

**PENGARUH PENAMBAHAN KITOSAN DAN GLISEROL  
PADA PEMANFAATAN PATIDARI ROTI *EXPIRED* DALAM  
PEMBUATAN PLASTIK *BIODEGRADABLE***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Oleh:**

**ARINI MAYAN KHAIRA  
NIM. 200702050  
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
BANDA ACEH  
2024 M/1446 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH PENAMBAHAN KITOSAN DAN GLISEROL  
PADA PEMANFAATAN PATIDARI ROTI *EXPIRED* DALAM  
PEMBUATAN PLASTIK *BIODEGRADABLE*

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)  
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan Oleh:  
**Arini Mayan Khaira**  
NIM. 200702050

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui untuk dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Husnawati Yahya, M.Sc.  
NIDN. 2009118301

  
Dr. Khairun Nisah, M.Si.  
NIDN. 2016027902

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan

  
Husnawati Yahya, M.Sc.  
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN KITOSAN DAN GLISEROL  
PADA PEMANFAATAN PATIDARI ROTI EXPIRED DALAM  
PEMBUATAN PLASTIK *BIODEGRADABLE*

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Gelar Sarjana (S-1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Jumat/18 Oktober 2024  
Jumat/15 Rabiul Akhir 1446

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

Ketua



Husnawati Yahya, M.Sc.  
NIDN. 2009118301

Sekretaris



Dr. Khairun Nisah, M.Si.  
NIDN. 2016027902

Penguji 1



Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.  
NIDN. 2016067801

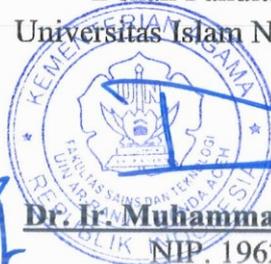
Penguji 2



Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.  
NIDK.

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



  
Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU.  
NIP. 196210021988111001

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Arini Mayan Khaira

NIM : 200702050

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul : Pengaruh Penambahan Kitosan dan Gliserol pada Pemanfaatan Pati dari Roti *Expired* dalam Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penelitian tugas akhir ini, saya:

1. Karya tulis ini dikerjakan sendiri dan mampu untuk bertanggung jawab atas apa yang ditulis;
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya pribadi, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing;
3. Tidak menggunakan karya-karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin dari pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi data dan memalsukan data penelitian;
5. Tidak melakukan plagiasi terhadap data orang lain.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggung jawabkan dan ternyata ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 13 November 2024

Yang menyatakan,



  
Arini Mayan Khaira

## ABSTRAK

Nama : Arini Mayan Khaira  
NIM : 200702050  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Pengaruh Penambahan Kitosan dan Gliserol pada Pemanfaatan Pati dari Roti *Expired* dalam Pembuatan Plastik *Biodegradable*  
Tanggal Sidang : 18 Oktober 2024  
Tebal Tugas Akhir : 54  
Pembimbing I : Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.  
Pembimbing II : Dr. Khairun Nisah, M.Si.  
Kata Kunci : Plastik *biodegradable*, pati, roti, kitosan, gliserol

Plastik *biodegradable* adalah plastik yang berasal dari bahan alami seperti pati, yang mampu terurai secara alami oleh mikroorganisme tanpa meninggalkan zat berbahaya bagi lingkungan. Pati yang berasal dari roti *expired* berpotensi sebagai bahan baku pembuatan plastik *biodegradable* dengan penambahan kitosan dan pemplastis gliserol. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi terhadap karakteristik plastik *biodegradable* yang dihasilkan, mencakup kekuatan tarik, elongasi, ketahanan air (*swelling*), biodegradasi, dan struktur morfologi. Pada penelitian ini, dibuat tiga sampel (A, B, dan C) yang masing-masing sampel menggunakan 10 gram pati dengan memvariasikan kitosan dan gliserol. Dari ketiga sampel yang diuji, nilai kuat tarik tertinggi diperoleh sampel B sebesar 1,4049 Mpa. Nilai elongasi tertinggi juga diperoleh sampel B sebesar 51,6%, sementara ketahanan air terbaik diperoleh sampel C sebesar 90,89%, dan biodegradasi terbaik diperoleh sampel A dengan nilai kehilangan berat sebesar 97,22% selama 1 minggu dan terdegradasi total pada hari ke 8. Hasil uji morfologi menggunakan SEM terhadap sampel B menunjukkan plastik *biodegradable* yang dihasilkan memiliki permukaan yang kasar dan adanya gumpalan yang mengindikasikan ketidakseragaman struktur. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa perbedaan komposisi terbukti berpengaruh signifikan terhadap karakteristik plastik *biodegradable* yang dihasilkan.

## **ABSTRACT**

*Name* : Arini Mayan Khaira  
*NIM* : 200702050  
*Studi Program* : Environmental Engineering  
*Title* : *The Effect of Chitosan and Glycerol Addition on the Utilization of Starch from Expired Bread in the Production of Biodegradable Plastics*  
*Session Date* : October 18, 2024  
*Number of Page* : 54  
*Advisor I* : Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.  
*Advisor II* : Dr. Khairun Nisah, M.Si.  
*Keyword* : Biodegradable plastic, starch, bread, chitosan, glycerol

*Biodegradable plastic is a type of plastic made from natural materials such as starch, which can naturally decompose by microorganisms without leaving harmful substances in the environment. Starch derived from expired bread has the potential to be used as a raw material for producing biodegradable plastic with the addition of chitosan and glycerol as plasticizers. This study aims to investigate the effect of varying compositions on the characteristics of the resulting biodegradable plastic, including tensile strength, elongation, water resistance (swelling), biodegradation, and morphological structure. In this research, three samples (A, B, and C) were prepared, each using 10 grams of starch with different variations of chitosan and glycerol. Of the three samples tested, Sample B showed the highest tensile strength at 1.4049 MPa. Sample B also exhibited the highest elongation at 51.6%, while Sample C demonstrated the best water resistance at 90.89%, and Sample A had the highest biodegradability, with a weight loss of 97.22% within one week and complete degradation by the eighth day. Morphological analysis using SEM on Sample B revealed a rough surface with clumps, indicating structural non-uniformity. Based on these findings, it can be concluded that differences in composition significantly affect the characteristics of the resulting biodegradable plastic.*

## KATA PENGANTAR

Segala puji kepada Allah *Subhanahuwata'ala* yang telah memberikan kenikmatan dan kemudahan Nya sehingga penulisan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan Kitosan dan Gliserol pada Pemanfaatan Pati dari Roti *Expired* dalam Pembuatan Plastik *Biodegradable*”. Selawat dan salam kepada Nabi Muhammad saw. yang telah memberikan syafa'at yang begitu besar bagi umatnya sehingga dapat merasakan kenikmatan ilmu sebagai penyokong bagi kehidupan manusia.

Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memenuhi syarat kurikulum pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Pada penulisan tugas akhir ini penulis diberikan banyak bantuan dan kemudahan oleh beberapa pihak sehingga pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Husnawati Yahya, S.Si, M.Sc., selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan pembimbing utama yang telah meluangkan waktu dalam membimbing penulisan tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Khairun Nisah, M.Si., selaku pembimbing II yang telah membimbing serta memberi arahan dan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Aulia Rohendi, S. T., M. Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Bapak Arief Rahman, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik yang dengan sabar membimbing dan memberi masukan yang sangat berharga selama proses perkuliahan.
5. Seluruh Dosen pengajar dan staf pada Program Studi Teknik Lingkungan atas segala dukungan dan partisipasinya.
6. Keluarga besar tercinta, terutama Ayahanda Ir. Jakfar (Alm) yang telah mendidik dan juga Ibunda Dra. Siti Aisyah yang tidak pernah berhenti mendoakan serta mendukung dengan segenap tenaga, pikiran, dan materi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Bang Alfian dan Bang Rizki yang telah menyisihkan waktu untuk membimbing dan memberi semangat serta masukan kepada penulis saat penelitian.
8. Teman-teman angkatan 2020 Program Studi Teknik Lingkungan, khususnya kepada teman-teman satu *project* penelitian tugas akhir yaitu Yuna dan Nadia yang telah bekerja sama dan saling mengingatkan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga sangat perlu diuji dalam sidang. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya hanya kepada Allah Swt. penulis berserah diri, semoga Rahmat dan karunia Nya dilimpahkan kepada kita semua. Amin yarabbal'alam.

Darussalam, September 2024

Arini Mayan Khaira



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN .....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Plastik <i>Biodegradable</i> .....	5
2.2 Bahan Baku Plastik <i>Biodegradable</i> .....	6
2.2.1 Pati Roti .....	6
2.2.2 Kitosan .....	9
2.2.3 Pemplastis Gliserol .....	10
2.3 Standar Plastik <i>Biodegradable</i> .....	11
2.3.1 Uji Kuat Tarik dan Elongasi .....	12
2.3.2 Uji Ketahanan Air ( <i>swelling</i> ).....	13
2.3.3 Uji Biodegradasi.....	14
2.3.4 Uji Morfologi .....	14
2.4 Penelitian Terdahulu .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	18
3.2 Jenis Penelitian.....	18
3.3 Alat dan Bahan .....	18
3.3.1 Alat-alat yang Digunakan.....	18
3.3.2 Bahan-Bahan yang Digunakan.....	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	19
3.4.1 Pembuatan Pati Roti <i>Expired</i> .....	19
3.4.2 Analisis FTIR Kitosan.....	19
3.4.3 Pembuatan Plastik <i>Biodegradable</i> .....	20
3.5 Karakteristik Plastik <i>Biodegradable</i> .....	21
3.5.1 Uji Kuat Tarik dan Elongasi.....	21
3.5.2 Uji Ketahanan Air ( <i>Swelling</i> ).....	22
3.5.3 Uji Biodegradasi.....	23
3.5.4 Uji Morfologi .....	23
3.6 Tahapan Penelitian .....	25
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>26</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	26
4.1.1 Hasil Karakteristik Plastik <i>Biodegradable</i> .....	26
4.1.2 Hasil Morfologi Plastik <i>Biodegradable</i> .....	26
4.2 Pembahasan.....	26
4.2.1 Karakteristik Plastik <i>Biodegradable</i> .....	26
4.2.2 Morfologi Plastik <i>Biodegradable</i> .....	31
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>33</b>
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>34</b>
<b>LAMPIRAN A.....</b>	<b>40</b>
<b>PERHITUNGAN.....</b>	<b>40</b>
<b>LAMPIRAN B .....</b>	<b>43</b>
<b>DOKUMENTASI PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>

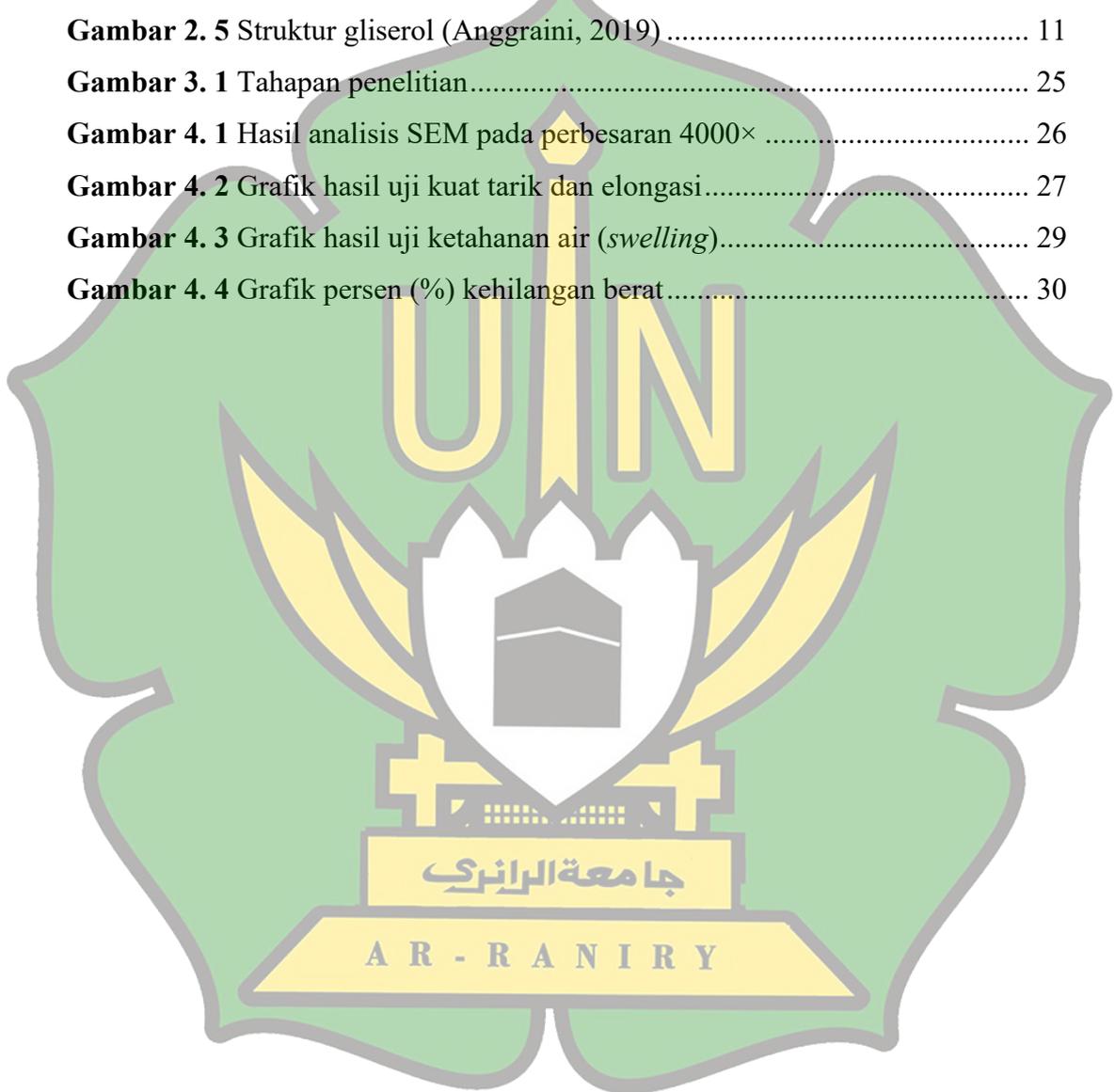
## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Karakteristik Kitosan.....	10
<b>Tabel 2. 2</b> SNI plastik <i>biodegradable</i> .....	12
<b>Tabel 2. 3</b> Penelitian terdahulu.....	15
<b>Tabel 3. 1</b> Variasi bahan pembentuk plastik <i>biodegradable</i> .....	21
<b>Tabel 4. 1</b> Data hasil karakteristik plastik <i>biodegradable</i> .....	26
<b>Tabel 4. 2</b> Proses biodegradasi plastik <i>biodegradable</i> .....	30



