

**PROFIL BIOPLASTIK BERPENYERAP OKSIGEN TERINTEGRASI
SELULOSA MIKROKRISTALIN DARI *Acetobacter xylinum* DAN
BUTYLATED HYDROXYTOLUENE (BHT) SEBAGAI KEMASAN AKTIF**

**Profile of Oxygen Scavenging Bioplastic Integrated with Microcrystalline
Cellulose from *Acetobacter xylinum* and Butylated Hydroxytoluene (BHT)
as Active Packaging**



**IRMA KAMARUDDIN
G032201004**



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU DAN TEKNOLOGI
PANGAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PROFIL BIOPLASTIK BERPENYERAP OKSIGEN TERINTEGRASI
SELULOSA MIKROKRISTALIN DARI *Acetobacter xylinum* DAN
BUTYLATED HYDROXYTOLUENE (BHT) SEBAGAI KEMASAN AKTIF**

**IRMA KAMARUDDIN
G032201004**



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PROFIL BIOPLASTIK BERPENYERAP OKSIGEN TERINTEGRASI
SELULOSA MIKROKRISTALIN DARI *Acetobacter xylinum* DAN
BUTYLATED HYDROXYTOLUENE (BHT) SEBAGAI KEMASAN AKTIF**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Ilmu dan Teknologi pangan

Disusun dan diajukan oleh

IRMA KAMARUDDIN
G032201004

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

**PROFIL BIOPLASTIK BERPENYERAP OKSIGEN TERINTEGRASI SELULOSA
MIKROKRISTALIN DARI *Acetobacter xylinum* DAN BUTYLATED
HYDROXYTOLUENE (BHT) SEBAGAI KEMASAN AKTIF**

IRMA KAMARUDDIN

G032201004

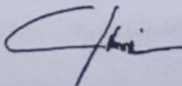
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Magister pada 31 Juli 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pada

Program Studi Magister Ilmu dan Teknologi Pangan
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin
Makassar

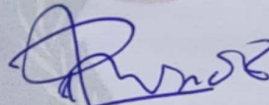
Mengesahkan

Pembimbing Utama,



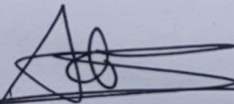
Prof. Ir. Andi Dirpan, S.TP., M.Si., PhD.
NIP. 19820208 200604 1 003

Pembimbing Pendamping,



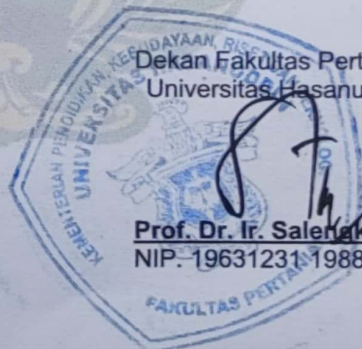
Dr. Februadi Bastian, STP., M.Si
NIP. 19820205 200604 1 002

Ketua Program Studi
Magister Ilmu dan Teknologi Pangan,



Dr. Adiansyah Syarifuddin, S.TP., M.Si.,
NIP. 19770527 200312 1 001

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Ir. Salehake, M.Sc.,
NIP. 19631231 198811 1 005

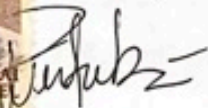
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "**Profil Bioplastik Berpenyerap Oksigen Terintegrasi Selulosa Mikrokrystalin dari *Acetobacter xylinum* dan Butylated Hydroxytoluene (BHT) sebagai Kemasan Aktif**" adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing (**Prof. Ir. Andi Dirpan, S.TP., M.Si., PhD sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Februadi Bastian, STP., M.Si sebagai Pembimbing Pendamping**). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal (**IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 807, Halaman, dan DOI 10.1088/1755-1315/807/2/022066**) sebagai artikel dengan judul "**The novel trend of bacterial cellulose as biodegradable and oxygen scavenging films for food packaging application : An integrative review**". Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, Juni 2024




NAMA : IRMA KAMARUDDIN
NIM : G032201004

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang senantiasa dilimpahkan ke jagad raya dan seisinya sehingga penulis dapat merasakan nikmat hidup. Sholawat dan senantiasa tercurah kepada baginda Rasulullah Muhamamd SAW, serta kepada keluarga, para sahabat, dan seluruh umatnya yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah menuju zaman ilmiah yang terang benderang sehingga penulis dapat merasakan nikmat menuntut ilmu. Selain itu, penulis ingin menghaturkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan pendididkan di jenjang perguruan tinggi.

1. Terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada orang tua saya tercita yang senantiasa memberikan kasih sayang, sembah sujud atas doa, pengorbanan, motivasi, dan segala dukungan moril dan materil kepada penulis selama menempuh pendidikan, juga kepada adik-adik saya yang senantiasa memberikan motivasi dan dukungan semangat.
2. Bapak Dr. Adiansyah Syarifuddin, S.TP., M.Si selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu dan Teknologi Pangan yang senantiasa mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan studi.
3. Kepada Prof. Dr. Andi Dirpan, STP., M.Si.,PhD selaku pembimbing pertama dan Dr. Februadi Bastian, STP., M.Si.Tech selaku pembimbing kedua yang senantiasa menjadi panutan penulis dengan segala jasa yang telah diberikan kepada penulis berupa ilmu, pengetahuan baru, pengalaman, motivasi, dan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan thesis.
4. Prof. Dr. Ir. Hj. Mulyati M. Tahir, MS dan Dr. rer. nat. Zainal, STP., M.Food.Tech selaku penguji internal, serta ibu Anastasia Wheni Indrianingsih, Ph.D selaku penguji eksternal yang telah bersedia memberikan masukan dan meluruskan segala kekeliruan yang terdapat dalam thesis ini sehingga menjadi lebih baik.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Magister Ilmu dan Teknologi Pangan dan civitas akademika Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin yang telah menjadi wadah tempat penulis menuntut ilmu.
6. Kepada Pimpinan, Kepala Bidang dan Sub-Koordinator Konsumsi dan Keamanan Pangan, Kasubag Umpeg, serta seluruh pengawai Dinas Ketahanan Pangan Kab. Sinjai atas segala dukungan yang senantiasa diberikan kepada penulis untuk menyegerakan penyelesaian studi.
7. Para tim Canrea yaitu Prof Dirpan, Kak Ira, Kak Lely, Kak Mira, Fadiyah, dan Arfan yang senantiasa mengingatkan, mendukung, menghibur, dan membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan thesis.
8. Teman-teman Magister angkatan 2020 yaitu Tata, Farah, dan Rahma yang senantiasa memberikan bantuan dan petunjuk dalam kelengkapan berkas pelaksanaan seminar hasil, ujian meja, hingga selesainya seluruh rangkaian studi penulis.

Makassar, Juni 2024

Penulis

ABSTRAK

IRMA KAMARUDDIN. **Profil Bioplastik Berpenyerap Oksigen Terintegrasi Selulosa Mikrokristalin dari *Acetobacter xylinum* dan Butylated Hydroxytoluene (BHT) sebagai Kemasan Aktif** (Dibimbing oleh Andi Dirpan dan Febuadi Bastian).

Latar Belakang: Kemasan plastik memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pencemaran lingkungan karena ketahanannya terhadap dekomposisi. Asam Polilaktat (PLA) dapat terurai secara hayati dan mampu menjadi alternatif bioplastik yang menjanjikan. Akan tetapi, PLA memiliki keterbatasan tertentu saat digunakan untuk aplikasi pengemasan sehingga selulosa mikrokristalin dapat dimasukkan sebagai bahan pengisi dan penguat dalam matriks PLA. Selain itu, penambahan BHT dapat memberikan fungsi penyerap oksigen dalam matriks PLA sebagai fungsi kemasan aktif.

Tujuan: Tujuan penelitian ini yaitu, 1) untuk mengetahui karakteristik selulosa mikrokristalin yang dihasilkan dari selulosa bakteri *Acetobacter xylinum* sebagai bahan penguat pada polimer bioplastik PLA; 2) untuk mengetahui formulasi terbaik polimer PLA yang ditergrasikan dengan selulosa mikrokristalin sebagai bahan penguat dan BHT sebagai agen penyerap oksigen terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan; 3) untuk mengetahui dan menganalisa efektivitas penggunaan bioplastik sebagai kemasan aktif berpenyerap oksigen pada buah apel potong segar. **Metode :** Penelitian ini memiliki metode meliputi 1) sintesis selulosa bakteri *Acetobacter xylinum*; 2) pembuatan selulosa mikrokristalin; 3) pembuatan bioplastik; 4) aplikasi bioplastik pada buah apel potong segar. **Hasil :** Selulosa mikrokristalin yang dihasilkan memiliki karakteristik baik meliputi berbentuk serbuk halus, berwarna putih, tidak berbau, tidak berasa, dan tidak membentuk warna biru pada uji pati, kadar air 3,792%, dan pH 6,705. Bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30% SM dan 10% BHT menghasilkan bioplastik terbaik yang diamati berdasarkan parameter nilai biodegradabilitas 19,51%; nilai kemampuan retensi kelembaban 99,074%; nilai daya serap air 28,048%; dan nilai permeabilitas oksigen $0,816 \times 10^{-3}$ g/m s Pa. Walaupun, pada beberapa parameter memiliki hasil uji yang tidak optimal antara lain nilai kuat tarik 2,485N/mm²; kuat mulur 2,485%. Bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30% SM dan 10% BHT menunjukkan efektivitas fungsi kemasan yang baik terhadap pencegahan penurunan kadar vitamin C melalui trend penurunan yang bertahap, perubahan warna coklat terjadi perlahan dengan indeks pencoklatan akhir paling rendah yaitu $2,7 \times 10^4$, dan memiliki kandungan total fenol paling tinggi di akhir penyimpanan yaitu 4,025 mg GAE/g pada buah apel potong segar yang dikemas. **Kesimpulan :** Bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30% SM dan 10% BHT merupakan perlakuan terbaik yang menghasilkan polimer bioplastik berpenyerap oksigen dengan kemampuan aktif dalam menghambat penurunan kualitas buah apel potong segar yang dikemas.

