

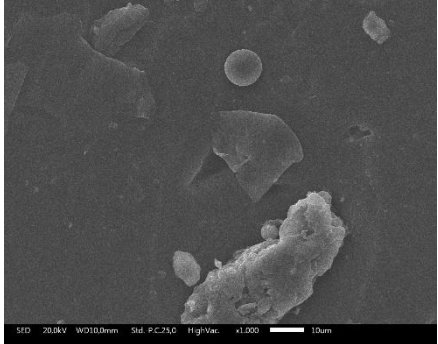
4.8.1 *Scanning Elektron Microscope (SEM)*

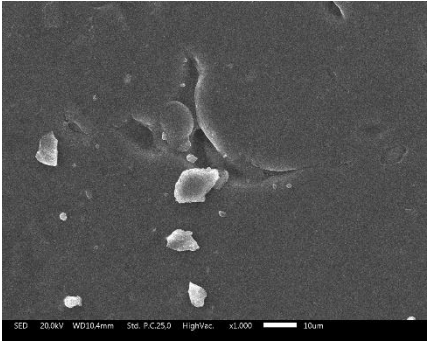
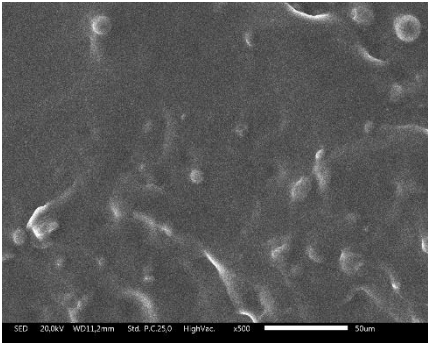
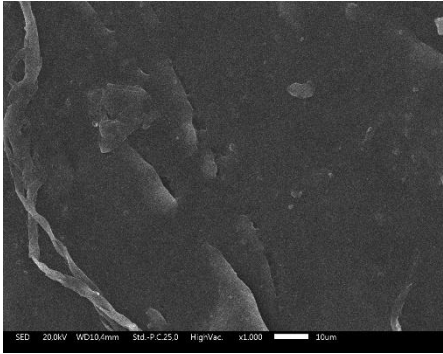
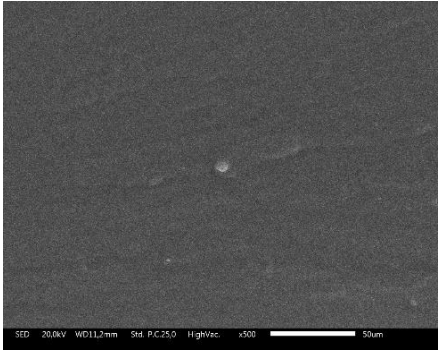
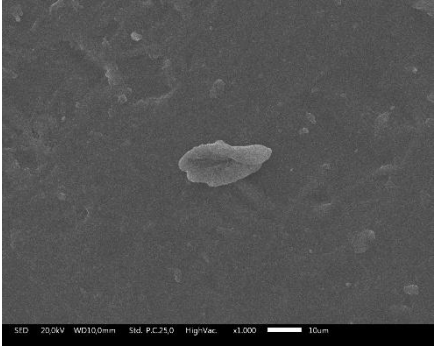
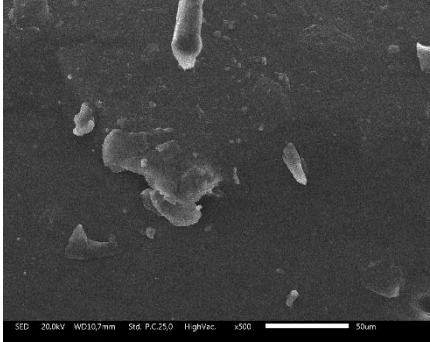
Berkas elektron sekunder adalah jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menunjukkan bentuk permukaan material yang dianalisis. Prinsip kerja SEM adalah dengan menunjukkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Berkas elektron ini akan dipantulkan kembali oleh permukaan material yang terkena atau disinari berkas elektron (Kurniawan, 2017).

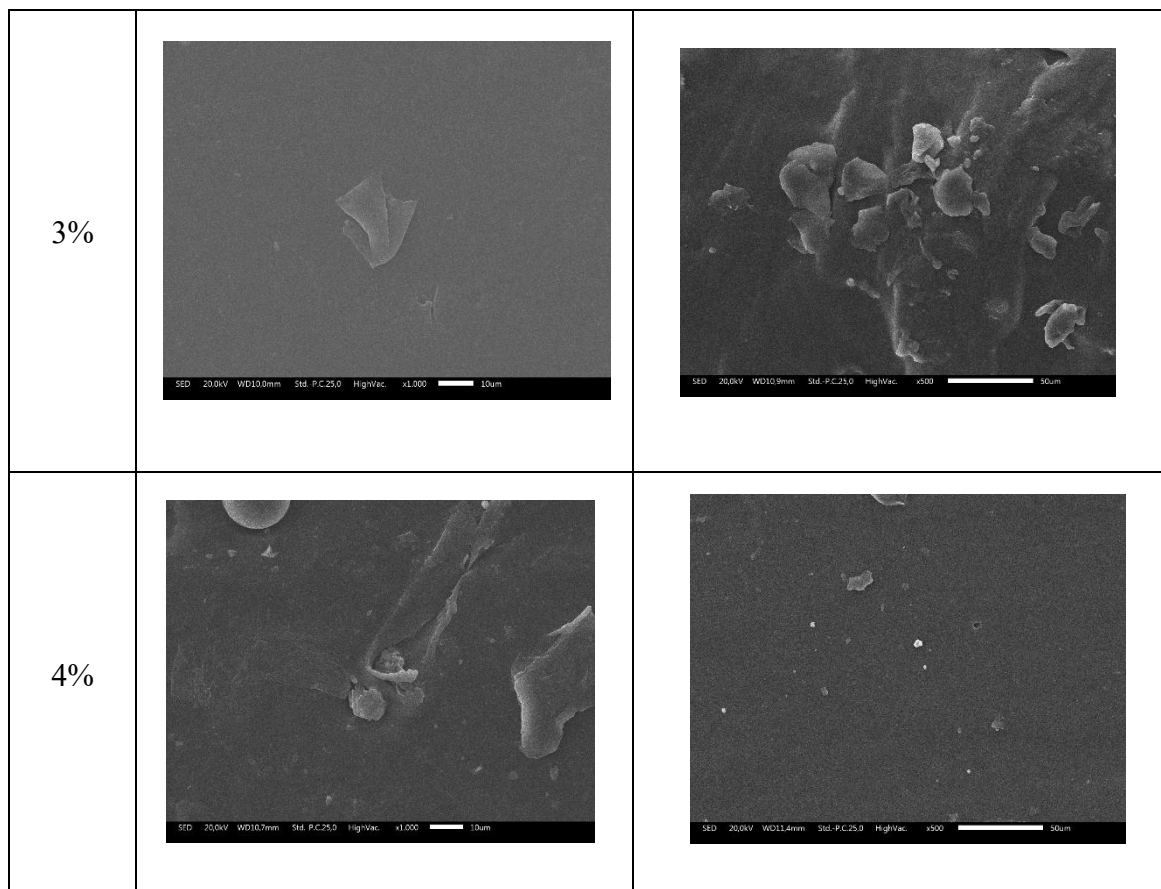
Dengan menggunakan elektro statik dan elektro magnetik untuk mengatur pencahayaan dan tampilan gambar, SEM memiliki resolusi dan pembesaran objek hingga 2 juta kali lebih besar daripada mikroskop Cahaya (Kurniawan, 2017).