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Siklus degradasi plastik <i>biodegradable</i> (Maladi, 2019).....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Roti tawar.....	7
<b>Gambar 2. 3</b> Struktur kimia pati (Dome dkk., 2020).....	8
<b>Gambar 2. 4</b> Struktur kimia kitosan (Alifatul dkk., 2022). ....	9
<b>Gambar 2. 5</b> Struktur gliserol (Anggraini, 2019).....	11
<b>Gambar 3. 1</b> Tahapan penelitian.....	25
<b>Gambar 4. 1</b> Hasil analisis SEM pada perbesaran 4000× .....	26
<b>Gambar 4. 2</b> Grafik hasil uji kuat tarik dan elongasi.....	27
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik hasil uji ketahanan air ( <i>swelling</i> ).....	29
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik persen (%) kehilangan berat.....	30



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Isu sampah plastik menjadi perhatian masyarakat global dalam beberapa dekade terakhir. Menurut data kementerian lingkungan hidup dan kehutanan, angka timbulan sampah Indonesia tahun 2022 mencapai 34.485.387,07 ton/tahun. Dari jumlah itu, sebanyak 17,75% disumbang oleh sampah plastik. Dalam kehidupan sehari-hari, masyarakat sering mengandalkan plastik sebagai material pembungkus. Plastik merupakan makromolekul yang terbentuk melalui proses polimerisasi, dan komponen utamanya terdiri dari karbon dan hidrogen. Salah satu sumber bahan baku yang umumnya digunakan dalam pembuatan plastik adalah naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam (Anom dan Lombok, 2020). Namun, penggunaan berlebihan plastik bisa merugikan lingkungan dengan dampak negatifnya karena membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terurai. Membakar sampah plastik tidak disarankan karena dapat mencemari udara dan membahayakan pernapasan makhluk hidup (Pravitasari, 2022).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan perlunya perlindungan lingkungan, muncul kebutuhan untuk mencari solusi inovatif dalam mengurangi dampak negatif plastik. Di sinilah muncul inovasi menciptakan plastik yang mudah terurai (*biodegradable*) menjadi sebuah ide yang menarik. Plastik *biodegradable* adalah jenis polimer plastik yang terbuat dari monomer organik yang ditemukan dalam bahan seperti pati, selulosa, protein, dan mikroorganisme. Secara umum, kemasan plastik *biodegradable* dapat dijelaskan sebagai jenis pembungkus yang dapat didaur ulang dan dapat terurai secara alami. Plastik *biodegradable* merupakan bahan yang dalam kondisi dan waktu tertentu mengalami perubahan dalam struktur kimianya yang memengaruhi sifat-sifatnya di bawah pengaruh mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan alga (Setiawan dkk., 2020).

Saat ini, roti meraih tingkat popularitas yang luar biasa di seluruh dunia khususnya di Indonesia, baik sebagai pengganti nasi maupun sebagai tambahan atau selingan. Roti tawar adalah salah satu produk olahan pangan yang terbuat

dari tepung terigu yang diragikan dan dipanggang. Roti tawar merupakan produk sumber karbohidrat yang telah diterima secara luas di kebanyakan negara, termasuk negara bukan penghasil terigu seperti Indonesia (Sihombing, 2021). Konsumsi roti dapat disajikan bersama dengan makanan lain seperti selai, pisang, keju, telur atau bahan lainnya. Roti mengandung berbagai macam zat gizi, diantaranya adalah karbohidrat, protein, serat, dan sejumlah zat besi (Arum Wandhasari dan Harisudin, 2022).

Dilansir dari suara.com, konsumsi roti di Indonesia tinggi dan masih berkembang. *Head of Strategy and Growth, Dailybox Group*, Miranda Haryanto menyebutkan bahwa konsumsi gandum per kapita untuk roti di Indonesia mencapai 4,7 kg per tahun. Diperkirakan angka tersebut akan meningkat menjadi 6,6 kg per tahun pada tahun 2030 yang akan datang. Penjualan roti di Indonesia pada tahun 2021 juga menjadi yang tertinggi di kawasan Asia Tenggara, mencapai USD 18,7 miliar atau setara Rp.2,6 triliun (Halidi, 2021). Hal ini menumbuhkan motivasi produsen roti untuk terus mengembangkan usaha mereka dengan cara meningkatkan jumlah produksi. Roti tersebut akan disalurkan ke seluruh pelosok wilayah, termasuk swalayan, mini market maupun kios-kios. Pada kenyataannya, tingkat konsumsi roti di desa terbilang kurang dibandingkan di perkotaan karena penduduk di perkotaan memiliki kebutuhan yang lebih beragam dan lebih tinggi. Hal ini membuat roti-roti yang disalurkan kerap kali tersisa dan kedaluwarsa (*expired*) sehingga dibuang begitu saja. Hal ini mengundang perhatian peneliti untuk mencari cara agar roti *expired* tersebut dapat diubah menjadi produk bernilai. Di sinilah pemanfaatan roti *expired* menjadi plastik *biodegradable* menjadi sebuah ide yang menarik.

Penambahan kitosan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan plastik *biodegradable* juga dianggap penting karena dapat meningkatkan kekuatan tariknya. Semakin tinggi konsentrasi kitosan, maka semakin banyak ikatan hidrogen yang ada di dalamnya yang mengakibatkan ikatan kimia dari plastik *biodegradable* menjadi lebih kuat dan sulit untuk diputus (Yustinah dkk., 2019). Struktur plastik *biodegradable* yang tidak mengandung kitosan terlihat lebih padat, sehingga menghambat proses degradasinya karena tidak mampu menyerap air. Namun, kitosan memiliki sifat yang keras dan kaku, sehingga perlu

ditambahkan *plasticizer* seperti gliserol untuk membuatnya lebih lentur. Selain itu, kitosan juga dapat menghasilkan sifat mekanik plastik yang meliputi transparan, elastis, kemampuan menyerap air, dan kemudahan dalam degradasi (Sasria dkk., 2020).

Sejumlah penelitian mengenai pembuatan plastik *biodegradable* telah dilakukan, termasuk salah satunya yang dilakukan oleh (Cengristitama dkk., 2023) dengan judul “Pengaruh Penambahan Kitosan dan *Plasticizer* Sorbitol Pada Proses Pembuatan Plastik *Biodegradable* Berahan Dasar Pati Kulit Pisang Tanduk”. Dari penelitian tersebut, kemasan plastik *biodegradable* terbaik yang dihasilkan adalah dengan menggunakan penambahan konsentrasi pati 10 g, kitosan 2 g dan sorbitol 2,5 g dengan nilai ketebalan sebesar 0,23 mm, nilai ketahanan air sebesar 98% dan waktu biodegradasi sempurna selama 7 hari.

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini bertujuan untuk membuat plastik *biodegradable* dari sumber pati yang berbeda yang diperoleh dari limbah roti *expired* yang sering dibuang tanpa pengolahan dengan penambahan *plasticizer* gliserol dan kitosan. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan plastik *biodegradable* dengan karakteristik terbaik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi plastik *biodegradable* berbahan dasar pati dari roti *expired* dengan penambahan gliserol dan kitosan terhadap kekukatan tarik, elongasi, ketahanan air (*swelling*), dan biodegradasi pada plastik *biodegradable* yang dihasilkan?
2. Bagaimana struktur morfologi pada sampel terbaik plastik *biodegradable* berbahan dasar pati dari roti *expired* dengan penambahan gliserol dan kitosan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi plastik *biodegradable* berbahan dasar pati dari roti *expired* dengan penambahan gliserol dan

kitosan terhadap kekukatan tarik, elongasi, ketahanan air (*swelling*), dan biodegradasi pada plastik *biodegradable* yang dihasilkan.

2. Mengetahui struktur morfologi pada sampel terbaik plastik *biodegradable* berbahan dasar pati dari roti *expired* dengan penambahan gliserol dan kitosan.

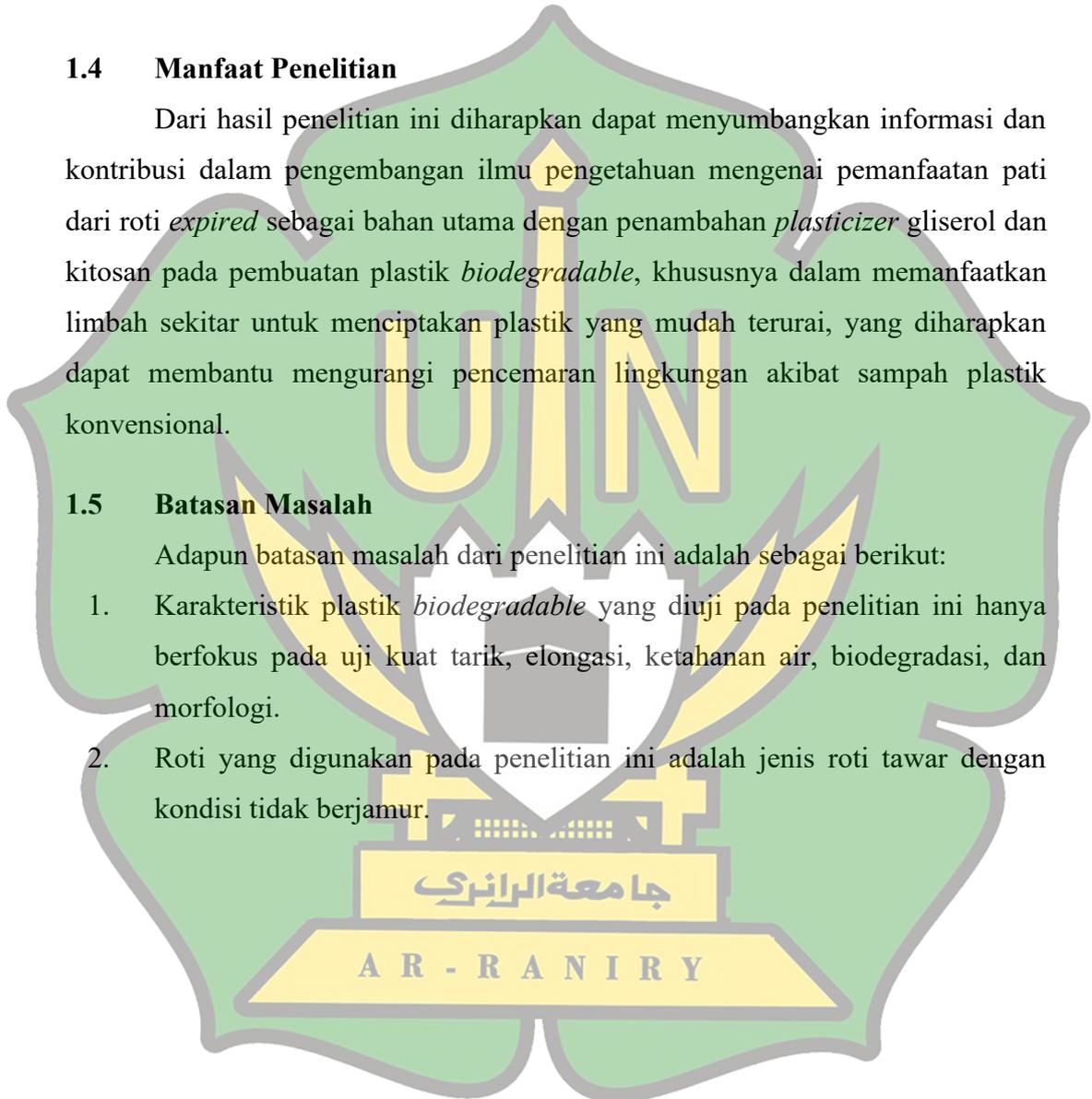
#### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menyumbangkan informasi dan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan mengenai pemanfaatan pati dari roti *expired* sebagai bahan utama dengan penambahan *plasticizer* gliserol dan kitosan pada pembuatan plastik *biodegradable*, khususnya dalam memanfaatkan limbah sekitar untuk menciptakan plastik yang mudah terurai, yang diharapkan dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan akibat sampah plastik konvensional.

#### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik plastik *biodegradable* yang diuji pada penelitian ini hanya berfokus pada uji kuat tarik, elongasi, ketahanan air, biodegradasi, dan morfologi.
2. Roti yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis roti tawar dengan kondisi tidak berjamur.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Plastik *Biodegradable*

Saat ini, perhatian terus meningkat terhadap isu-isu pengelolaan lingkungan, termasuk upaya untuk mengurangi dampak dari permasalahan sampah plastik. Salah satu tindakan yang dapat diambil adalah menggantikan penggunaan plastik konvensional dengan plastik yang bersifat *biodegradable*. Plastik *biodegradable* adalah jenis plastik yang terbuat dari bahan alami yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme dan cuaca ketika dibuang. Plastik ini, yang juga disebut bioplastik, biasanya dibuat dari berbagai sumber daya biomassa seperti minyak nabati dan pati yang berasal dari tumbuhan atau bahan makanan. Salah satu keunggulan utama plastik *biodegradable* adalah ketersediaannya yang tidak terbatas dan kemampuannya untuk terurai oleh mikroorganisme tanpa meninggalkan zat beracun. Namun, kekurangannya adalah ketidakmampuannya menahan panas sebagaimana plastik konvensional (Puspitasari dkk., 2022).

Komponen utama yang membentuk plastik *biodegradable* dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu hidrokoloid, lipida, dan komposit. Hidrokoloid mencakup senyawa protein, polisakarida, alginat, pektin, dan pati sebagai bahan yang sesuai. Lipida yang sering digunakan termasuk gliserol, wax, asil gliserol, dan asam lemak. Sedangkan komposit adalah bahan yang terbentuk dari campuran dua atau lebih bahan pembentuk yang memiliki sifat mekanik yang berbeda, dengan matriks berperan sebagai perekat atau pengikat dan pengisi (Rojtica, 2021).

Penggunaan pati dalam produksi bioplastik karena pati dapat dengan mudah terurai oleh lingkungan menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Pati adalah suatu jenis polisakarida yang terbentuk dari unit-unit glukosa yang tidak mengandung air. Pati terdiri dari dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin, yang memiliki sifat alami yang berbeda satu sama lain. Amilosa memiliki pengaruh pada proses pengembangan pati dan juga mempengaruhi tingkat kekentalan pati. Di sisi lain, amilopektin bertanggung jawab dalam membentuk sifat viskoelastis dalam pati. Pati dapat dengan mudah terurai oleh mikroorganisme menjadi senyawa-senyawa yang ramah terhadap lingkungan.

Walaupun demikian, plastik *biodegradable* yang berasal dari pati memiliki beberapa kekurangan. Pada saat ini, teknologi produksi plastik *biodegradable* masih lebih mahal jika dibandingkan dengan biaya produksi plastik konvensional. Selain itu, plastik *biodegradable* dianggap memiliki kekuatan dan ketahanan mekanik yang lebih rendah jika dibandingkan dengan plastik konvensional. Untuk meningkatkan kinerja atau kualitas plastik *biodegradable* yang terbuat dari pati, perlu dilakukan penambahan bahan-bahan tambahan seperti plastisizer dan bahan lainnya (Dermawan dkk., 2020). Gambar 2.1 menggambarkan siklus penguraian plastik yang bersifat ramah lingkungan.



**Gambar 2. 1** Siklus degradasi plastik *biodegradable* (Maladi, 2019)

Pengembangan teknologi plastik *biodegradable* merupakan salah satu inisiatif untuk keluar dari masalah penggunaan plastik konvensional yang tidak dapat terurai dalam waktu singkat. Hal ini menjadi semakin penting seiring dengan penurunan cadangan minyak bumi, penurunan kesadaran dan perhatian terhadap lingkungan, serta risiko terhadap kesehatan (Nugraha dkk., 2020).

## 2.2 Bahan Baku Plastik *Biodegradable*

### 2.2.1 Pati Roti

Roti adalah makanan yang sesuai dan dapat diterima secara universal, yang merupakan sumber makronutrien yang baik, seperti karbohidrat, protein, dan lemak, serta mikronutrien (mineral dan vitamin) penting untuk kesehatan

manusia. Namun tidak sedikit gerai yang menjadikan roti sebagai salah satu produk yang mereka perjual belikan membuang roti yang sudah tidak laku maupun telah kedaluarsa karena ketidakmampuan dalam mengolahnya. Produksi roti tawar di Indonesia setiap tahun meningkat. Roti tawar ini merupakan produk pangan berbasis tepung yang mengalami pemanggangan dalam proses produksinya. Pada umumnya, pembuatan roti tawar menggunakan bahan dasar terigu yang mengandung gluten. Gluten memegang peranan penting dalam pembuatan roti tawar karena bersifat viskoelastis, yaitu dapat melebar (ekstensibel) dan elastis sehingga ketika diregangkan tidak pecah dan dapat membentuk lapisan tipis yang mampu menahan gas atau udara (Arifin dkk., 2023). Keberadaan sisa roti tawar dapat dilihat pada Gambar 2.2.



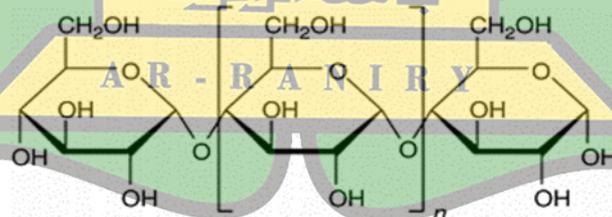
Gambar 2. 2 Roti tawar

Tepung terigu merupakan produk tepung yang berbahan dasar gandum. Selain menjadi sumber utama pati, serat makanan dan energi, gandum juga mengandung banyak protein (sekitar 60-70% dari totalnya adalah gluten), vitamin B, karotenoid, asam fenolik, benzoxazinoids, tokoferol, alkil-resorsinol, phytoosterol, amina biogenik, dan lignan. Konsentrasi serat yang tinggi dalam gandum utuh membantu dalam proses pencernaan dan pergerakan usus, sehingga mengurangi risiko terjadinya kanker usus (Naureen dkk., 2022).

Kandungan gizi yang melimpah, kemudahan dalam proses pengolahan, ketersediaan yang memadai, dan harganya yang terjangkau, membuat makanan yang menggunakan terigu mendapatkan popularitas yang pesat di berbagai negara. Kandungan karbohidrat yang tinggi bersama dengan zat pati dan protein gluten adalah ciri khas utama yang membedakan tepung terigu dari jenis tepung lainnya. Pati, sebagai bentuk kompleks dari karbohidrat, hadir dalam bentuk serbuk putih yang tak berasa, tak berbau, dan tidak larut dalam air. Kandungan pati dalam

tepung terigu berkisar antara 65-70%, dengan amilosa membentuk 12-24% dari total pati. Di sisi lain, tepung terigu memiliki kandungan amilosa sekitar 28%, sedangkan amilopektinnya mencapai 72%. Amilosa dalam makanan cenderung menghasilkan tekstur yang lebih keras, sementara amilopektin memberikan sifat lengket. Ini karena amilosa dapat membentuk ikatan selama proses retrogradasi pati, di mana amilosa berinteraksi dalam air untuk membentuk jaringan yang padat. Gluten merupakan senyawa protein yang terdapat dalam tepung terigu, yang memiliki karakteristik kenyal dan elastis. Protein gluten pada tepung terigu berkisar 65%. Tingkat protein dalam tepung akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar gluten (Pramono, 2021).

Pati adalah sebuah jenis polisakarida yang berasal dari tanaman dan memiliki berat molekul tinggi. Ini terdapat dalam berbagai tanaman, seperti umbi kentang, biji jagung, dan akar singkong. Pati merupakan sumber bahan baku yang dapat diperbaharui secara biologis dan ekonomis penting dalam industri makanan, kertas, farmasi, dan kimia. Enzim dapat menguraikan pati menjadi molekul glukosa tunggal, yang memiliki peran penting dalam bioteknologi modern sebagai molekul dasar yang menjanjikan. Dengan mengalami modifikasi kimia, pati asli dapat menghasilkan produk dengan sifat fungsional yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan, seperti film kemasan yang dapat terurai secara alami dan makanan fungsional. Pati itu sendiri terdiri dari dua jenis polisakarida, yaitu amilosa yang berstruktur linier dan amilopektin yang berstruktur bercabang (Dome dkk., 2020). Gambar 2.3 menunjukkan struktur kimia pati.



**Gambar 2.3** Struktur kimia pati (Dome dkk., 2020).

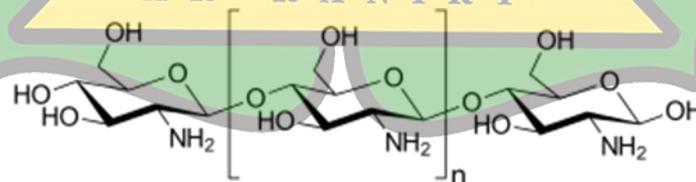
Di Indonesia, pati mudah ditemukan dalam jumlah yang melimpah. Penggunaan bahan pati dalam pembuatan plastik *biodegradable* dapat mempercepat proses penguraian oleh bakteri. Bakteri akan memecah rantai polimer plastik menjadi monomer-monomer yang lebih sederhana. Hasil penguraian ini menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O), serta senyawa

asam organik aldehid yang aman bagi lingkungan (Tahir dkk., 2023). Namun, (Muhammad dkk, 2020) dalam jurnalnya menerangkan bahwa pembuatan plastik *biodegradable* dengan campuran pati dan kitosan menghasilkan plastik yang bersifat kaku dan elastisitasnya rendah. Untuk mengatasi masalah ini, salah satu solusinya adalah mencampur pati dengan kitosan serta bahan pemlastis seperti gliserol (Intandiana dkk., 2019).

### 2.2.2 Kitosan

Kitosan adalah suatu jenis polimer yang menyerupai selulosa dari serat tumbuhan. Polimer ini memiliki sifat sebagai serat dan memiliki kemampuan untuk menyerap lemak serta bersifat dapat terurai secara alami (*biodegradable*). Selain itu, kitosan juga berperan sebagai penyerap dan pengikat lemak. Dalam pengamatan fisik, kita dapat melihat bahwa elastisitas plastik *biodegradable* meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi selulosa dalam plastik *biodegradable*, yang mengakibatkan plastik *biodegradable* menjadi lebih keras (Cengristitama dan Wulandari, 2021).

Kitosan terdiri dari  $\beta$ -(1-4)-d-glukosamin dan N-asetil-d-glukosamin yang terdistribusi secara acak dalam polimer. Sifat kationik (muatan positif) kitosan sedikit istimewa karena sebagian besar polisakarida biasanya netral atau bermuatan negatif dalam lingkungan asam. Salah satu karakteristik menarik kitosan adalah biokompatibilitasnya, ketidaktoksikannya, rendahnya potensi untuk menyebabkan alergi, dan kemampuannya untuk terurai secara alami (biodegradabilitas), sehingga kitosan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi (Lidia dkk., 2023). Struktur kimia kitosan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Struktur kimia kitosan (Alifatul dkk., 2022).

Selain itu, kitosan memiliki ketahanan terhadap air yang lebih baik karena terbentuknya ikatan hidrogen antara kitosan dan pati. Hal ini mengakibatkan molekul air sulit untuk masuk dan memisahkan rantai-rantai pati dari kitosan.

Kitosan juga memiliki sifat hidrofobik (tak suka air) dan struktur rantai polimer linear yang membentuk fasa kristalin, yang pada gilirannya memengaruhi kekuatan, kekakuan, dan kekerasan plastik *biodegradable* (Alianingsih, 2022).

Kitosan adalah senyawa yang dihasilkan dari kitin melalui serangkaian reaksi kimia, termasuk proses deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Tingkat kemurnian kitosan dapat diidentifikasi melalui derajat deasetilasinya. Semakin tinggi derajat deasetilasi, semakin banyak gugus amina ( $\text{NH}_2$ ) yang ada pada rantai molekul kitosan, sehingga membuat kitosan menjadi lebih murni (Susilawati, 2022). Kualitas kitosan juga dapat dinilai berdasarkan parameter sifat fisika-kimia, dan karakteristik kitosan sesuai dengan SNI 7949-2013 dapat ditemukan dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Karakteristik Kitosan

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Bentuk Parameter	—	Serpihan hingga serbuk
2	Warna	—	Putih
3	Fisika: Benda	—	Negatif
4	Kimia: Derajat deasetilasi	%	Minimal 75
	Ph	—	7–8
	Kadar abu	%	Maksimal 5
	Kadar air	%	Maksimal 12

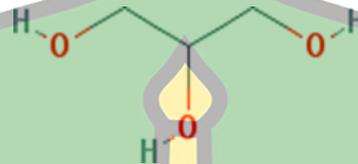
Sumber: SNI 7949-2013.

Kemurnian kitosan sangat dipengaruhi oleh tingkat deasetilasinya (DD). Nilai DD diperoleh melalui analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). FTIR adalah salah satu teknis analisis spektroskopi yang menggunakan sinar infra merah dari spektrum elektromagnetik, sehingga akan menghasilkan spektrum mewakili senyawanya. Spektroskopi infrared (IR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi dan identifikasi senyawa-senyawa organik. Prinsip dari spektroskopi IR didasarkan pada interaksi antara tingkat energi getaran (vibrasi) (Farida, 2024).

### 2.2.3 Pemplastis Gliserol

Gliserol, yang memiliki rumus kimia  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ , adalah suatu senyawa netral yang memiliki rasa manis, tidak berwarna, larutan pekat dengan titik lebur sekitar  $20^\circ\text{C}$ , dan titik didih sekitar  $290^\circ\text{C}$ . Gliserol termasuk dalam kelompok alkohol

polihidrat dengan tiga gugus hidroksil yang bergabung dalam satu molekul, yang disebut sebagai *alcohol trivalent*. Berat molekul gliserol adalah sekitar 92,1 g/mol, dan massa jenisnya sekitar 1,23 g/cm<sup>3</sup>. Senyawa ini dapat ditemukan dalam minyak nabati dan lemak hewani dalam bentuk ester gliserin, yang berasal dari asam palmitat dan oleat (Cengristitama dan Wulandari, 2021). Gambar 2.5 menampilkan struktur gliserol.



**Gambar 2. 5** Struktur gliserol (Anggraini, 2019)

Dalam proses produksi plastik *biodegradable* yang menggunakan pati sebagai bahan utama, terdapat beberapa masalah yang perlu diatasi, yaitu sifat mekanis yang kurang kuat (seperti kekuatan tarik, elastisitas, dan modulus Young) serta sifat hidrofiliknya. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan mencampurkan pati dengan biopolimer lain seperti gliserol dan sorbitol. Pemakaian gliserol memiliki keunggulan dalam hal kelarutan pada film plastik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sorbitol. Dengan penambahan gliserol sebagai *plasticizer*, plastik *biodegradable* tersebut memiliki struktur fraktur yang halus dan jumlah rongga yang lebih kecil (Maneking dkk., 2020).

### 2.3 Standar Plastik *Biodegradable*

Secara keseluruhan, plastik *biodegradable* dapat diidentifikasi melalui beberapa karakteristik: kekuatan tarik yang tinggi (*Tensile Strenght*), tingkat pemanjangan yang signifikan (% Elongasi), serta kemampuan untuk mengalami proses degradasi yang memungkinkan mereka terurai secara alami.

Standar Nasional Indonesia No. 7188.7:2016 menggambarkan syarat-syarat untuk tas plastik dan bioplastik yang digunakan sebagai tas belanja (tanpa tujuan kontak langsung dengan makanan), yang diproduksi dengan proses *blown film* (film yang ditiup) dan standar ini mencakup pengertian, persyaratan, batasan nilai, serta teknik uji verifikasi. Menurut ketentuan yang berlaku dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), karakteristik plastik dapat ditemukan dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** SNI plastik *biodegradable*

No	Karakterisasi	Nilai
1	Kuat tarik (MPa)	24,7-302
2	Elongasi (%)	21-220
3	Ketahanan air ( <i>swelling</i> ) (%)	99

Sumber: Standar Nasional Indonesia No. 7188.7:2016

### 2.3.1 Uji Kuat Tarik dan Elongasi

Uji kekuatan tarik digunakan untuk menilai ketahanan tarik pada plastik *biodegradable*. Kekuatan tarik, juga dikenal sebagai ketahanan tarik maksimum, adalah seberapa besar tegangan yang dapat diterapkan pada plastik sebelum plastik tersebut akhirnya pecah. Pengukuran ketahanan tarik dilakukan untuk menentukan seberapa besar gaya yang diperlukan untuk mencapai titik tarik maksimum pada setiap satuan luas permukaan plastik agar dapat meregang atau memanjang (Udjiana dkk., 2021).