Bentuk morfologi suatu benda dipengaruhi oleh komponen pembentuknya dan proses pembuatan. Semakin homogen morfologi permukaan suatu bahan, semakin baik pencampurannya. Pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui sifat morfologi *smart packaging* yang dibuat. Hasil SEM dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Morfologi Bioplastik Pati Singkong Pada Perbesaran 500x

Sampel	Penampang muka	Penampang melintang
PG		

0%		
1%		
2%		



Berdasarkan hasil pengamatan SEM dilakukan pada beberapa formulasi, yaitu pada konsentrasi ekstrak bunga telang 0%, 2%, dan 4%. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa:

- Formulasi 0% menunjukkan permukaan yang relatif halus dan kompak. Hal ini menunjukkan bahwa komponen utama (pati singkong dan gliserol) dapat tercampur dengan baik tanpa adanya gangguan dari senyawa aktif ekstrak bunga telang.
- Formulasi 2% menunjukkan permukaan yang masih cukup kompak dengan distribusi nanosilika yang relatif merata. Adanya ekstrak bunga telang tidak menimbulkan pori-pori besar, menunjukkan bahwa pada konsentrasi ini campuran bahan masih dalam kondisi homogen. Hal ini berkorelasi dengan hasil uji kuat tarik yang cukup baik.
- Formulasi 4% memperlihatkan permukaan yang lebih kasar, dengan indikasi adanya agregasi dan porositas. Struktur tidak merata ini

menunjukkan bahwa pada konsentrasi tinggi, ekstrak bunga telang cenderung mengganggu integritas struktur *film* bioplastik, yang berdampak pada penurunan sifat mekanik, khususnya kuat tarik.

Kuat tarik merupakan parameter penting dalam mengevaluasi sifat mekanik suatu *film* bioplastik. Nilai kuat tarik yang optimal mencerminkan interaksi molekuler yang kuat dan struktur internal yang kompak. Berdasarkan hasil pengujian, formulasi dengan penambahan ekstrak bunga telang 0% menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi (2,74 MPa), sementara formulasi 4% menunjukkan nilai terendah (0,47 MPa).

Korelasi antara hasil SEM dan uji kuat tarik dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Formulasi dengan struktur halus dan kompak (0%) menghasilkan nilai kuat tarik yang tinggi karena interaksi antara molekul pati dan gliserol tidak terganggu.
- Formulasi dengan struktur cukup homogen (2%) tetap memiliki performa kuat tarik yang baik karena distribusi bahan aktif masih terkendali.
- Formulasi dengan struktur kasar dan berpori (4%) menyebabkan berkurangnya kekuatan mekanik karena adanya gangguan terhadap kontinuitas matriks polimer.

Hasil analisis SEM mendukung dan memperjelas hasil pengujian kuat tarik, di mana morfologi permukaan *film* memainkan peran penting dalam menentukan kekuatan mekanik *smart packaging* berbasis pati singkong.

4.9 Analisis Hasil *Total Plate Count* (TPC)

Total Plate Count (TPC) merupakan menghitung atau menentukan banyaknya mikroba dalam suatu bahan pangan. Nilai TPC pada suatu bahan pangan dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerusakan pada bahan pangan serta penentuan kelayakan untuk dikonsumsi (Barus, Santosa, & Septinova, 2017). Pengujian TPC dilakukan dengan metode tuang (*pour plate*). Prinsip dari metode TPC ini adalah menumbuhkan sel bakteri pada media pertumbuhan agar di dalam cawan dalam waktu tertentu. Sel bakteri yang berkembang biak akan membentuk koloni sehingga

memungkinkan untuk dihitung pada media cawan (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2009). Hasil Perhitungan *Total Plate Count* (TPC) hari ke-0 dan hari ke-7 sebagai berikut yang terdapat pada tabel 9.

Tabel 8, Perhitungan *Total Plate Count* (TPC) Hari ke-0

Sampel	Seri Pengenceran	Ulangan	Jumlah Koloni	CFU/g
Tanpa Plastik (TP)	10^{-4}	1	47	$9,27 \times 10^{-3}$
		2	55	CFU/g
	10^{-5}	1	35	$6,09 \times 10^{-4}$
		2	32	CFU/g
Konsentrasi ekstrak bunga telang 2%	10^{-4}	1	43	$7,27 \times 10^{-3}$
		2	37	CFU/g
	10^{-5}	1	17	$2,63 \times 10^{-4}$
		2	12	CFU/g
Plastik PP	10^{-4}	1	37	$5,72 \times 10^{-3}$
		2	26	CFU/g
	10^{-5}	1	22	$3,63 \times 10^{-4}$
		2	18	CFU/g

Berdasarkan hasil penghitungan pada tabel 9 jumlah koloni dengan sampel Tanpa Plastik (TP) hari ke-0 pengenceran 10^{-4} menunjukkan jumlah koloni yang memenuhi syarat hitung dengan jumlah koloni masing-masing 47 dan 55 koloni pada ulangan pertama dan kedua. Dari data tersebut, bakteri dalam sampel dihitung sebesar $9,27 \times 10^{-3}$ CFU/g, sementara itu pada pengenceran 10^{-5} menghasilkan koloni yang valid tetapi tidak memenuhi SNI. Sampel 2% pengenceran 10^{-4} menunjukkan jumlah koloni yang memenuhi syarat hitung dengan jumlah koloni masing-masing 43 dan 37 koloni pada ulangan pertama dan kedua. Dari data tersebut, bakteri dalam sampel dihitung sebesar $7,27 \times 10^{-3}$ CFU/g, sementara itu pada pengenceran 10^{-5} menghasilkan koloni yang valid tetapi tidak memenuhi SNI. Sampel Plastik PP pengenceran 10^{-4} menunjukkan jumlah koloni yang memenuhi syarat hitung dengan jumlah koloni masing-masing 37 dan 26 koloni pada ulangan

pertama dan kedua. Dari data tersebut, bakteri dalam sampel dihitung sebesar $5,72 \times 10^{-3}$ CFU/g, sementara itu pada pengenceran 10^{-5} menghasilkan koloni yang valid tetapi tidak memenuhi SNI. Oleh karena itu, pengenceran 10^{-4} pada analisis *Total Plate Count* (TPC) masih dibawah batas maksimum aman konsumsi, dan layak secara mikrobiologis. Berdasarkan SNI 7388:2009 bahwa batas maksimum cemaran mikroba pada daging ayam adalah *total plate count* (TPC) 1×10^6 koloni/g (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2009). Dari hasil tersebut diperoleh bahwa pengenceran 10^{-4} merupakan tingkat pengenceran yang paling sesuai untuk estimasi jumlah koloni pada sampel ini.