Uji kuat tarik adalah prosedur yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan plastik *biodegradable* dalam menahan beban vertikal yang diberikan hingga mencapai titik putus. Uji kuat tarik pada plastik *biodegradable* dilakukan dengan menggunakan *Tension testing*. Sampel plastik *biodegradable* dipotong menjadi ukuran 3 x 7 cm, kemudian dijepit pada kedua sisinya dengan jarak 1.5 cm. Selanjutnya, dipasang indikator ekstensi (*extensomer*) dan alat pengukur regangan melintang. Proses ini melibatkan pengukuran beban dan tegangan, dengan kecepatan pengujian disesuaikan sesuai kebutuhan. Kurva tegangan-beban direkam selama pengujian, dan juga dicatat nilai tegangan dan beban pada saat sampel putus. Pengujian ini diulang sebanyak tiga kali (*triplo*). Kuat tarik kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut (Lailyningtyas dkk., 2020).

$$\text{Kuat Tarik } (\sigma) = \frac{F_{\text{maks}}}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\sigma$  : Kuat atau tegangan tarik (Mpa)

$F_{\text{maks}}$  : Tegangan maksimal (N)

$A$  : Luas penampang melintang ( $\text{mm}^2$ )

Uji elongasi adalah perubahan panjang maksimum plastik sebelum terputus. Pengujian uji elongasi ini bermaksud untuk memahami daya rentang putus pada plastik *biodegradable* yang diperoleh, karena semakin besar

kemampuan rentang yang didapatkan semakin baik kualitas plastik *biodegradable* (Sari dkk., 2021). Pengukuran elongasi sampel plastik *biodegradable* menggunakan prosedur yang sama dengan uji kuat tarik. Perhitungan persen elongasi menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut (Nurhidayanti dkk., 2021):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

$L_0$  : Panjang mula-mula (mm)

$\Delta L$  : Pertambahan panjang (cm)

### 2.3.2 Uji Ketahanan Air (*swelling*)

Uji daya serap air atau ketahanan air adalah pemeriksaan yang dilakukan untuk menentukan resistensi plastik *biodegradable* terhadap air. Uji ini dilaksanakan untuk mengetahui persentase daya serap air film dan seberapa baik plastik melindungi produk dari air. Penting untuk menguji daya serap air karena *edible film* yang berkualitas dapat berfungsi sebagai penghalang terhadap air, sehingga melindungi produk dari kelembaban dan penyerapan air oleh film tersebut (Yanti dan Nairfana, 2023).

Uji *swelling* dilakukan dengan cara memotong sampel dengan ukuran 2 cm x 2 cm. Sampel ditimbang untuk diketahui berat awal plastik *biodegradable* ( $W_0$ ) dan dimasukkan ke dalam cawan petridis yang berisi *aquadest* 15 ml selama 1 menit. Plastik *biodegradable* yang telah direndam kemudian diangkat dan air yang menempel pada permukaan plastik dikeringkan dengan tisu kertas, kemudian dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat akhir plastik ( $W$ ). Pengukuran ketahanan air film dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Anastasya dkk., 2022):

$$A = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

$$\% \text{ Ketahanan air} = 100\% - A \quad (2.4)$$

Keterangan:

A : Penyerapan air (%)

$W_0$  : Berat awal (g)

$W_1$  : Berat akhir (g)

### 2.3.3 Uji Biodegradasi

Pengujian biodegradasi bertujuan untuk menilai apakah suatu materi dapat mengalami degradasi yang efektif dalam lingkungan. Materi dapat mengalami degradasi melalui beberapa mekanisme yang meliputi hidrolisis (proses kimia), aksi bakteri/jamur, enzim (reaksi enzimatik), pengaruh angin dan gesekan (degradasi mekanik), serta paparan cahaya (fotodegradasi). Pada polimer linear, reaksi kimia degradasi dapat menyebabkan penurunan berat molekul atau pemendekan rantai (Radtra dan Udjiana, 2023). Pengujian biodegradasi melibatkan pengisian sampel plastik *biodegradable* ke dalam campuran tanah dan kompos, di mana proses pengomposan merangsang dekomposisi plastik *biodegradable* tersebut sehingga semakin cepat plastik terurai (Saputra dan Edy, 2020).

Menurut ketentuan dalam SNI 7188.7:2016, tingkat mutu degradasi harus mencapai angka di atas 60% dalam kurun waktu satu minggu. Biodegradabilitas dapat diukur menggunakan persamaan (2.5) untuk mengestimasi persentase penurunan berat sebagai berikut (Nurhidayanti dkk., 2021):

$$\% \text{ Kehilangan Berat} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

$W_0$  : massa sampel pada hari ke-0

$W_1$  : massa sampel pada hari ke-2, 4, 6, 8, dan 10 (g)

### 2.3.4 Uji Morfologi

Uji morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk mengkarakterisasi plastik *biodegradable*. Pada teknologi *Scanning Electron Microscopy* (SEM), gambar-gambar yang dihasilkan dibentuk oleh sinar-sinar elektron yang sangat halus yang difokuskan pada permukaan material. Perbesaran gambar dihasilkan dari perbandingan luas area sampel yang di-scan terhadap luas area layar monitor. Tujuan dari perbesaran yang lebih kecil adalah untuk memahami bentuk

morfologi sampel secara global. Jika morfologinya menunjukkan keseragaman, maka dapat dilakukan peningkatan perbesaran dengan mem-scan sinar-sinar elektron terhadap luas permukaan sampel yang cukup sempit. Berdasarkan hal ini, dapat diperoleh data-data morfologi yang dianggap dapat mewakili morfologi sampel secara keseluruhan (Ridwan, 2018).

Peralatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) terdiri dari tiga pasang lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan sinar elektron menjadi titik yang sangat kecil. Kemudian, dua pasang *coil scanner* akan memindai permukaan sampel dengan frekuensi yang dapat diubah. Semakin kecil sinar yang difokuskan, semakin besar resolusi lateral yang dapat dicapai. Namun, lensa elektromagnetik dapat mengalami astigmatisme, yang dapat dikoreksi oleh perangkat stigmator. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya. Sumber elektron biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau jarum dari paduan Lantanum Hexaboride LaB6 atau Cerium Hexaboride CeB6 yang dapat menyediakan sinar elektron yang teoretis memiliki energi tunggal. *Imaging detector*, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar, sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE (Sara, 2018). Namun, perlu diingat bahwa SEM hanya memberikan informasi tentang morfologi permukaan dan penampang melintang, sehingga perlu dikombinasikan dengan teknik karakterisasi lain untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap tentang sifat-sifat plastik *biodegradable*.

#### 2.4 Penelitian Terdahulu

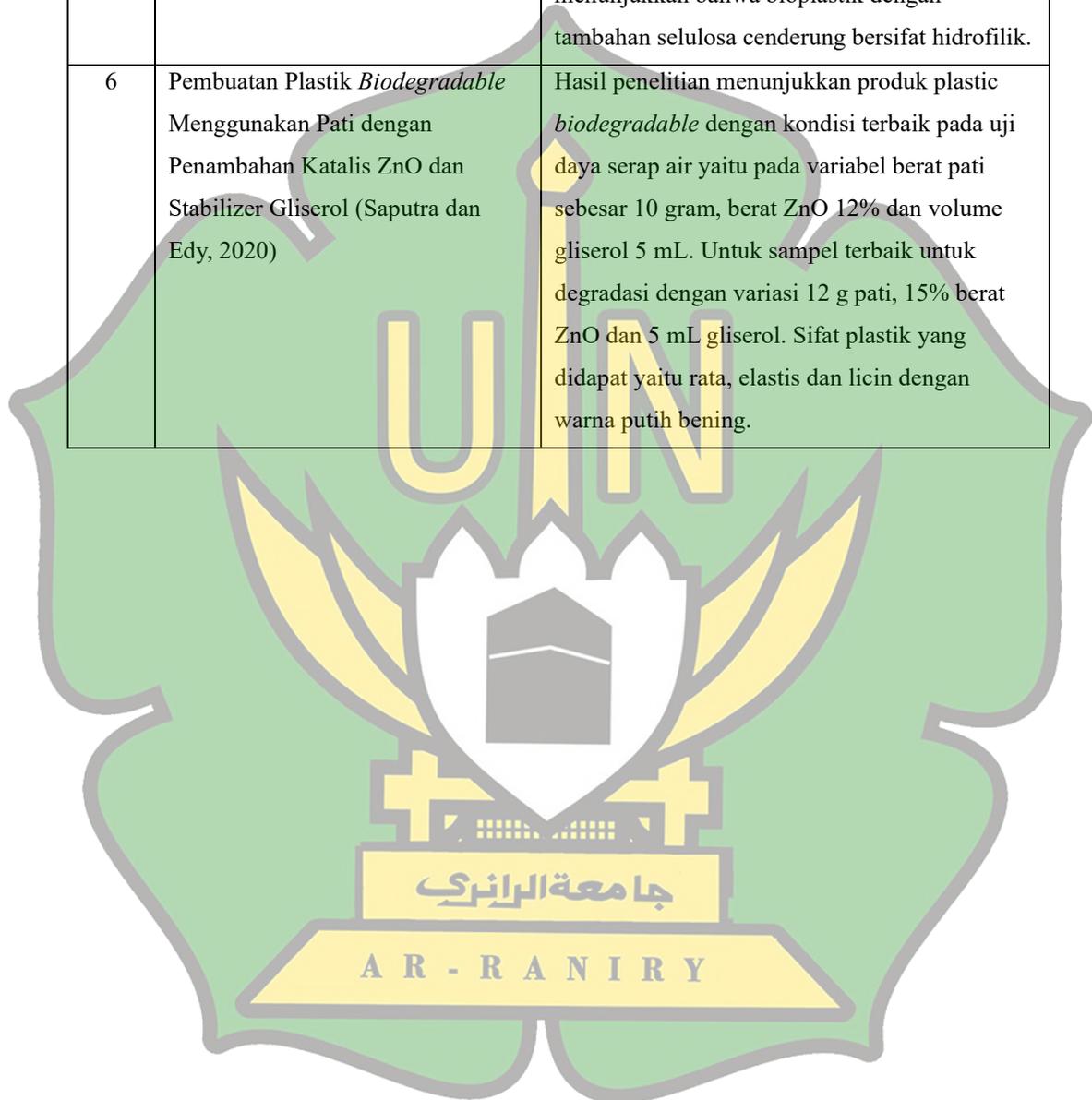
Penelitian terdahulu terkait pembuatan plastik *biodegradable* dapat ditemukan pada tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Penelitian terdahulu

No	Judul/Pengarang	Deskripsi
1	Pengaruh Penambahan Kitosan dan <i>Plasticizer</i> Sorbitol pada Proses Pembuatan Plastik <i>Biodegradable</i> Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Tanduk (Cengristitama dkk., 2023)	Hasil penelitian menunjukkan karakteristik plastik <i>biodegradable</i> terbaik adalah sampel B variasi 1 (komposisi pati : kitosan : sorbitol = 10 g : 2 g : 2,5 mL) dengan nilai ketebalan plastik <i>biodegradable</i> sebesar 0,23 mm, ketahanan air sebesar 98% dan waktu biodegradasi sempurna

		selama 7 hari.
2	Variasi Konsentrasi Kitosan Dalam Pembuatan Bioplastik Berbahan Baku Jerami Nangka (Qadri dkk., 2023)	penambahan kitosan memang berdampak signifikan pada semua faktor tersebut. Perlakuan terbaik dalam penelitian ini adalah K1 dengan konsentrasi kitosan 2%, yang memiliki tingkat pembengkakan sebesar 67,09%, laju transmisi uap air 3,0379 g/m <sup>2</sup> /jam, kekuatan tarik 14,68 MPa, perpanjangan sebesar 32,46%, dan waktu degradasi total selama 8 hari.
3	Pengaruh Variasi Penambahan Kitosan dan Gliserol Terhadap Karakteristik Plastik <i>Biodegradable</i> dari Pati Ubi Jalar (Marlina dan Achmad, 2021)	Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan karakteristik terbaik dari plastik <i>biodegradable</i> yang mendekati standar SNI 7188.7-2016 ditemukan dalam komposisi yang terdiri dari 2% kitosan, 3 mL gliserol, dengan ketebalan plastik <i>biodegradable</i> sekitar 0,21 mm, kemampuan menahan air mencapai 97%, dan waktu biodegradasi yang sempurna selama 11 hari.
4	Pemanfaatan Kulit Singkong ( <i>Manihot esculenta</i> ) sebagai Bahan Baku Pembuatan Plastik <i>Biodegradable</i> dengan <i>Plasticizer</i> Gliserol dan Bahan Pengisi ZnO dan CaCO <sub>3</sub> (Utari, 2023)	Berdasarkan analisis plastik <i>biodegradable</i> yang berasal dari kulit singkong ( <i>Manihot esculenta</i> ), ditemukan bahwa konsentrasi terbaik untuk suhu 70°C adalah dengan konsentrasi ZnO, yang memberikan nilai kuat tarik sebesar 0,073575 MPa dan elongasi sebesar 2,5%. Nilai biodegradasi yang paling optimal dicapai pada suhu 90°C dengan konsentrasi CaCO <sub>3</sub> sebanyak 6%, menghasilkan tingkat biodegradasi sekitar 87,7% selama periode 15 hari. Sementara itu, nilai serapan air terbaik juga terjadi pada suhu 70°C dengan konsentrasi CaCO <sub>3</sub> sebanyak 10%, dengan tingkat daya serap air mencapai 60,3%. Namun, perlu dicatat bahwa meskipun demikian, plastik <i>biodegradable</i> ini belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 7188-7:2017).
5	Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Singkong dan Selulosa	Hasil yang diperoleh pada bioplastik dengan penambahan kandungan selulosa 10% memiliki

	Mikrokristalin Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas (Intandiana dkk., 2019)	kekuatan tarik yang lebih besar daripada bioplastik yang tidak mengandung selulosa. Kandungan selulosa sebesar 10% menghasilkan kekuatan tarik sebesar 14,3 MPa. Selain itu, hasil uji <i>water uptake</i> dan sudut kontak menunjukkan bahwa bioplastik dengan tambahan selulosa cenderung bersifat hidrofilik.
6	Pembuatan Plastik <i>Biodegradable</i> Menggunakan Pati dengan Penambahan Katalis ZnO dan Stabilizer Gliserol (Saputra dan Edy, 2020)	Hasil penelitian menunjukkan produk plastic <i>biodegradable</i> dengan kondisi terbaik pada uji daya serap air yaitu pada variabel berat pati sebesar 10 gram, berat ZnO 12% dan volume gliserol 5 mL. Untuk sampel terbaik untuk degradasi dengan variasi 12 g pati, 15% berat ZnO dan 5 mL gliserol. Sifat plastik yang didapat yaitu rata, elastis dan licin dengan warna putih bening.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Rencana penelitian ini akan dilakukan pada bulan Mei sampai Agustus yang dilakukan di Laboratorium Multifungsi Program Studi Teknik Lingkungan, Laboratorium Program Studi Magister Teknik Mesin USU, dan Laboratorium Program Studi Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe.