Tabel 9. Perhitungan *Total Plate Count* (TPC) Hari ke-7

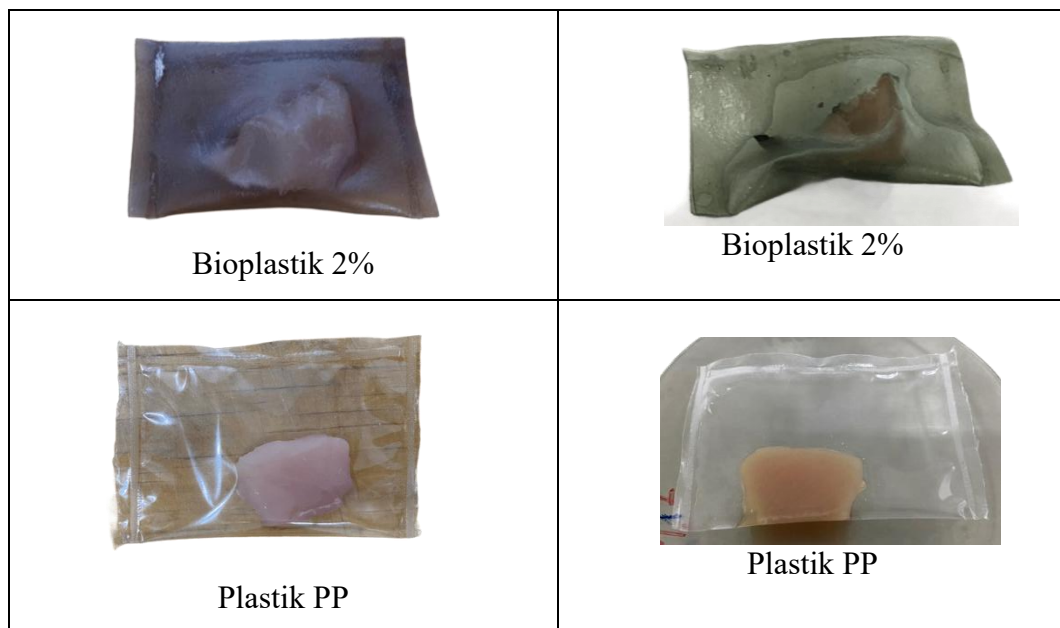
Sampel	Seri Pengenceran	Ulangan	Jumlah Koloni	CFU/g
Tanpa Plastik (TP)	10^{-4}	1	235	$3,73 \times 10^{-2}$ CFU/g
		2	138	
	10^{-5}	1	56	$9,36 \times 10^{-4}$ CFU/g
		2	47	
Konsentrasi ekstrak bunga telang 2%	10^{-4}	1	36	$6,90 \times 10^{-3}$ CFU/g
		2	40	
	10^{-5}	1	14	$3,18 \times 10^{-4}$ CFU/g
		2	21	
Plastik PP	10^{-4}	1	93	$1,63 \times 10^{-3}$ CFU/g
		2	87	
	10^{-5}	1	71	$1,72 \times 10^{-4}$ CFU/g
		2	58	

Berdasarkan hasil penghitungan pada tabel 10 jumlah koloni dengan sampel Tanpa Plastik (TP) hari ke-7 pengenceran 10^{-4} menunjukkan jumlah koloni yang melebihi batas atas dari rentang valid mikrobiologi, sementara itu pada pengenceran 10^{-5} menghasilkan jumlah koloni 56 dan 47 pada ulangan pertama dan kedua dengan hasil perhitungan $9,36 \times 10^{-4}$ CFU/g yang valid memenuhi SNI. Sampel konsentrasi ekstrak bunga telang 2% pada pengenceran 10^{-4} menunjukkan jumlah

koloni yang memenuhi syarat hitung dengan jumlah koloni masing-masing 36 dan 40 koloni pada ulangan pertama dan kedua. Dari data tersebut, bakteri dalam sampel dihitung sebesar $6,90 \times 10^{-3}$ CFU/g, sementara itu pada pengenceran 10^{-5} menghasilkan jumlah koloni sebesar $3,18 \times 10^{-4}$ CFU/g yang valid sehingga memenuhi SNI. Sampel Plastik PP pengenceran 10^{-4} menunjukkan jumlah koloni yang memenuhi syarat hitung dengan jumlah koloni masing-masing 93 dan 87 koloni pada ulangan pertama dan kedua. Dari data tersebut, bakteri dalam sampel dihitung sebesar $1,63 \times 10^{-3}$ CFU/g, sementara itu pada pengenceran 10^{-5} menghasilkan jumlah koloni sebesar $1,72 \times 10^{-4}$ CFU/g yang valid sehingga memenuhi SNI. Oleh karena itu, pengenceran 10^{-4} dan 10^{-5} pada analisis *Total Plate Count* (TPC) sampel 2% dan Plastik PP masih dibawah batas maksimum aman konsumsi, dan layak secara mikrobiologis.

Berdasarkan SNI 7388:2009 bahwa batas maksimum cemaran mikroba pada daging ayam adalah *total plate count* (TPC) 1×10^6 koloni/g (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2009). Dari hasil tersebut diperoleh bahwa pengenceran 10^{-4} merupakan tingkat pengenceran yang paling sesuai untuk estimasi jumlah koloni pada sampel ini. Gambar 17 menunjukkan hasil pengujian TPC pada daging ayam.

Hari ke-0	Hari ke-7
 Tanpa Plastik (TP)	 Tanpa Plastik (TP)



Gambar 17. Hasil Pengujian Pada Daging Ayam

Analisis Total Plate Count (TPC) bertujuan untuk mengetahui jumlah total mikroorganisme (CFU/g) yang berkembang pada daging ayam selama proses penyimpanan dengan berbagai jenis kemasan, yaitu tanpa kemasan, *smart packaging* bioplastik dengan penambahan ekstrak bunga telang (2%), dan plastik konvensional (PP). Hasil pengamatan selama 7 hari penyimpanan ditampilkan pada Gambar 17.

Pada hari ke-0, seluruh sampel menunjukkan nilai TPC yang masih berada di bawah ambang batas aman konsumsi, yaitu $<1 \times 10^6$ CFU/g berdasarkan SNI 7388:2009. Namun, setelah 7 hari penyimpanan, terlihat peningkatan signifikan jumlah mikroba terutama pada daging ayam yang tidak menggunakan kemasan, yaitu mencapai $3,73 \times 10^2$ CFU/g. Jumlah ini telah melebihi batas maksimal yang ditetapkan, menunjukkan bahwa daging ayam dalam kondisi tersebut telah mengalami kerusakan mikrobiologis dan tidak layak konsumsi. Sementara itu, penggunaan *smart packaging* bioplastik dengan penambahan 2% ekstrak bunga telang mampu menekan pertumbuhan mikroorganisme, dengan nilai TPC sebesar $6,90 \times 10^{-3}$ CFU/g. Nilai ini masih di bawah ambang batas dan menunjukkan efektivitas *smart packaging* dalam memperpanjang masa simpan dan menjaga kualitas mikrobiologis daging ayam. Plastik konvensional PP juga menunjukkan

performa yang serupa dengan nilai TPC sebesar $1,63 \times 10^{-3}$ CFU/g. Namun demikian, *smart packaging* menunjukkan potensi tambahan dalam hal pemantauan visual kualitas produk.