### 3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang mengadopsi metode eksperimen dan menerapkan dua jenis variabel, yaitu variabel bebas yang melibatkan variasi dalam campuran pati roti, kitosan, dan plastisizer gliserol, serta variabel terikat yang mencakup kuat tarik dan elongasi, ketahanan terhadap air, biodegradasi, dan morfologi (SEM).

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat-alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Oven
- b. Ayakan 100 *mesh*
- c. Timbangan analitik
- d. Gelas kimia
- e. Pipet Volume
- f. *Magnetic stirrer*
- g. Blender
- h. Labu ukur
- i. Saringan
- j. Spatula
- k. Plat kaca
- l. Kertas saring
- m. Kain
- n. Loyang

### 3.3.2 Bahan-Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Limbah roti *expired*
- b. Kitosan
- c. Gliserol
- d. Aquades
- e. Asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 1%

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Pembuatan Pati Roti *Expired*

Bahan utama pembuatan plastik *biodegradable* pada penelitian ini adalah pati dari limbah roti *expired*. Limbah roti yang digunakan berasal dari kios-kios dan juga toko roti. Pembuatan pati dari limbah roti *expired* mengikuti penelitian dari Qadri dkk (2023), dimana pati diperoleh dengan cara menimbang roti lalu ditambahkan air dengan perbandingan 1:2 (b/v). kemudian roti dihaluskan menggunakan blender. Roti yang telah dihaluskan disaring dan diperas menggunakan kain. Filtrat hasil perasan roti diendapkan dalam waktu 1 hari hingga dihasilkan endapan di dasar wadah, kemudian supernatan yang terletak di atas endapan dibuang dan menyisakan pati basah berwarna putih kekuningan dengan aroma khas roti. Pati basah dijemur di bawah sinar matahari hingga kering. Selanjutnya pati diayak dengan ayakan berukuran 100 *mesh* untuk mendapatkan ukuran yang seragam. Hasil rendemen pati yang diperoleh dari limbah roti *expired* dirujuk pada Lampiran A Nomor 1.

#### 3.4.2 Analisis FTIR Kitosan

Kitosan dihasilkan melalui serangkaian proses, termasuk deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Kitosan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kitosan komersial berukuran 100 *mesh* yang berasal dari kulit udang, yang selanjutnya dianalisis lebih lanjut menggunakan teknik *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk memahami karakteristik dan kualitasnya. FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) adalah salah satu teknik utama untuk mengidentifikasi gugus fungsi utama yang terdapat pada kitosan, terutama melalui analisis derajat deasetilasi (DD). Gugus fungsi utama pada kitosan

terletak pada gugus amida tekuk (NH) dan gugus hidroksil (OH) (Salsabilla dkk., 2024). Setelah mendapatkan hasil serapan FTIR kitosan dari kulit udang, dilanjutkan menganalisis derajat deasetilasi (DD) guna mengetahui kemurnian kitosan. DD merupakan indikator penting yang menentukan kemurnian dan kualitas kitosan, dan nilai ini diperoleh dari puncak-puncak karakteristik pada spektrum FTIR. Perhitungan derajat deasetilasi (DD) dilakukan dengan membandingkan rasio absorbansi antara pita karbonil asetamida (sekitar  $1655\text{ cm}^{-1}$ ) dan pita hidroksi (sekitar  $3450\text{ cm}^{-1}$ ) (Mahatmanti dkk., 2022). Perhitungan nilai derajat deasetilasi (DD) berdasarkan persamaan (3.1) sebagai berikut:

$$DD (\%) = \left(1 - \frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{1}{1,33}\right) \times 100 \quad (3.1)$$

Hasil serapan FTIR kitosan dari kulit udang dan perhitungan derajat deasetilasi, dirujuk pada Lampiran A Nomor 2.

### 3.4.3 Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Proses pembuatan plastik *biodegradable* terdiri dari penyediaan alat dan bahan. Adapun alat yang diperlukan seperti *magnetic stirrer*, timbangan analitik, gelas kimia, pipet volume, dan juga plat kaca. Bahan yang diperlukan berupa pati dari roti *expired* serta kitosan dan gliserol yang divariasikan, dimana hasil akhir yang diperoleh berupa lembaran plastik. Dalam jurnalnya Muhammad dkk (2020) menerangkan bahwa pembuatan plastik *biodegradable* dengan campuran pati dan kitosan menghasilkan plastik yang bersifat kaku dan elastisitasnya rendah. Dalam hal ini peneliti menggunakan gliserol sebagai plastisizer untuk meningkatkan elastisitas pada plastik *biodegradable* yang dihasilkan sehingga tidak mudah rapuh.

Penelitian mengenai pembuatan plastik *biodegradable* dari pati roti *expired* dilakukan dengan berbagai konsentrasi guna mengetahui konsentrasi optimum dari bahan yang digunakan. Konsentrasi optimum diperoleh dengan cara memvariasikan konsentrasi kitosan sebagai penguat dan gliserol sebagai pembplastis. Variasi konsentrasi pada penelitian ini merujuk pada data penelitian yang telah dilakukan oleh Cengristitama dkk (2023), dimana karakteristik plastik *biodegradable* terbaik yang diperoleh yaitu dengan kandungan pati 10 g, kitosan 2

g, dan sorbitol 2,5 mL. Tabel 3.1 di bawah ini memberikan penjelasan tentang sampel A, B, dan C dengan variasi konsentrasi kitosan dan gliserol.

**Tabel 3. 1** Variasi bahan pembentuk plastik *biodegradable*

Sampel	Pati roti (g)	Kitosan (g)	Gliserol (mL)
A	10	2	2,5
B	10	4	3
C	10	6	3,5

Proses pembuatan plastik *biodegradable* merujuk pada Qadri dkk (2023) yang diawali dengan pembuatan larutan pati dengan menimbang 10 gram pati, kemudian ditambahkan aquades hingga mencapai volume 100 mL, lalu dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer*. Dilanjutkan dengan pembuatan larutan kitosan dengan cara menimbang kitosan sebanyak 2, 4, dan 6 gram, kemudian ditambahkan 1% asam asetat hingga mencapai volume 100 mL, lalu dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan kecepatan 500 rpm. Setelah pembuatan kedua larutan selesai, larutan pati dipanaskan dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan kecepatan 600 rpm dan suhu 65°C sampai mengental. Selanjutnya didinginkan beberapa saat, kemudian dituangkan kitosan ke dalam larutan pati. Lalu kembali dipanaskan selama 15 menit dengan suhu 65°C sampai merata. Campuran didinginkan kembali selama 5 menit dan ditambahkan gliserol sesuai variasi yang telah ditetapkan sambil terus dipanaskan dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit dan suhu 50°C hingga campuran tersebut membentuk gel dan siap dicetak di atas plat kaca ukuran 20 × 20 cm. Plat kaca dihentakkan pelan agar gel merata dan tidak muncul gelembung pada sampel plastik. Kemudian sampel dikeringkan di bawah sinar matahari selama seharian. Selanjutnya sampel dilepas dari cetakan dan siap di uji.

### 3.5 Karakteristik Plastik *Biodegradable*

#### 3.5.1 Uji Kuat Tarik dan Elongasi

Uji kuat tarik pada plastik *biodegradable* dilakukan dengan menggunakan *Tension testing*. Sampel plastik *biodegradable* dipotong menjadi ukuran 9 x 2 cm, kemudian dijepit pada kedua sisinya dengan jarak 1,5 cm. Selanjutnya, dipasang indikator ekstensi (*extensomer*) dan alat pengukur regangan melintang. Proses ini melibatkan pengukuran beban dan tegangan, dengan kecepatan pengujian

disesuaikan sesuai kebutuhan. Kurva tegangan-beban direkam selama pengujian, dan juga dicatat nilai tegangan dan beban pada saat sampel putus. Pengujian ini diulang sebanyak tiga kali (*triplo*). Kuat tarik kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kuat Tarik } (\sigma) = \frac{F_{\text{maks}}}{A} \quad (3.2)$$

Keterangan:

$\sigma$  : Kuat atau tegangan tarik (MPa)

$F_{\text{maks}}$  : Tegangan maksimal (N)

$A$  : Luas penampang melintang ( $\text{mm}^2$ )

Pengukuran elongasi sampel plastik *biodegradable* menggunakan prosedur yang sama dengan uji kuat tarik. Perhitungan persen elongasi menggunakan persamaan (3.3) sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3.3)$$

Keterangan:

$L_0$  : Panjang mula-mula (mm)

$\Delta L$  : Pertambahan panjang (cm)

Setelah melakukan perhitungan nilai kuat tarik dan elongasi, selanjutnya akan menghasilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara kuat tarik dengan jenis sampel serta grafik yang menggambarkan hubungan antara elongasi dengan jenis sampel.

### 3.5.2 Uji Ketahanan Air (*Swelling*)

Uji ketahanan air dilakukan dengan cara memotong sampel dengan ukuran 3 cm x 4 cm. Sampel ditimbang untuk diketahui berat awal plastik *biodegradable* ( $W_0$ ) dan dimasukkan ke dalam gelas kimia yang berisi *aquadest* 50 mL selama 1 menit. Plastik *biodegradable* yang telah direndam kemudian diangkat dan air yang menempel pada permukaan plastik dikeringkan dengan tisu kertas, kemudian dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat akhir plastik ( $W_1$ ). Pengukuran ketahanan air film dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$A = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (3.4)$$

$$\% \text{ Ketahanan Air} = 100\% - A \quad (3.5)$$

Keterangan:

A : Penyerapan air (%)

$W_0$  : Berat awal (g)

$W_1$  : Berat akhir (g)

Setelah menghitung nilai air yang diserap menggunakan rumus (3.5.2) pada persamaan (3.4), dilanjutkan menghitung % ketahanan air menggunakan rumus pada persamaan (3.5) lalu menampilkannya dalam grafik.

### 3.5.3 Uji Biodegradasi

Pengujian biodegradasi bertujuan untuk menilai apakah suatu materi dapat mengalami degradasi yang efektif dalam lingkungan. Pengujian biodegradasi melibatkan pengisian sampel plastik *biodegradable* ke dalam campuran tanah dan kompos, di mana proses pengomposan merangsang dekomposisi bioplastik tersebut sehingga semakin cepat plastik terurai atau sering disebut dengan metode *soil burial test*. Dimulai dengan pemotongan sampel berukuran  $3 \times 3$  cm dengan penimbangan berat awal ( $W_0$ ) dan kemudian dilanjutkan penanaman dalam tanah dalam kurun waktu 1 minggu. Setelah itu sampel dibersihkan dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat setelah terdegradasi ( $W_1$ ).

Biodegradabilitas dapat diukur menggunakan persamaan (3.6) untuk mengestimasi persentase penurunan berat sebagai berikut (Nurhidayanti dkk., 2021):

$$\% \text{ Kehilangan Berat} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100\% \quad (3.6)$$

Keterangan:

$W_0$  : massa sampel pada hari ke-0

$W_1$  : massa sampel pada hari ke-2, 4, 6, 8, dan 10 (mg)

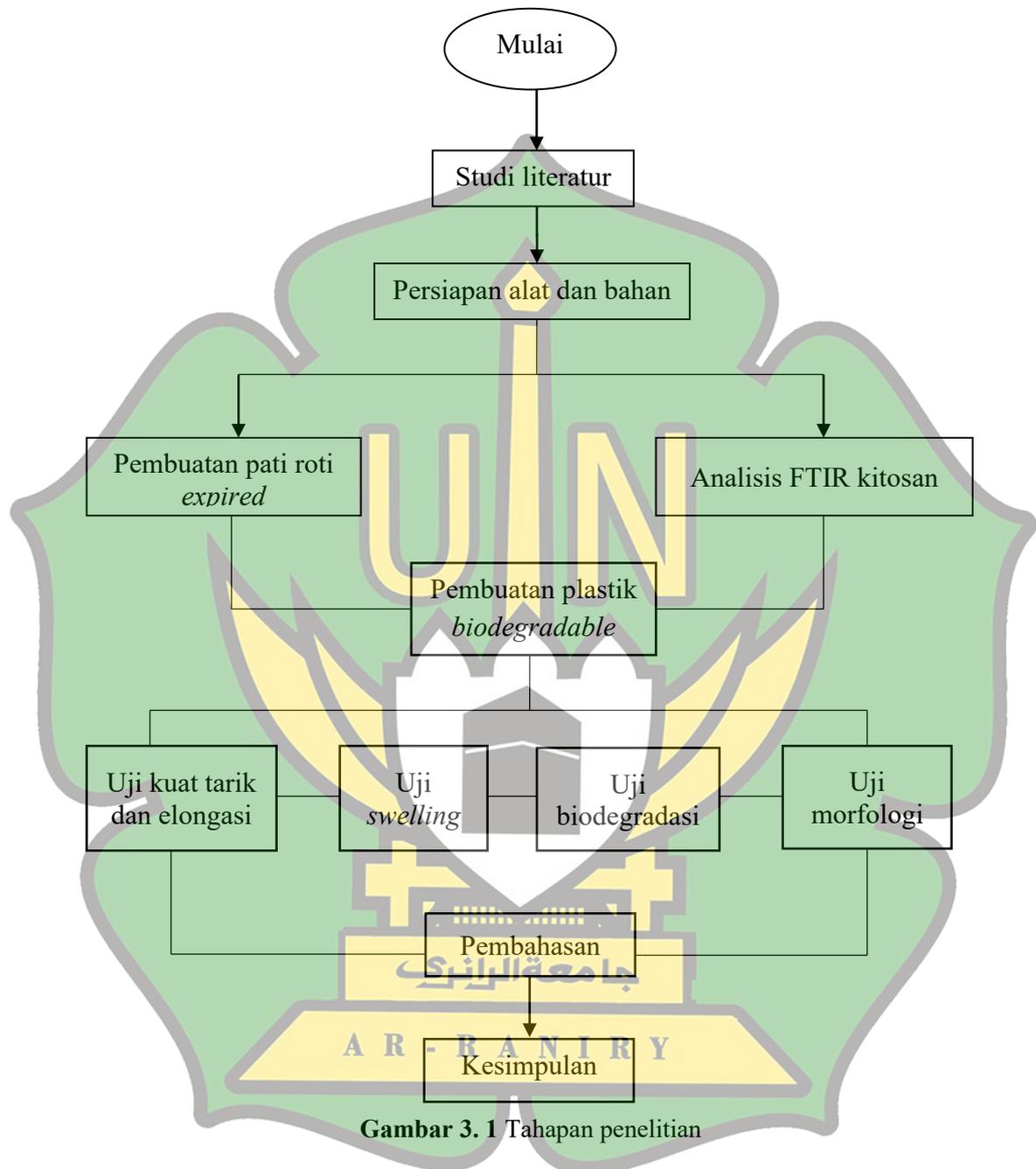
### 3.5.4 Uji Morfologi

Analisis morfologi permukaan plastik *biodegradable* dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mempelajari struktur permukaan, retakan, dan kehalusan permukaan hasil bioplastik yang dibuat (Maneking dkk., 2020). Analisis ini dilakukan menggunakan teknologi mikroskop

elektron (*Scanning Electron Microscope*, SEM) untuk memahami struktur internalnya. Sampel ditempelkan pada substrat menggunakan perekat elektrokonduktif dan difoto setelah menghasilkan gambar yang jelas. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memahami bagaimana struktur morfologi plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Hasil analisis ini didasarkan pada penggunaan SEM dengan variasi komposisi kitosan-gliserol (Hidayat dkk., 2020)



### 3.6 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 1 Tahapan penelitian

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini melakukan beberapa uji untuk mengetahui karakteristik dari plastik *biodegradable* berbahan dasar pati roti *expired*. Hasil dari uji kuat tarik dan elongasi, ketahanan air, biodegradasi, serta morfologi plastik *biodegradable* akan diuraikan sebagai berikut.