Peningkatan jumlah mikroorganisme dalam daging ayam selama penyimpanan menyebabkan penurunan pH sebagai akibat dari aktivitas metabolisme mikroba yang menghasilkan asam organik seperti asam laktat dan asam asetat (Santoso & Estiasih, 2014). Penurunan pH daging merupakan indikator bahwa terjadi degradasi kualitas, dan hal ini menjadi dasar integrasi indikator warna berbasis antosianin dalam kemasan.

Antosianin dari bunga telang (*Clitoria ternatea*) merupakan pigmen alami yang sensitif terhadap perubahan pH. Berdasarkan hasil uji stabilitas pH (Gambar 7), ekstrak bunga telang menunjukkan spektrum warna sebagai berikut: merah pada pH 2, ungu pada pH 5, biru pada pH 8, hingga hijau kekuningan pada pH 14. Oleh karena itu, ketika pH daging turun akibat aktivitas mikroba, indikator antosianin dalam kemasan mengalami perubahan warna. Hal ini memberikan sinyal visual kepada konsumen mengenai kondisi kesegaran daging (Samber et al., 2012; Herlina et al., 2023).

Dengan demikian, perubahan warna pada *smart packaging* berfungsi sebagai indikator non-destruktif yang mudah diinterpretasikan oleh konsumen. Hal ini sejalan dengan temuan Kuswandi & Jumina (2020), bahwa *smart packaging* dengan sensor warna berbasis pH sangat efektif dalam memberikan informasi real-time terhadap mutu produk pangan.

Hasil ini menunjukkan bahwa *smart packaging* yang dikembangkan dari bioplastik berbasis pati singkong dengan penambahan ekstrak bunga telang tidak hanya berfungsi sebagai pengemas konvensional, tetapi juga sebagai sistem pemantau mutu secara visual. Inovasi ini mendukung prinsip keamanan pangan, pengurangan *food waste*, dan ramah lingkungan, serta berpotensi diterapkan secara luas dalam industri pengemasan makanan segar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan konsentrasi ekstrak antosianin dari bunga telang berpengaruh pada karakteristik *smart packaging* dilihat dari respon terbaik diantaranya pada respon uji kuat tarik didapatkan pada konsentrasi ekstrak bunga telang 0% memiliki kuat tarik sebesar 2,74 MPa, pada respon elongasi dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 0% sebesar 15,61%, pada respon uji *swelling* dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 4% sebesar 40,23%, pada respon sudut kontak dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 4% sebesar 54,25°, pada *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 4% sebesar 23,35 g/m²/hari, pada uji *Differential Scanning Calometry* (DSC) dengan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang 4% memiliki kisaran suhu transisi gelas sebesar 144,4°C.
2. Hasil uji sifat mekanik (kuat tarik, elongasi), termal (DSC), dan kimia (FT-IR), serta morfologi (SEM), menunjukkan bahwa kombinasi tersebut mampu menghasilkan *film* bioplastik yang cukup baik untuk aplikasi pengemasan aktif. Penambahan gliserol meningkatkan fleksibilitas *film*, sementara nanosilika memperkuat struktur mekaniknya.
3. Penambahan konsentrasi ekstrak antosianin dari bunga telang berpengaruh ke dalam bioplastik berbasis pati singkong menghasilkan perubahan warna yang nyata sesuai variasi pH, dengan konsentrasi 2% menunjukkan respon warna yang paling efektif dan stabil sebagai indikator kesegaran bahan pangan.
4. *Smart packaging* mampu mendeteksi perubahan pH akibat aktivitas mikroba selama penyimpanan daging ayam, terbukti dengan perubahan warna visual yang jelas dan nilai TPC sebesar $6,90 \times 10^{-3}$ CFU/g pada hari ke-7. Hal ini menunjukkan bahwa indikator antosianin efektif dalam memberikan informasi *real-time* terkait kesegaran produk.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian sejenis dengan *smart packaging* bioplastik yang dibuat dari bahan-bahan lain seperti jagung, kentang, dan komoditas pangan yang mengandung pati.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengoptimalkan komposisi ekstrak antosianin dan nanosilika untuk meningkatkan performa *film* dalam hal ketahanan suhu tinggi dan waktu simpan yang lebih panjang.
3. Penambahan teknologi digital (misalnya sensor QR atau RFID) dapat menjadi inovasi lanjutan guna meningkatkan fungsi informatif kemasan bagi konsumen dan produsen.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, E. R., Ilmu Pangan Pertanian. Universitas ., Mada, G., & Flora, J. (2023). **Strategi Mengelola Kemasan Cerdas pada Pangan** *Strategies Managing Smart packaging For Food Application*. In *Journal of Food and Agricultural Product* (Vol. 3, Issue 1).
- Afiifah Radhiyatullah, Novita Indriani, & M. Hendra S. Ginting. (2015). **Pengaruh Berat Pati Dan Volume Plasticizer Gliserol Terhadap Karakteristik Film Bioplastik Pati Kentang**.
- Alam, A. U., Rathi, P., Beshai, H., Sarabha, G. K., & Deen, M. J. (2021). **Fruit Quality Monitoring with Smart packaging**. *Sensors*, 21(4), 1509.
- Aschemann-Witzel, J., de Hooge, I., & Normann, A. (2016). **Consumer-Related Food Waste: Role of Food Marketing and Retailers and Potential for Action**. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 28(3), 271–285.
- Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS). (2016). **Produksi Ubikayu**. Badan Pusat Statistik: Jakarta.
- Barone, A. M., & Aschemann-Witzel, J. (2022). **Food handling practices and expiration dates: Consumers' perception of smart labels**. *Food Control*, 133, 108615.
- Barus, D., Santosa, H., & Septinova, A. (2017). **Peran Aktif Kemasan Terhadap Pertumbuhan Mikroorganisme**. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 15(1), 25–31.
- Budiasih,. K. S. (2017). **Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY 2017 Sinergi Penelitian dan Pembelajaran untuk Mendukung Pengembangan Literasi Kimia pada Era Global Ruang Seminar FMIPA UNY**.
- Carins, J., & Bogomolova, S. (2021). **Co-designing a community-wide approach to encouraging healthier food choices**. *Appetite*, 162, 105167.

- Coniwanti, P., Laila, L., & Alfira, R. (2014). **Pembuatan *Film Plastik Biodegradabel Dari Pati Jagung dengan Penambahan Kitosan dan Pemplastis Gliserol***. Dalam *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 20, Issue 4)
- Cui, S. W. (2005). *Food Carbohydrates* (S. W. Cui, Ed.). CRC Press.
- Dewati, R., dkk (2023). **Inovasi *Edible Film* Berbahan Baku Albedo Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*) dengan *Plasticizer Gliserol***. Jawa Timur : UPN
- F.G. Winarno. (1997). *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama.
- Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J. (1993). *Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film*. *Journal of Food Science*, 58(1), 206–211.
- Hartono, M. A., Purwijantiningsih, L. M. E., & Pranata, S. (2012). **Pemanfaatan Ekstrak Bunga Telang (*Clitoria Ternatea L.*) Sebagai Pewarna Alami Es Lilin *Utilization of Extract Butterfly Pea Flowers (Clitoria ternatea L.) As Natural Colorant of Ice Lolly***.
- Hawa, L. C, Ginting, U. Y. B, Susilo, B & Wigati, L. P 2020. **‘Kajian Fisikokimia Edible Casing Sosis Berbasis Gelatin Ceker Ayam’**, Jurnal Teknologi Industri Pertanian, Vol. 14, No. 2, hh. 213-227.
- Herlina, N., dkk. (2023). **Karakterisasi Antosianin sebagai Indikator pH pada bahan pangan**. Jurnal Kimia Terapan, 9(2), 123–131.
- Ifadah, A., dkk. (2021). **Antosianin dan Manfaatnya untuk Kesehatan**. Jurnal Teknologi Pengolahan Pertanian, 3 (2), 11-21.
- Intandiana, S., *et.al.* (2019). **Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Singkong dan Selulosa Mikrokristalin Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas**. Jurnal Kimia dan Pendidikan. Vol. 4 (2).
- Khaerah, A., & Akbar, F. (2019). **Aktivitas Antioksidan Teh Kombucha dari Beberapa Varian Teh yang Berbeda**.
- Krochta, J. M., Baldwin, E. A., & Carriedo, M. N. (1994). *Edible Coating and Film to Improve Food Quality*. Technomic Publilshing Company .
- Kuswandi, B., & Jumina. (2020). *Active and intelligent packaging, safety, and quality controls In Fresh-Cut Fruits and Vegetables* (pp. 243–294). Elsevier.

- Kuswandi, B., & Jumina. (2020). ***Smart packaging: trends and perspectives in Indonesia***. *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(3), 512–522.
- Liu, Q. (2005). ***Understanding Starches and Their Role in Foods***. In S. W. Cui (Ed.), *Food Carbohydrates*. CRC Press.
- Lindriati, T., Praptiningsih, Y. S., Tamtarini, & Sholehudin, M. (2014). **Umur Simpan Bioplastik Yang Dibuat dengan Cara Solvent Casting Dan Compression Molding**.
- Marpaung, A. M., Andarwulan, N., & Prangdimurti, E. (2013). ***The Optimization Of Anthocyanin Pigment Extraction From Butterfly Pea (Clitoria Ternatea L.) Petal Using Response Surface Methodology***. *Acta Horticulturae*, 1011, 205–211.
- Masahid, D. A., *et.al.* (2023). **Karakteristik Fisik dan Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Pati Singkong dengan Penambahan Whey Keju dan Plastisiser Gliserol**. *Jurnal Teknologi Pertanian* Vol. 24. No. 1.
- Polnaya, F. J., Ega, L., & Wattimena, D. (2016). **Karakteristik Bioplastik Pati Sagu Alami dan Pati Sagu Fosfat dengan Penambahan Gliserol (Characteristics of Bioplastik from Native and Phosphate Sago Starches with the Addition of Glycerol)**. *Journal Agritech*, 36(03), 247.
- Purnavita, S., Subandriyo, D. Y., & Anggraeni, A. (2020). **Penambahan Gliserol terhadap Karakteristik Bioplastik dari Komposit Pati Aren dan Glukomanan**. *METANA*, 16(1), 19–25.
- Putro, P., Dan, U., & Salahudin, F. (2015). **Pengaruh Inkorporasi Lipid Dan Antioksidan Terhadap Sifat Mekanik dan Permeabilitas Bioplastik Pati Jagung (Incorporation of Sunflower Oil and d-alpha- tocopherol Effect on Mechanical Properties and Permeability of Corn Starch Composite Bioplastik)**.
- Purwaniati., dkk. (2020). **Analisis Kadar Antosianin Total Pada Sediaan Bunga Telang (Clitoria ternatea) Dengan Metode pH Diferensial Menggunakan Spektrofotometri Visible**. *Jurnal Farmagazine* Vol. VII No.1.
- Rahim, A., *et.al.* (2011). **Karakteristik Edible Film dari Pati Aren Amilosa**

- Tinggi dan Aplikasinya Sebagai Pengemas Bubuk Bumbu Mie.** *Journal Agroland*, 18(1).
- Rizaldi, A., dkk (2022). **Cemaran Coliform dan Total Plate Count pada Daging Ayam Broiler: Studi Kasus di Pasar Tradisional Kabupaten Barito Timur.** *Jurnal Sains dan Teknologi Peternakan* Vol. 4 No. 1
- Saleh, F. H., Nugroho, A. Y., & Juliantama, M. R. (2017). **PEMBUATAN BIOPLASTIK DARI PATI SINGKONG SEBAGAI PENGEMAS MAKANAN.** *Teknoin*, 23(1).
- Santoso, B., Saputra, D., & Pambayun, R. (2004). **Kajian Teknolofi Edible Coating Dari Pati dan Aplikasinya Untuk Pengemas Primer Lempok Durian.** *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 15.
- Santoso, U., & Estiasih, T. (2014). **Kimia Pangan dan Gizi.** Malang: UB Press.
- SNI 7388:2009. **Batas Maksimum Cemaran Mikroba dalam Pangan.**
- Santoso, U. (2017). **Antioksidan Pangan.** Yogyakarta: UGM Press
- Samber, N., dkk. (2012). **Stabilitas warna antosianin terhadap pengaruh pH dan suhu.** *Jurnal Teknologi Industri Pangan*, 23(1), 45–52.
- Schaefer, D., & Cheung, W. sumM. (2018). **Smart packaging: Opportunities and Challenges.** *Proc edia CIRP*, 72, 1022–1027.
- Sumartini. (2020). **Analisis Bunga Telang (*Clitoria ternatea*) dengan Variasi pH Metode Liqiuid Chromatograph-tandemmass Spectrometry (LC/MS/MS).** *Jurnal Teknologi Pangan Universitas Pasundan*. Vol.7(2).
- Unsa, L, K., Paramastri, G. A. (2018). **Kajian Jenis Plasticizer Campuran Gliserol dan Sorbitol Terhadap Sintesis dan Karakteristik Edible Film Pati Bonggol Pisang Sebagai Pengemas Buah Apel.** *Jurnal Kompetensi Teknik*. Vol.10(1).
- Untoro, Y. M., Nurhamiyah, Y., Firdiana, B., Nissa, R. C., Syamani, F. A., Fateha, F., Fransiska, D., Abdullah, A. H. D., & Arcana, I. M. (2024). **Preparation of agar-silica nanofilms through melt mixing: Extending beef shelf life through biodegradable packaging.** *Journal of Applied Polymer Science*, 141(25).
- Wahyuningtias, D. S., Fitriana, A. S., & Nawangsari, D. (2023). **Pengaruh Suhu**

dan Lama Waktu Fermentasi Terhadap Sifat Organoleptik dan Aktivitas Antioksidan Teh Kombucha Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.).

Y. H. Hui, & Frank Sherkat. (2005). *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering Journal; 4 Volume Set* (Y. H. Hui & F. Sherkat, Eds.). CRC Press.