#### 4.1.1 Hasil Karakteristik Plastik *Biodegradable*

Tabel 4. 1 Data hasil karakteristik plastik *biodegradable*

Karakteristik	Syarat mutu plastik <i>biodegradable</i> berdasarkan (SNI No. 7188.7:2016)	Sampel		
		A	B	C
Kuat tarik (MPa)	24,7-302	1,1713	1,4049	1,0255
Elongasi (%)	21-220	38,4	51,6	46,6
Ketahanan air (%)	99	59,75	86,75	90,89
Biodegradasi (%)	≥ 60% 1 minggu	97,22	95,76	85,91

#### 4.1.2 Hasil Morfologi Plastik *Biodegradable*



Gambar 4. 1 Hasil analisis SEM pada perbesaran 4000×

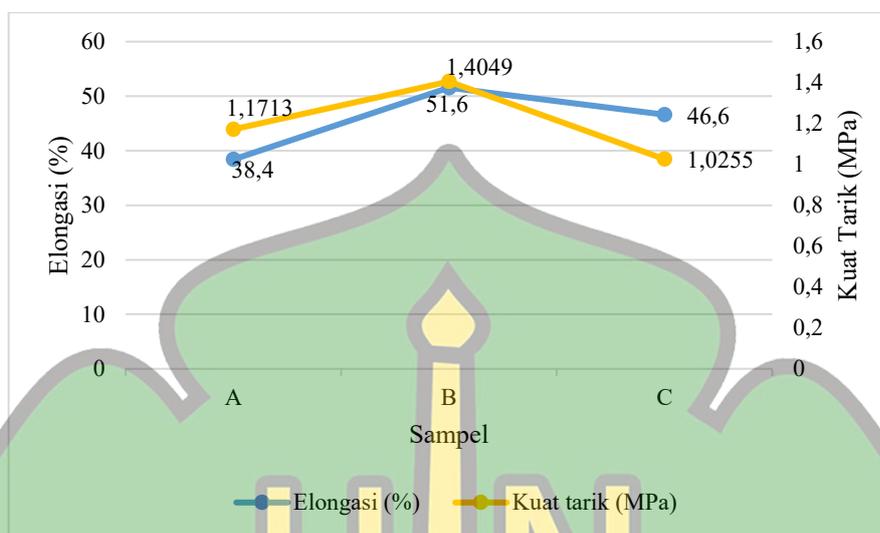
### 4.2 Pembahasan

#### 4.2.1 Karakteristik Plastik *Biodegradable*

##### a. Kuat Tarik dan Elongasi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik plastik *biodegradable* berbahan dasar pati roti dengan berbagai variasi konsentrasi kitosan dan gliserol. Variasi konsentrasi kedua bahan ini berpotensi memengaruhi nilai elongasi serta kekuatan tarik plastik ketika diberikan beban. Sampel plastik *biodegradable* dengan ukuran 9 cm × 2 cm diuji menggunakan *Universal Testing*

Machine (UTM). Grafik hasil pengujian kuat tarik dan elongasi plastik *biodegradable* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4. 2** Grafik hasil uji kuat tarik dan elongasi

Penambahan kitosan dan gliserol dalam berbagai konsentrasi pada pembuatan plastik *biodegradable* berbahan dasar pati roti *expired* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik dan elongasi plastik yang dihasilkan. Setiap perlakuan dengan kombinasi kitosan dan gliserol menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda-beda. Rata-rata kekuatan tarik plastik *biodegradable* yang dihasilkan berkisar antara 1,0255 hingga 1,4049 MPa dengan rata-rata elongasi berkisar antara 38,4% hingga 46,6%. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh oleh sampel B yaitu 1,4049 MPa dengan variasi kitosan 4 g + gliserol 3 mL dan nilai terendah berkisar 1,0255 MPa pada sampel C dengan variasi kitosan 6 g + gliserol 3,5 mL. Nilai elongasi tertinggi juga diperoleh oleh sampel B dengan nilai 46,6% dan nilai terendah berkisar 38,4% pada sampel A. Nilai kuat tarik ketiga sampel tidak memenuhi SNI No. 7188.7:2016, yaitu dengan rentang nilai yang ditetapkan 24,7 – 302 MPa. Berbeda dengan kuat tarik, nilai elongasi ketiga sampel justru memenuhi SNI No. 7188.7:2016, yaitu dengan rentang nilai 21-220%.

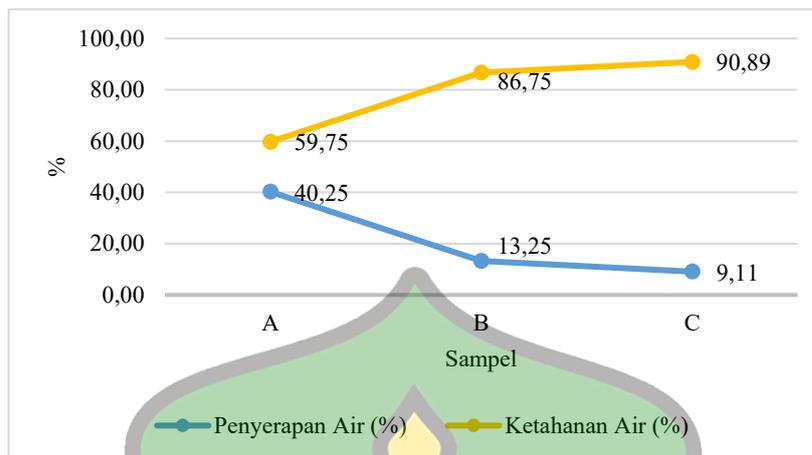
Pada sampel A dan B, peningkatan konsentrasi kitosan meningkatkan kekuatan tarik, namun pada sampel C, justru terjadi penurunan. Peningkatan konsentrasi kitosan memperkuat ikatan hidrogen dalam plastik *biodegradable*, yang membuat struktur kimia lebih kokoh dan rapat sehingga diperlukan gaya

tarik lebih besar untuk memutuskan ikatan tersebut. Namun, konsentrasi dan jumlah kitosan yang terlalu banyak membuat plastik *biodegradable* menjadi kaku dan lebih mudah putus karena sifat kitosan yang memiliki struktur linear dan membentuk fase kristalin (Qadri dkk., 2023). Hal ini menjelaskan penyebab sampel C memiliki nilai kuat tarik paling rendah dibandingkan sampel lainnya, yaitu karena sampel C terjadi penambahan kitosan yang sangat tinggi.

Kitosan memiliki sifat sulit larut dalam air yang mempengaruhi kekentalan dan ketebalan, sehingga membuatnya sulit dicetak dengan merata. Semakin tinggi konsentrasi kitosan dalam pembuatan plastik *biodegradable*, semakin rendah tingkat homogenitasnya. Akibatnya, plastik yang terbentuk memiliki gumpalan-gumpalan, yang pada akhirnya menurunkan kekuatannya (Cengristitama dkk., 2023). Elongasi juga dipengaruhi oleh kandungan kitosan yang sangat tinggi, ini dibuktikan dari nilai elongasi sampel B menunjukkan peningkatan yang signifikan. Namun, penambahan kitosan >4 g pada sampel C (kitosan 6 g) membuat nilai elongasi ikut turun.

#### **b. Ketahanan Air (*Swelling*)**

Ketahanan plastik *biodegradable* terhadap air diukur melalui uji *swelling*, yang menunjukkan persentase peningkatan berat polimer setelah proses pengembangan (Apriani, 2020). Plastik *biodegradable* dengan kadar air yang rendah lebih diminati sebagai pengemas produk makanan karena kadar air yang rendah menjadikan produk makanan yang dikemas tetap terjaga mutu dan kesegarannya (Yanti dan Ihlana, 2023). Uji *swelling* dilakukan dengan memotong sampel ukuran  $3 \times 4$  cm dan dilakukan penimbangan berat awal ( $W_0$ ), lalu merendamnya ke dalam 50 mL aquadest selama 10 detik dan dilakukan penimbangan berat sampel ( $W$ ). Perendaman dilakukan berulang agar memperoleh hasil yang konstan. Grafik hasil uji ketahanan air (*swelling*) dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Grafik hasil uji ketahanan air (*swelling*)

Hasil uji ketahanan air sampel plastik *biodegradable* disajikan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.4. Dari 3 sampel plastik *biodegradable*, sampel C (pati 10 g + kitosan 6 g + gliserol 3,5 mL) memperoleh nilai ketahanan air terbaik yaitu sebesar 90,89%. Nilai tersebut mendekati nilai Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu 99%. Nilai daya serap air terhadap ketahanan plastik *biodegradable* berbeda-beda, ini dipengaruhi oleh konsentrasi kitosan yang berbeda-beda di setiap variasinya.

Ketahanan air plastik *biodegradable* tinggi seiring meningkatnya konsentrasi kitosan yang disebabkan oleh sifat kitosan yang hidrofobik (sukar air). Tingginya % penyerapan air menandakan semakin rendah kualitas plastik *biodegradable* dan juga sebaliknya semakin rendah % penyerapan air maka semakin tahan plastik terhadap air dan semakin bagus kualitasnya.

### c. Biodegradasi

Uji biodegradasi bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat sampel dapat terurai, sehingga kita bisa memprediksi berapa lama waktu yang dibutuhkan sampel tersebut untuk sepenuhnya terurai (Nurhabibah dan Wida, 2021). Sampel plastik *biodegradable* dipotong ukuran  $3 \times 4$  cm, kemudian dilakukan pengujian biodegradasi dengan metode *soil burial*. Sampel dikubur di dalam tanah yang telah diisi dalam wadah khusus sampai sampel plastik *biodegradable* terurai sempurna. Pengamatan terhadap proses biodegradasi berlangsung hingga hari ke-9, dengan dokumentasi setiap 3 hari sekali seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.2. Selain itu, % kehilangan berat plastik *biodegradable* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

**Tabel 4. 2** Proses biodegradasi plastik *biodegradable*

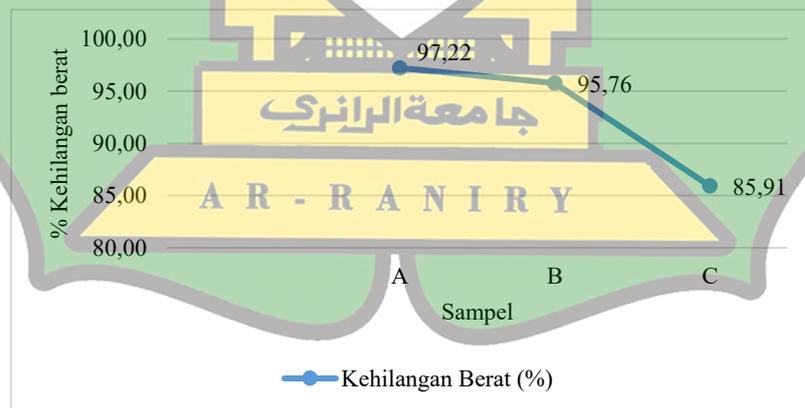
Hari ke	Sampel		
	A	B	C
0			
1			
4			
7			

Keterangan:

A = variasi kitosan 2 gram dan gliserol 2,5 mL

B = variasi kitosan 4 gram dan gliserol 3 mL

C = variasi kitosan 6 gram dan gliserol 3,5 mL



**Gambar 4. 4** Grafik persen (%) kehilangan berat

Pada penelitian ini, didapat hasil bahwa sampel A yang paling baik tingkat biodegradasinya, kemungkinan dipengaruhi oleh faktor variasi antara kitosan dan gliserol. Sampel A dengan kandungan kitosan 2 g dan gliserol 2,5 mL

menunjukkan kehilangan berat yang signifikan, yaitu 97,22% setelah 7 hari. Sampel B dengan kandungan kitosan 4 g dan gliserol 3 mL mengalami kehilangan berat sebesar 95,76% setelah 7 hari. Walaupun kandungan gliserol lebih tinggi dibandingkan sampel A, biodegradasi tidak lebih baik karena jumlah kitosan yang digunakan dengan konsentrasi tinggi, yang menghambat penguraian plastik. Sampel C dengan kandungan kitosan 6 g dan gliserol 3,5 mL mengalami kehilangan berat tertinggi, yaitu 85,91% setelah 7 hari. Kemampuan biodegradasi ketiga sampel ini telah memenuhi SNI 7188.7:2016, yang mana sampel harus terdegradasi  $\geq 60\%$  dalam 1 minggu.