Yulianti, R., & Ginting, E. (2012). **Perbedaan Karakteristik Fisik Bioplastik dari Umbi-umbian yang Dibuat dengan Penambahan Plasticizer.**

Yurisna, V. C., Nabila, F. S., Radhityaningtyas, D., Listyaningrum, F., & Aini, N. (2022). **Potensi Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) sebagai Antibakteri pada Produk Pangan.** *JITIPARI (Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Industri Pangan UNISRI)*, 7(1), 68–77.

Zaky, M., A., dkk (2021). **Pengolahan Bioplastik Dari Campuran Gliserol, CMC Dan Karagenan.** *Journal of Marine Research* Vol 10, No.3, pp. 321-326.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Prosedur Analisis Kuat Tarik dan Elongasi

Kuat Tarik presentase pemanjangan diukur dengan menggunakan UTM Instron. Sebelum dilakukan pengukuran, *film* dikondisikan dalam ruangan dengan suhu 25°C. Pengujian dilakukan dengan cara ujung sampel dijepit dengan mesin penguji tensile. Tombol *start* pada komputer ditekan kemudian alat akan menarik sampel sampai sampel putus. Nilai gaya maksimum untuk memotong *film* yang diukur dapat dilihat ada display alat. Kuat tarik ditentukan berdasarkan beban maksimum dibagi dengan luas penampang melintang. Uji kekuatan tarik dilakukan pada semua *film* kemudian dihitung reratanya. Kekuatan tarik dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau = \frac{F_{max}}{A}$$

Keterangan :

τ = kekuatan tarik (Mpa)

F_{max} = gaya kuat tarik (N)

A = luas penampang melintang (mm²)

Persentase pemanjangan (*elongation*) didasarkan atas pemanjangan *film* saat *film* putus. Pengukuran perpanjangan putus dilakukan dengan cara yang sama dengan pengujian kuat tarik. Perpanjangan dinyatakan dalam persentase, dihitung dengan cara

$$Elongasi (\%) = \frac{\text{regangan saat putus (nm)}}{\text{panjang awal}} \times 100\%$$

Lampiran 2. Prosedur Pengujian *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR)

Prinsip kerja dari metode ini adalah mengukur besarnya uap air yang mampu menembus sampel *bioplastik* dengan cara menghitung pertambahan berat pada bahan penyerap uap air (desikan) yang menyerap uap air dari sisi luar *bioplastik*. Cawan ditimbang dengan ketelitian 0.0001 g kemudian disimpan pada suhu 29°C dan RH 50-80%. Cawan ditimbang setiap hari pada jam yang sama dan ditentukan penambahan berat dari cawan. Laju transmisi uap air *Water Vapor Permeability film* ditentukan dengan menggunakan metode gravimetri sesuai dengan metode ASTM E 96-99. Transmisi uap air dari *film* ditentukan dengan *gravimetrically* pada suhu 25°C dibawah 50% RH, dengan kondisi menggunakan walor transmisi uap air pada gelas ukur. WVTR (uap air nux massal g/m s) dihitung dengan regresi linear dari perubahan berat kemiringan kurva waktu.

$$WVTR = \frac{\text{slope}}{\text{luas sampel}} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \right)$$

Lampiran 3. Prosedur Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Analisis morfologi terhadap penampang *bioplastik* dilakukan dengan metode SEM menggunakan JEOL JSM-6360LA. Sampel Bioplastik ditempelkan pada set holder dengan perekat ganda, kemudian dilapisi dengan logam emas dalam keadaan vakum. Setelah itu sampel dimasukkan kedalam tempatnya di dalam SEM, kemudian gambar topografi diamati dan dilakukan perbesaran tertentu.

Lampiran 4. Prosedur Pengujian FT-IR

Analisis FT-IR direkam pada spektrofotometer Shimadzu 4300 FT-IR, menggunakan teknik disk kalium bromide, dalam kisaran 4200-400 cm⁻¹. Disk disiapkan dari sampel yang digiling (1 mg) dan KBr (100 mg) menggunakan 400 kg/cm² tekanan selama 10 menit.

Lampiran 5. Prosedur Pengujian *Biodegradable Test*

1. Stok *A.niger* pada agar miring ditambahkan 10 mL air steril untuk dilepaskan spora hitamnya dengan menggunakan kawat ose yang sudah dipijarkan sebelumnya.
2. Larutan suspensi *A.niger* dipindahkan ke dalam tabung reaksi bertutup ulir, lalu di *vortex*.
3. Dipipet 1 mL dari suspensi 10o dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi bertutup ulir yang sudah berisi 9 mL air steril. Dilakukan sampai pengenceran 10^{-2} .
4. Ambil cawan petri steril, pipet 100 μ L pengenceran 10^{-2} dengan mikropipet lalu dimasukkan ke dalam setiap cawan petri tersebut.
5. Tuangkan $\pm$ 20 mL Salt Agar (44oC – 47oC) ke dalam setiap cawan petri.
6. Campurkan inokulum dengan media dengan memutar cawan petri secara hati-hati dan biarkan campuran memadat $\pm$ 2 jam.
7. Setelah 2 jam, masing-masing sampel bioplastik, plastik dan kertas saring (untuk kontrol negatif) berukuran 2,5 x 2,5 cm dimasukkan ke dalam cawan petri yang berisi campuran inokulum dengan media padat.
8. Semua sampel bioplastik yang sudah ditanam, ditetesi 50 μ L pengenceran 10^{-2} kemudian diratakan dengan sudip steril.

Lampiran 6. Pengukuran pH Menggunakan pH-meter

pH diukur dengan menggunakan pH meter. Standarisasi pH meter dengan menggunakan larutan buffer pH 4, kemudian buffer pH 7. Elektroda dicuci dengan menggunakan air suling, kemudian elektroda dimasukkan dalam larutan sampel. Angka yang ditunjukkan oleh pH meter merupakan besarnya pH dari sampel. Sampel yang diukur adalah saos tomat kental. Prosedur pengukuran pH dengan menggunakan pH meter adalah:

1. Ditimbang 10 gram sampel dan dilarutkan dalam 50 ml akuades dalam beaker glass.
2. Ditambahkan akuades hingga 100 ml lalu diaduk hingga merata.

3. Larutan diukur pH nya dengan pH meter yang sudah distandarisasi.
4. Standarisasi pH meter dilakukan dengan menggunakan larutan buffer pH 4 kemudian buffer pH 7. Elektroda dibilas dengan akuades kemudian elektroda dimasukkan dalam larutan sampel.
5. Angka yang ditunjukkan oleh pH meter dicatat Elektroda diangkat dari larutan sampel, dan dibilas dengan akuades, lalu dikeringkan dengan tissue. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali (triplo).

Lampiran 7. Hasil Uji Kuat Tarik (*Tensile*)

PG				
Ulangan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Kuat Tarik (MPa)	Regangan Putus (%)
1	12,76	0,66	0,50676	140,106
2	12,79	0,69	0,59930	119,959
3	13,27	0,69	0,63153	122,208
Rata-rata	12,94	0,68	0,57919	127,4243
0%				
Ulangan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Kuat Tarik (MPa)	Regangan Putus (%)
1	13,23	0,60	2,55418	22,3126
2	13,57	0,62	2,88868	14,7353
3	12,83	0,62	2,78543	9,78340
Rata-rata	13,21	0,61	2,742763	15,6104
1%				
Ulangan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Kuat Tarik (MPa)	Regangan Putus (%)
1	13,88	0,61	0,57210	120,708
2	13,31	0,66	0,59302	134,121

3	13,85	0,68	0,53744	117,994
Rata-rata	13,68	0,65	0,56752	124,274
2%				
Ulangan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Kuat Tarik (MPa)	Regangan Putus (%)
1	13,74	0,64	0,83571	134,959
2	14,73	0,62	0,83793	140,084
3	17,23	0,62	0,88199	143,705
Rata-rata	15,23	0,63	0,851877	139,583
3%				
Ulangan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Kuat Tarik (MPa)	Regangan Putus (%)
1	12,10	0,58	0,67367	104,022
2	13,16	0,67	0,64437	117,587
3	13,28	0,71	0,63376	115,831
Rata-rata	12,85	0,65	0,650600	112,480
4%				
Ulangan	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Kuat Tarik (MPa)	Regangan Putus (%)
1	12,77	0,77	0,41866	187,509
2	12,90	0,70	0,58104	161,241
3	12,97	0,71	0,41147	156,076
Rata-rata	12,88	0,73	0,47039	168,275

Lampiran 8. *Swelling*

Sampel	Ulangan	Penimbangan awal	Penimbangan setelah robek	Swelling	rata-rata
Pati Gliserol	1	0,2140	0,4207	49,1324	47,01963
	2	0,2224	0,4210	47,1734	
	3	0,2327	0,4212	44,75309	
0%	1	0,2417	0,4485	46,10925	45,98827
	2	0,2520	0,4600	45,21739	
	3	0,2246	0,4209	46,63816	
1%	1	0,2386	0,4402	45,79736	45,33302
	2	0,2422	0,4472	45,84079	
	3	0,2368	0,4256	44,3609	
2%	1	0,2308	0,4192	44,94275	43,88228
	2	0,2359	0,4178	43,53758	
	3	0,2362	0,4156	43,16651	
3%	1	0,2395	0,4102	41,61385	41,86048
	2	0,2343	0,4029	41,84661	
	3	0,2325	0,4017	42,12099	
4%	1	0,2309	0,3778	38,88301	40,23375
	2	0,2290	0,3773	39,30559	
	3	0,2384	0,4147	42,51266	

Lampiran 9. Sudut Kontak

Pengulangan	Pati Gliserol	Rata-rata
I	40,75	41,07
	41,38	
II	40,29	41,01
	41,73	
III	40,87	41,11
	41,35	
IV	42,50	42,50
	42,50	
V	42,43	42,46
	42,50	
		41,63

Pengulangan	1%	Rata-rata
I	45,82	45,83
	45,84	
II	45,81	45,89
	45,97	
III	46,25	45,69
	45,13	
IV	46,85	46,82
	46,79	
V	46,51	46,47
	46,42	
		46,14

Pengulangan	2%	Rata-rata
I	48,75	48,47
	48,18	
II	48,19	48,34
	48,48	
III	48,84	48,72
	48,61	
IV	48,34	48,41
	48,48	
V	48,20	48,24
	48,28	
		48,43

Pengulangan	3%	Rata-rata
I	49,54	49,38
	49,23	
II	49,40	49,40
	49,40	
III	49,79	49,76
	49,73	
IV	48,13	48,98
	49,82	
V	49,53	49,50
	49,48	
		49,40

Pengulangan	4%	Rata-rata
I	53,87	53,73
	53,59	
II	54,20	54,11
	54,02	
III	53,76	54,08
	54,39	
IV	54,82	54,42
	54,01	
V	54,70	54,93
	55,17	
		54,25

Lampiran 10. Hasil WVTR

PG			
Berat pada Jam ke	Ulangan		Rata - rata
	1	2	
0	51,2154	51,5026	51,3590
1	51,2459	51,5267	51,3863
2	51,2686	51,5483	51,4085
3	51,2809	51,5579	51,4194
4	51,2894	51,5676	51,4285
5	51,2970	51,5762	51,4366
6	51,3053	51,5849	51,4451
7	51,3120	51,5919	51,4520
8	51,3121	51,5953	51,4537
Slope (g)	$3,12 \times 10^{-6}$	$3,04 \times 10^{-6}$	
Luas Permukaan (m ²)	0,0031	0,0031	
WVTR (g/ m ² /h)	35,81	34,92	
Rata-Rata WVTR	35,36		

0%			
Berat pada Jam ke-	Ulangan		Rata - Rata
	1	2	
0	51,0325	50,9902	51,0114
1	51,0686	51,0285	51,0486
2	51,0885	51,0480	51,0683
3	51,0998	51,0590	51,0794
4	51,1124	51,0688	51,0906
5	51,1238	51,0829	51,1034
6	51,1319	51,0906	51,1113
7	51,1396	51,0983	51,1190
8	51,1439	51,1010	51,1225
Slope (g)	$3,56 \times 10^{-6}$	$3,52 \times 10^{-6}$	
Luas Permukaan (m ²)	0,0031	0,0031	
WVTR (g/ m ² /h)	40,84	40,43	
Rata-Rata WVTR	40,63		

1%			
Berat pada Jam ke-	Ulangan		Rata - Rata
	1	2	
0	51,3373	51,2849	51,3111
1	51,3633	51,3119	51,3376
2	51,3794	51,3273	51,3534
3	51,3883	51,3377	51,3630
4	51,3972	51,3466	51,3719
5	51,4070	51,3586	51,3828
6	51,4150	51,3658	51,3904
7	51,4232	51,3712	51,3972
8	51,4263	51,3774	51,4019
Slope (g)	$2,89 \times 10^{-6}$	$2,98 \times 10^{-6}$	
Luas Permukaan (m ²)	0,0031	0,0031	
WVTR (g/ m ² /h)	33,21	34,28	
Rata-Rata WVTR	33,74		

2%			
Berat pada Jam ke-	Ulangan		Rata - Rata
	1	2	
0	51,3687	50,9200	51,1444
1	51,3923	50,9418	51,1671
2	51,4066	50,9558	51,1812
3	51,4153	50,9658	51,1906
4	51,4234	50,9752	51,1993
5	51,4315	50,9865	51,2090
6	51,4358	50,9900	51,2129
7	51,4428	50,9939	51,2184
8	51,4478	50,9976	51,2227
Slope (g)	$2,51 \times 10^{-6}$	$2,57 \times 10^{-6}$	
Luas Permukaan (m ²)	0,0031	0,0031	
WVTR (g/ m ² /h)	28,80	29,50	
Rata-Rata WVTR	29,15		

3%			
Berat pada Jam ke-	Ulangan		Rata - Rata
	1	2	
0	50,9223	50,3600	50,6412
1	50,9575	50,3849	50,6712
2	50,9762	50,3989	50,6876
3	50,9842	50,4095	50,6969
4	50,9901	50,8192	50,9047
5	50,9957	50,4262	50,7110
6	50,9989	50,4282	50,7136
7	51,0014	50,4312	50,7163
8	51,0027	50,4339	50,7183
Slope (g)	$2,36 \times 10^{-6}$	$2,36 \times 10^{-5}$	
Luas Permukaan (m ²)	0,0031	0,0031	
WVTR (g/ m ² /h)	27,08	27,06	
Rata-Rata WVTR	27,07		