Penambahan gliserol dalam konsentrasi tinggi pada sampel C membuat plastik lebih mudah terurai. Hal ini sejalan dengan penelitian Marlina dan Gia (2021), yang menunjukkan bahwa semakin banyak gliserol yang ditambahkan, semakin cepat plastik terdegradasi karena sifat hidrofilik gliserol. Namun, tidak seperti gliserol, penambahan kitosan justru memperlambat proses degradasi plastik. Semakin banyak kitosan yang digunakan, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mendegradasi plastik, karena kitosan memiliki sifat pengawet yang menghambat aktivitas bakteri di dalam tanah (Yustinah dkk., 2023). Walaupun memiliki konsentrasi kitosan tertinggi dibandingkan variasi lain, sampel C paling cepat terdegradasi karena faktor kecepatan degradasi bukan hanya bergantung pada mikroorganisme namun juga pada kapasitas hidrofobisitas permukaan dan daya serap air bioplastik (Timbuleng dkk., 2023). Hal ini ditunjukkan pada daya serap air plastik, dimana sampel A dengan nilai daya serap air tertinggi yaitu 40,25%. Serapan air yang tinggi ini disebabkan oleh tingginya kandungan pati dari bioplastik dimana keberadaan air ini melemahkan ikatan-ikatan ionik dalam amilosa pati dan menyebabkan pati semakin menyerap air dan menyerupai bubur sehingga kondisi ini akan mempercepat laju biodegradasi bioplastiknya.

#### 4.2.2 Morfologi Plastik *Biodegradable*

Analisis morfologi dilakukan secara langsung menggunakan (*Scanning Electron Microscope*) SEM dengan tujuan untuk melihat struktur dan bentuk plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Plastik *biodegradable* yang berkualitas adalah plastik yang memiliki permukaan yang homogen. Kehomogenan

permukaan ini berperan penting dalam menentukan sifat fisik dan kekuatan tarik plastik *biodegradable* tersebut (Fadilla dkk., 2023). Jadi, semakin tinggi kuat tarik suatu plastik *biodegradable* maka semakin baik pula kehomogenitasnya yang membuat struktur plastik *biodegradable* menjadi lebih rapat. Hal inilah yang mendasari peneliti memilih sampel yang memiliki nilai kuat tarik elongasi tertinggi diantara sampel yang lain yaitu sampel B.

Hasil analisis SEM pada plastik *biodegradable* sampel B dengan konsentrasi 10 gram pati, 4 gram kitosan, dan 2,5 mL gliserol, pada perbesaran 4000× memiliki struktur morfologi yang kasar dan tidak seragam. Hal ini terjadi karena pada saat proses pencetakan, sampel sangat kental seiring meningkatnya konsentrasi kitosan yang dipakai. Sampel plastik *biodegradable* yang diperoleh terdapat beberapa sisi kasar. Hal ini diakibatkan oleh kitosan yang bersifat sukar larut dalam air yang berpengaruh pada kekentalan dan ketebalan sehingga sulit dicetak merata (Cengristitama dkk., 2023).

Terlihat di tengah gambar terdapat struktur besar menyerupai gumpalan atau agregasi partikel. Struktur seperti ini mengindikasikan adanya fase non homogen dalam material, yang kemungkinan besar akibat dari pencampuran yang tidak sempurna selama proses pembuatan dan penggabungan antara komponen-komponen *biodegradable* yang berasal dari sumber organik yang memiliki karakteristik berbeda dengan plastik konvensional. Semua karakteristik ini adalah hal umum ditemukan pada material *biodegradable*, dan bisa mempengaruhi laju biodegradasi serta sifat kuat tarik plastik tersebut.

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi komposisi plastik *biodegradable* berbahan dasar pati dari roti *expired* terbukti berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik, elongasi, ketahanan air (*swelling*), dan biodegradasi, dengan nilai kekuatan tarik terbaik diperoleh sampel B sebesar 1,4049 MPa, elongasi terbaik diperoleh sampel B sebesar 51,6%, ketahanan air terbaik diperoleh sampel C sebesar 90,89%, dan biodegradasi terbaik diperoleh sampel A dengan % kehilangan berat sebesar 97,22% selama 1 minggu dan terdegradasi total pada hari ke 8. Dari semua karakteristik yang diuji, hanya uji elongasi dan biodegradasi yang memenuhi ketentuan SNI 7188.7:2016.
2. Struktur morfologi plastik *biodegradable* pada sampel terbaik, yaitu sampel B, menunjukkan karakteristik yang kurang ideal, dikarenakan memiliki permukaan yang kasar dan adanya gumpalan sehingga mencerminkan ketidakseragaman struktur.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk mengurangi konsentrasi kitosan yang digunakan, agar mempermudah terjadinya homogenitas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alianingsih, F. (2022). *Studi pengaruh penambahan asam askorbat pada pembuatan bioplastik pati umbi talas dengan kitosan.*
- Alifatul, A., Rohmah, Z., Nur, A., Fajrin, A., dan Gunawan, S. (2022). Aplikasi kitosan berbasis kulit udang sebagai alternatif substitusi lilin pelapis dalam rangka peningkatan umur simpan buah-buahan: A review. *Jurnal 07 ITS*, 2(2), 120–136.
- Anggraini, F. (2019). *Karakteristik biodegradable film berbasis ampas tebu (Saccharum officinarum L) dengan penambahan gliserol dan carboxy methyl cellulose (CMC).*
- Anom, I. D. K., dan Lombok, J. Z. (2020). Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Kantong Plastik sebagai Bahan Bakar Bensin. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2), 96.
- Apriani, Y. (2020). Pengaruh Penambahan Asam Palmitat pada Karakteristik Edible Film dari Tepung Pati Biji Melinjo (*Gnetum gnemon L.*) sebagai Penghambat Laju Transmisi Uap Air. In *Skripsi.*
- Arifin, H. R., Lembong, E., dan Irawan, A. N. (2023). Karakteristik roti tawar dari substitusi terigu dengan tepung komposit sukun (*Artocarpus atilis F.*) dan pisang (*Musa paradisiaca L.*) sebagai pemanfaatan komoditas lokal. *Jurnal Penelitian Pangan (Indonesian Journal of Food Research)*, 3(1), 20–26.
- Arum Wandhasari, N., dan Harisudin, M. (2022). Pengaruh Kualitas Produk, Harga, Dan Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Konsumen Latansa Bakery Surakarta. *Agrista*, 10(2), 1–12.
- Cengristitama, Herdiansyah, dan Sari, M. W. (2023). Pengaruh Penambahan Kitosan dan Plasticizer Sorbitol pada Proses Pembuatan Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Tanduk. *Tedc*, 17(2), 134–140.
- Cengristitama, dan Wulandari, G. A. (2021). Variasi Penambahan Kitosan dalam Pembuatan Bioplastik dari Limbah Sekam Padi dan Minyak Jelantah. *Jurnal TEDC*, 15(1), 8–14.
- Dermawan, K., Sigit Lestari, R. A., dan Kasmiyatun, M. (2020). Pembuatan Plastik Biodegradable dari Pati Biji Nangka dengan Penambahan Polyvinyl

- Alcohol (PVA) dan Sorbitol. *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 18.
- Dome, K., Podgorbunskikh, E., Bychkov, A., dan Lomovsky, O. (2020). Changes in the crystallinity degree of starch having different types of crystal structure after mechanical pretreatment. *Polymers*, 12(3), 1–12.
- Fadilla, A. U., Malia., dan Ahyuni. (2023). *Pengaruh Selulosa Ampas Tebu ( Saccharum officinarum ) sebagai Zat Pengisi Plastik Biodegradable berbasis Pati Kulit Singkong ( Manihot fsculenta )*.
- Farida, C. T. (2024). *Pembuatan Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Selulosa Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit ( Tkks ) Dengan Penambahan Pati Sagu*.
- Halidi, R. (2021). *Penjualan Roti Indonesia Jadi yang Tertinggi di Asia Tenggara, Capai Rp2.6 Triliun!* Suara.Com.
- Hidayat, F., Syaubari, S., dan Salima, R. (2020). Pemanfaatan pati tapioka dan kitosan dalam pembuatan plastik biodegradable dengan penambahan gliserol sebagai plasticizer. *Jurnal Litbang Industri*, 10(1), 33.
- Intandiana, S., Dawam, A. H., Denny, Y. R., Septiyanto, R. F., dan Affifah, I. (2019). Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Singkong dan Selulosa Mikrokristalin Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2), 185.
- Lailyningtyas, D. I., lutfi, M., dan Ahmad, A. M. (2020). Uji Mekanik Bioplastik Berbahan Pati Umbi Ganyong (Canna edulis) dengan Variasi Selulosa Asetat dan Sorbitol. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 8(1), 91–100.
- Lidia, I., Mursal, P., Maratus, A., Warsito, P., Ariyanti, D. K., Susanti, I., Irma, R., Buana, U., Karawang, P., dan Barat, J. (2023). *Review Article : Penggunaan Nanopartikel Kitosan sebagai Penghantar Obat Baru Review Article: Use of Chitosan Nanoparticles as New Drug Delivery*. 6(2), 804–809.
- Mahatmanti, F W, E. Kusumastuti, Jumaeri, M. Sulistyani, A. Susiyanti, U. H. (2022). *Pembuatan kitin dan kitosan dari limbah cangkang udang sebagai upaya memanfaatkan limbah menjadi material maju*.
- Maladi, I. (2019). *Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Singkong*

(Manihot utilisima) dengan Penguat Selulosa Jerami Padi, Polivinil Alkohol dan Bio-Compatibel Zink Oksida. In *Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah*.

Maneking, E., Sangian, H. F., dan Tongkukut, S. H. J. (2020). Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Biomassa dengan Plasticizer Gliserol. *Jurnal MIPA*, 9(1), 23.

Marlina, L dan Achmad, N. T. F. (2021). Pengaruh variasi penambahan kitosan dan gliserol terhadap karakteristik plastik biodegradable dari pati ubi jalar. *Jurnal TEDC*, 15(2), 125–133.

Muhammad, Rina Ridara, M. (2020). Sintesis bioplastik dari pati biji alpukat dengan bahan pengisi kitosan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2(November), 1–11.

Naureen, Z., Dhuli, K., Donato, K., Aquilanti, B., Velluti, V., Matera, G., Iaconelli, A., dan Bertelli, M. (2022). Foods of the Mediterranean diet: tomato, olives, chili pepper, wheat flour and wheat germ. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 63(2), E4–E11.

Nugraha, L. A., Dewi Triastianti, R., dan Prihandoko, D. (2020). Uji Perbandingan Plastik Biodegradable Pati Singkong Dan Pati Kentang Terhadap Kekuatan Dan Pemanjangan. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 20(1), 17–28.

Nurhabibah, S. A. dan W. B. K. (2021). Karakterisasi bioplastik dari k-karagenan *eucheuma cottonii* terplastisasi berpenguat nanoselulosa. 43(2), 82–94.

Nurhalliza, G., Marlina, L., Nurhalliza, G., dan Kimia, T. (2021). Karakteristik biodegradasi dan water uptake. 279–286.

Nurhidayanti, N., Yulian, I., Wardani, K., dan Ilyas, I. (2021). Studi optimalisasi komposisi gliserol dan kitosan terhadap karakteristik sifat fisik plastik biodegradable dari limbah nasi aking dan tepung tapioka. 15(1), 27–35.

Pramono, Y. B. (2021). *Pengawasan mutu sistem first in first out (FIFO) pada tepung terigu*. UNDIP PRESS Semarang.

Pravitasari, K. (2022). *A Correlation Between Environmental Knowledge and Electoral Behavior of Biodegradable Plastic Among Biology Students of University of Jakarta*. 178–182.

- Puspitasari, S., Technology, K. F., Studi, P., Pangan, T., Pertanian, F. T., dan Soegijapranata, U. K. (2022). *Plastik biodegradable berbasis kulit singkong dan aplikasinya dalam bidang pangan*.
- Qadri, O. R. J., Hamzah, F. H., dan Ayu, D. F. (2023). *Variasi konsentrasi kitosan dalam pembuatan bioplastik berbahan baku jerami nangka*. 17(1), 106–113.
- Radtra, A. H. A., dan Udjiana, S. (2023). Pembuatan Plastik Biodegradable Dari Pati Limbah Tongkol Jagung (*Zea Mays*) Dengan Penambahan Filler Kalsium Silikat Dan Kalsium Karbonat. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 427–435.
- Ridwan, M. (2018). Sintesis Dan Uji Kualitas Plastik Biodegradable dari Pati Singkong Menggunakan Variasi Penguat Logam Seng Oksida dan Plasticizer Gliserol. *Uin Alauddin Makasar*, 2(2), 40.
- Riset, J., Ab, S., Solekhah, P. P., Novitasari, G. P., dan Nuryani, F. (2023). *Pengaruh Jumlah Kitosan dalam Pembuatan Plastik Biodegradable dari Selulosa Sabut Kelapa dengan Pemplastik Gliserol The Effect of Chitosan Amount in Making Biodegradable Plastics from Coconut Coir Cellulose with Glycerol as Plasticizer*. 7(2), 143–149.
- Rojtica, M. A. (2021). *Sintesis dan karakterisasi bioplastik berbasis selulosa asetat limbah tebu-kitosan-gliserol*.
- S, Harimbi., Satria., Zamroni., Ana, Dwi., dan Muyassaroh. (2020). Optimalisasi Pemanfaatan Nasi Aking Menjadi Plastik Biodegradable untuk Mengembangkan Budaya Eco Green pada Masyarakat di Kelurahan Mojolangu Kota Malang. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri*, 6(2), 18–23.
- Salsabilla, A., Hakim, M. F., Putra, A., & Fatin, A. (2024). Pengaruh Variasi Konsentrasi KOH dan Waktu Pengadukan Terhadap Nilai Derajat Deasetilasi dan Karakteristik Kitosan dari Cangkang Rajungan. *Journal Of Social Science Research Volume*, 4(7949), 6786–6800.
- Saputra, M. R. B dan Supriyo, E. (2020). Pembuatan Plastik Biodegradable Menggunakan Pati Dengan Penambahan Katalis ZnO dan Stabilizer Gliserol. *Pentana*, 1(1), 41–51.
- Sari, D. Y., Fitriyanti, R., Nurlala, dan Wahyudi, A. (2021). Pemanfaatan limbah

- biji durian (*Durio zibethinus murr*) sebagai bahan baku pembuatan plastik biodegradable. *Jurnal Redoks*, 6(2), 157–165.
- Sasria, N., Asrilsyah, A., Lubis, M. P. D., Zulfikar, A., dan Tanjung, R. A. (2020). Sintesis dan karakterisasi plastik biodegradable berbasis pati nasi aking dan kitosan cangkang udang. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(2), 231.
- Utari, Novita. (2023). Pemanfaatan kulit singkong (*Manihot esculenta*) sebagai bahan baku pembuatan plastik biodegradable dengan plasticizer gliserol dan bahan pengisi zno. *Program Studi Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang*. 122019033.
- Sihombing, D. R. (2021). Karakteristik Fisik dan Kimia Roti Tawar Substitusi Tepung Jagung Lokal Termodifikasi. *Jurnal Riset Teknologi Pangan Dan Hasil Pertanian (RETIPA)*, 2, 110–116.
- Susilawati. (2022). Pemanfaatan kitosan dari limbah cangkang susuh kura (*Sulcospira testudinaria*) sebagai biokoagulan untuk menurunkan kadar TSS dan COD pada limbah cair RPH.
- Tahir, Muhammad Sahrul dan Solikha, Dian Farkhatu. (2023). Kajian penambahan tepung bulu ayam dan pati kulit pisang terhadap plastik polipropilena pada pembuatan plastik biodegradable. *Jurnal Multidisiplin Indonesia*, 1(5), 63–72.
- Timbuleng, N., Naharia, O., Gedoan, S. P., Mocosuli, Y. S., Rahardiyana, D., dan Moko, E. M. (2023). Biodegradasi Bioplastik Berbahan Dasar Pati Daluga (*Cyrtosperma merkusii*) dengan Cellulose Nano Crystal sebagai Agen Reinforcement sebagai Dasar Pengembangan Food Packaging. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 12(3), 633–645.
- Udjiana, S. S., Hadianoro, S., dan Azkiya, N. I. (2021). Perbandingan Karakteristik Plastik Biodegradable dari Biji Durian menggunakan Filler Kalsium Silikat dan Kalsium Karbonat. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(1), 22–30.
- Yanti, I dan Nairfana, I. (2023). Pengaruh Konsentrasi Pati Biji Kluwih (*Artocarpus camansi*) Terhadap Kadar Air, Ketebalan dan Daya Serap Air Edible Film. *Symposium of Agriculture Technology*, 1(3), 87–95.
- Yuni Sara. (2018). Sintesis Uji Kualitas Plastik Biodegradable Dari Pati Kulit

Singkong Menggunakan Variasi Penguat Logam Seng Oksida (Zno) Dan Plasticizer Gliserol. *Jurnal Al-Ulum*, 12(90500120088), 77–96.