4%			
Berat pada Jam ke-	Ulangan		Rata - Rata
	1	2	
0	50,6360	50,3656	50,5008
1	50,6588	50,3903	50,5246
2	50,6717	50,4032	50,5375
3	50,6808	50,4132	50,5470
4	50,6885	50,4194	50,5540
5	50,6968	50,4219	50,5594
6	50,7007	50,4263	50,5635
7	50,7044	50,4315	50,5680
8	50,7051	50,4378	50,5715
Slope (g)	$2,25 \times 10^{-6}$	$2,16 \times 10^{-6}$	
Luas Permukaan (m ²)	0,0031	0,0031	
WVTR (g/ m ² /h)	25,86	24,80	
Rata-Rata WVTR	25,33		

Lampiran 11. Dokumentasi Penelitian

Persiapan bahan bunga telang yang akan diekstrak



Pemisahan bunga dan kelopak bunga



Ultrasonik
 $t = 5$ menit
 $T = 30^{\circ}\text{C}$

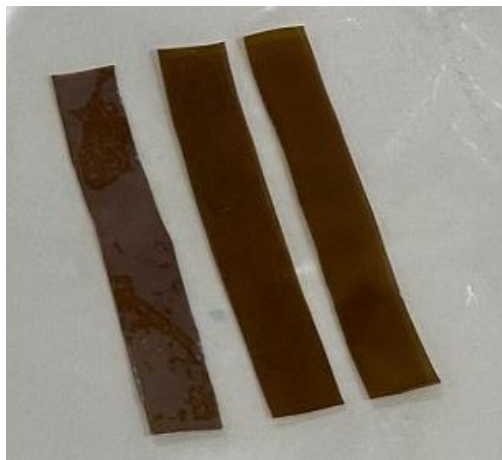


Evaporasi
 $T = 50^{\circ}\text{C}$

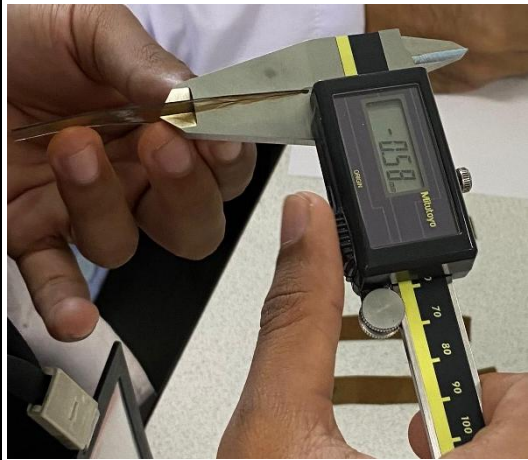


Ekstrak bunga telang

Dokumentasi *Tensile*



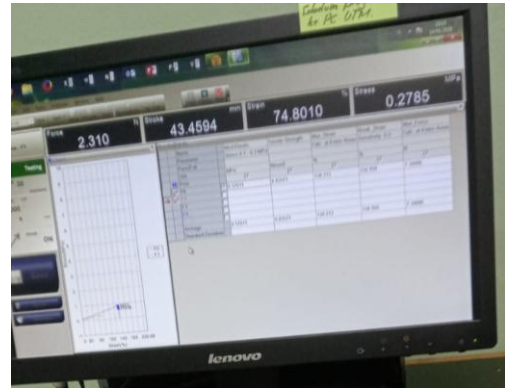
Sampel dicetak



Pengukuran sampel



Pengujian *tensile*

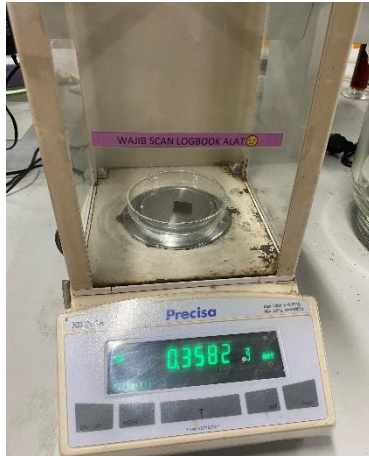


Data diolah dalam komputer

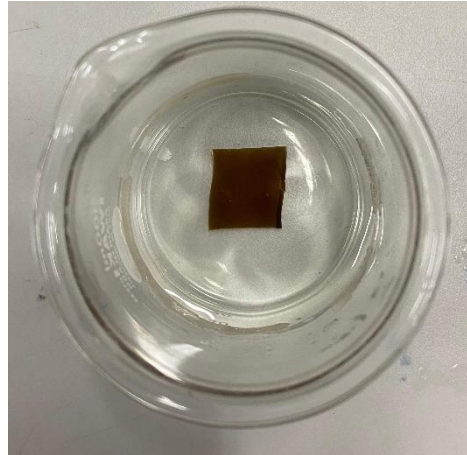
Dokumentasi SEM



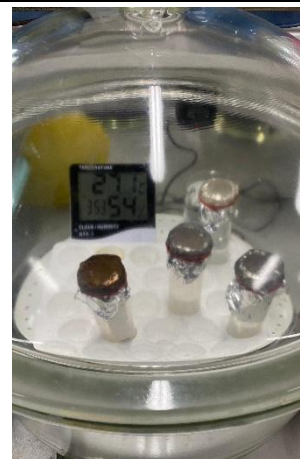
Pengujian SEM

Dokumentasi *Swelling*

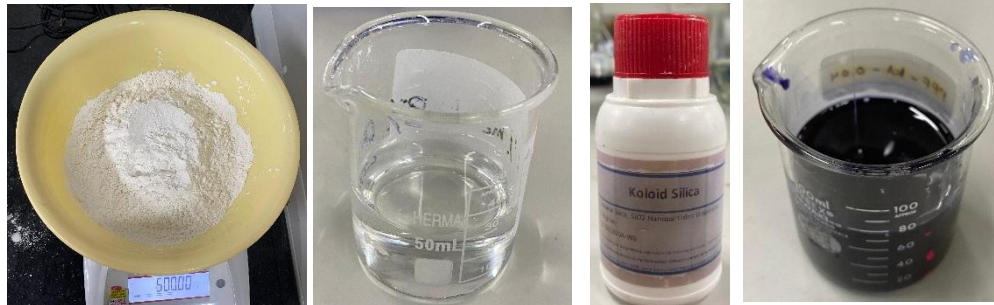
Penimbangan Sampel

Pengujian *swelling***Dokumentasi WVTR**

Persiapan sampel

Sampel disimpan 1 jam dan
perjam selanjutnya sampai 8
jam lalu ditimbang

Dokumentasi Pembuatan *Smart packaging*



Penimbangan bahan pati dan gliserol (3:1), nanosilika, dan ekstrak bunga telang



Pencampuran menggunakan Blender $t = 3$ menit



Hasil pencampuran



Ekstruksi menggunakan alat extruder

$T = 120 - 145^{\circ}\text{C}$



Press menggunakan *teflon sheet*
dengan diberi *spacer* sesuai ketebalan
yang diinginkan



Hot press dengan suhu 135°C dan
tekanan 150 KgF/cm^2