Yustinah, Noviyanti, S., Hasyim, U. H., dan Syamsudin, A. B. (2019). Pengaruh Penambahan Kitosan dalam Pembuatan Plastik Biodegradable dari Rumput Laut *Gracilaria sp* dengan Pemlastik Sorbitol. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 1–6.



## LAMPIRAN A PERHITUNGAN

### 1. % Rendemen Pati Roti *Expired*

$$\text{Rendemen Pati (\%)} = \left( \frac{W_1}{W_0} \right) \times 100$$

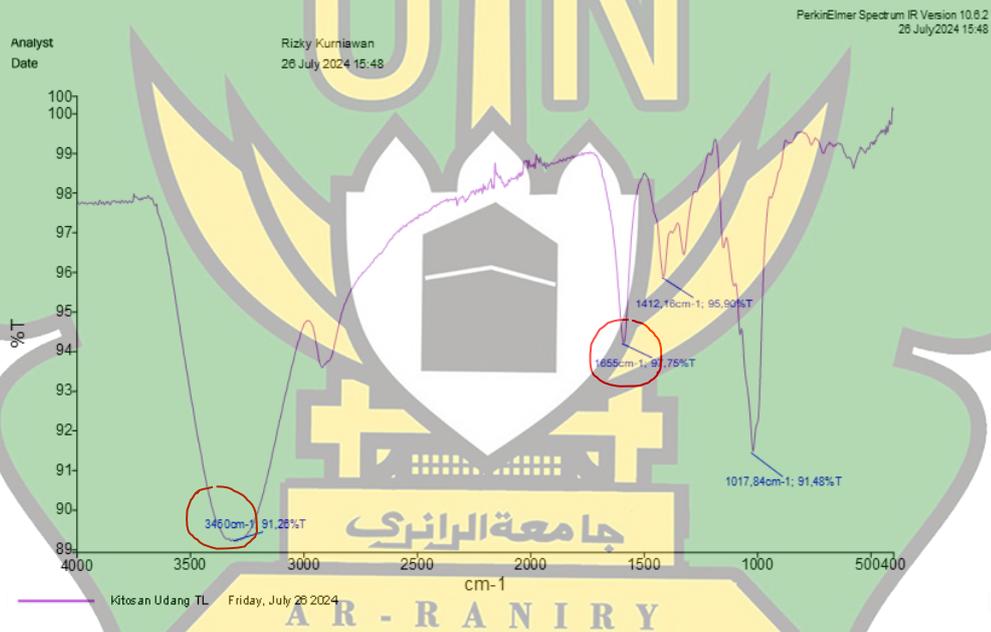
Keterangan:

$W_0$  : Berat awal bahan (g)

$W_1$  : Berat Pati yang dihasilkan (g)

$$\text{Rendemen Pati (\%)} = \left( \frac{365,6 \text{ gram}}{750 \text{ gram}} \right) \times 100 = 48,75\%$$

### 2. Nilai Derajat Deasetilasi (DD) Kitosan Kulit Udang Komersil



Keterangan:

%T : *Transmittance*

cm<sup>-1</sup> : *Wavenumber cm<sup>-1</sup>*

<i>List of Peak Area</i>		
(cm-1)	(%T)	(A)
3450	91,26	0,0397
1655	97,75	0,0099

$$\text{DD (\%)} = \left( 1 - \frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{1}{1,33} \right) \times 100$$

Keterangan:

$A_{1655}$  : Absorbansi pada bilangan gelombang 1655  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan serapan karbonil dari amida

$A_{3450}$  : Absorbansi pada bilangan gelombang 3450  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan serapan hidroksil

$$\begin{aligned} \text{DD (\%)} &= \left(1 - \frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{1}{1,33}\right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{0,0099}{0,0397} \times 0,75\right) \times 100 = 81\% \end{aligned}$$

Nilai ini memenuhi syarat minimal DD pada kitosan yaitu sebesar 75% sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) tahun 2013.

### 3. Ketahanan Air (*Swelling*)

$$\begin{aligned} \% \text{ Daya serap air (sampel A)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \\ &= \frac{0,2547 - 0,1816}{0,1816} \times 100 \\ &= 40,25\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Ketahanan air (sampel A)} &= 100\% - (\% \text{ Daya serap air}) \\ &= 100\% - 40,25\% \\ &= 59,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Daya serap air (sampel B)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \\ &= \frac{0,2051 - 0,1811}{0,1811} \times 100 \\ &= 13,25\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Ketahanan air (sampel B)} &= 100\% - (\% \text{ Daya serap air}) \\ &= 100\% - 13,25\% \\ &= 86,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Daya serap air (sampel C)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \\ &= \frac{0,2024 - 0,1855}{0,1855} \times 100 \\ &= 9,11\% \end{aligned}$$

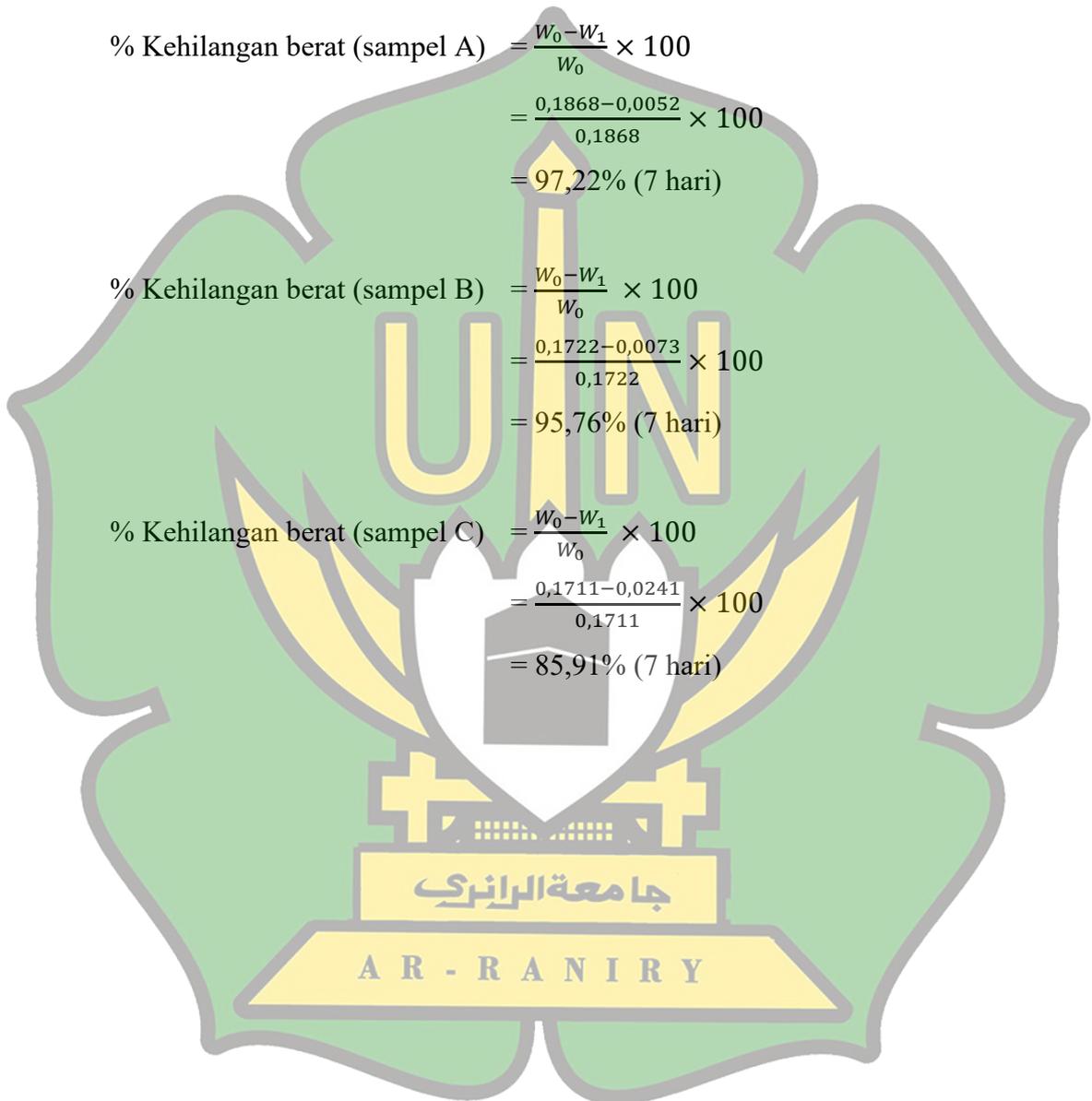
$$\begin{aligned}
 \% \text{ Ketahanan air (sampel C)} &= 100\% - (\% \text{ Daya serap air}) \\
 &= 100\% - 9,11\% \\
 &= 90,89\%
 \end{aligned}$$

#### 4. Biodegradasi

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Kehilangan berat (sampel A)} &= \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \\
 &= \frac{0,1868 - 0,0052}{0,1868} \times 100 \\
 &= 97,22\% \text{ (7 hari)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Kehilangan berat (sampel B)} &= \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \\
 &= \frac{0,1722 - 0,0073}{0,1722} \times 100 \\
 &= 95,76\% \text{ (7 hari)}
 \end{aligned}$$

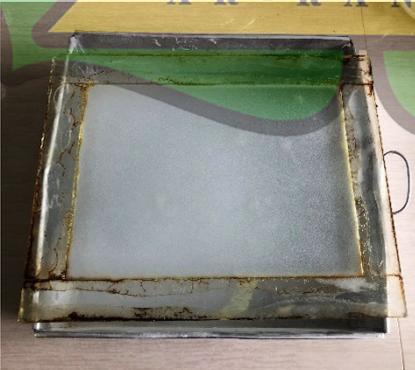
$$\begin{aligned}
 \% \text{ Kehilangan berat (sampel C)} &= \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \\
 &= \frac{0,1711 - 0,0241}{0,1711} \times 100 \\
 &= 85,91\% \text{ (7 hari)}
 \end{aligned}$$

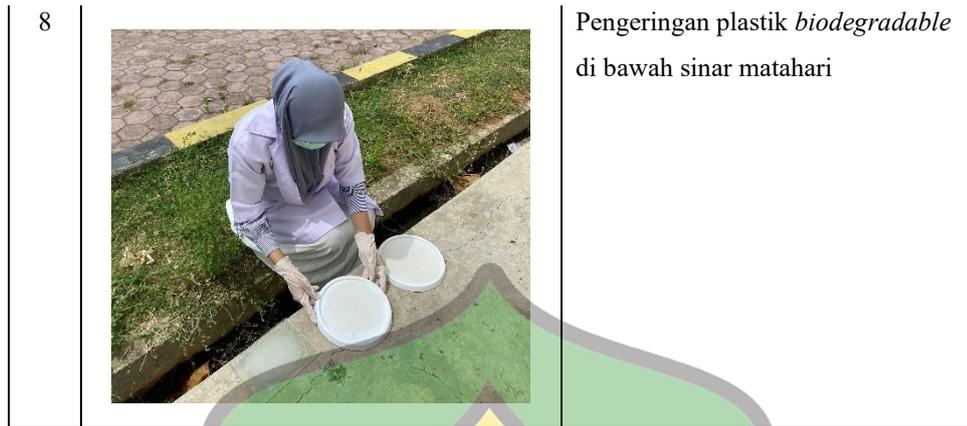


**LAMPIRAN B**  
**DOKUMENTASI PENELITIAN**

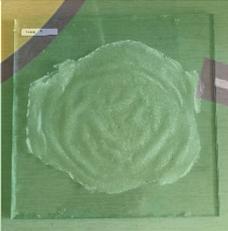
**1. Pembuatan Plastik *Biodegradable***

No	Gambar	Keterangan
1		Bubuk roti <i>expired</i> diekstraksi untuk memperoleh pati murni
2		Pembuatan larutan pati dengan penambahan aquades hingga mencapai volume 100 mL
3		Pengenceran asam asetat

4		Pembuatan larutan kitosan
5		Larutan kitosan dituang perlahan kedalam larutan pati dan dihomogenkan
6		Campuran larutan kitosan dan pati ditambahkan gliserol dengan konsentrasi tertentu
7		Pencetakan plastik <i>biodegradable</i> di atas plat kaca



## 2. Hasil Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Sampel	Komposisi			Hasil
	Pati (g)	Kitosan (g)	Gliserol (mL)	
A	10	2	2,5	
B	10	4	3	
C	10	6	3,5	