Kata Kunci: Bioplastik; Polyactic Acid (PLA); Selulosa mikrokristalin; Butylated Hydroxytoluene (BHT); Penyerap oksigen; Kemasan aktif.

ABSTRACT

IRMA KAMARUDDIN. **Profile of Oxygen Scavenging Bioplastic Integrated with Microcrystalline Cellulose from *Acetobacter xylinum* and Butylated Hydroxytoluene (BHT) as Active Packaging** (Supervised by Andi Dirpan and Februadi Bastian).

Background: Plastic packaging contributes significantly to environmental pollution due to its resistance to decomposition. Polylactic Acid (PLA), a biodegradable bioplastic, presents a promising alternative. However, PLA has certain limitations when used for packaging applications thus microcrystalline cellulose can be incorporated as a filler and reinforcing agent in PLA matrices. In addition, the addition of BHT as an oxygen absorber can provide oxygen scavenger function in PLA matrices for active food packaging. **Objectives:** 1) to determine the characteristics of microcrystalline cellulose produced from *Acetobacter xylinum* bacterial cellulose as a reinforcing material in PLA bioplastic polymers; 2) to determine the best formulation of PLA polymer integrated with microcrystalline cellulose as a reinforcing material and BHT as an oxygen absorbing agent on the characteristics of the resulting bioplastic; 3) to determine and analyze the effectiveness of using bioplastic as active oxygen-scavenging packaging for fresh cut apples. **Method:** This study consisted of four stages: 1) synthesis of *Acetobacter xylinum* bacterial cellulose; 2) manufacture of microcrystalline cellulose; 3) manufacture of bioplastic; 4) application of bioplastic on fresh cut apples. **Results :** Microcrystalline cellulose (SM) had good characteristics including fine powder, white, odorless, tasteless, and negative in starch test, water content of 3.792%, and pH 6.705. PLA-based bioplastic integrated with 30% SM and 10% BHT produces the best bioplastic based on the following parameters: biodegradability of 19.51%; water retention capacity value of 99.074%; water absorption value of 28.048%; and oxygen permeability value of $0.816 \times 10^{-3} \text{ g/m s Pa}$. However, the tensile strength value of 2.485 N/mm^2 and the elongation strength of 2.485% had not been optimal. It showed good packaging function effectiveness through a gradual and non-significant decrease in vitamin C, the brown color change occurred slowly with the lowest final browning index of 2.7×10^4 , and had the highest total phenol content at the end of storage was 4.025 mg GAE/g in freshly cut packaged apples. **Conclusion:** PLA-based bioplastic integrated with 30% SM and 10% BHT is the best treatment that produces oxygen-absorbing bioplastic polymer with an active ability to inhibit the decline in the quality of freshly cut packaged apples. **Conclusion :** PLA-based bioplastic integrated with 30% SM and 10 % BHT is the best treatment that produces oxygen-absorbing bioplastic polymer with an active ability to inhibit the decline in the quality of freshly cut packaged apples.

Keywords: Bioplastic; Polylactic Acid (PLA); Microcrystalline cellulose; Butylated Hydroxytoluene (BHT); oxygen scavenger; active packaging

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	6
3.1 Waktu dan Tempat.....	6
3.2 Alat dan Bahan	6
3.3 Prosedur Penelitian.....	6
3.3.1 Sintesis Selulosa Bakteri.....	7
3.3.2 Pembuatan Selulosa Mikrokrystalin dari Selulosa Bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	8
3.3.3 Pembuatan Bioplastik	8
3.3.4 Aplikasi Bioplastik pada Buah Apel Potong Segar (<i>Fresh-Cut</i>).....	10
3.4 Desain Penelitian	10
3.5 Parameter Pengamatan.....	11
3.5.1 Karakterisasi Selulosa Mikrokrystalin (SM)	11
Derajat Putih.....	11
Kadar Air.....	12
Analisis pH.....	12
Analisis Kualitatif	12
3.5.2 Karakterisasi Bioplastik Berbasis PLA Terintegrasi SM dan BHT	12
Uji Biodegradabilitas Metode Soil Burial Test.....	12
Uji Kemampuan Retensi Kelembaban atau <i>Moisture Retention</i> <i>Capability</i> (MRC)	13
Uji Daya Serap Air (<i>Swelling</i>)	13
Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>) metode IK-MT-28.01.....	13
Kuat Mulur (<i>Elongasi</i>) (ASTM, 2005).....	14
Uji Densitas	14
Uji Permeabilitas Oksigen.	14
3.5.3 Analisa Sampel Buah Apel Potong Segar	15

Pengukuran Kadar Vitamin C	15
Kuantifikasi Pencoklatan Enzimatis Menggunakan Sistem Parameter CIELab	16
Penentuan Total Fenol Metode Spektrofotometer Uv-Vis	17
3.6 Analisis data	18
BAB IV PEMBAHASAN	19
4.1 Karakterisasi Selulosa Mikrokristalin	19
4.1.1 Analisis warna dan derajat putih	19
4.1.2 Kadar Air	22
4.1.3 Tingkat Keasaman (pH)	24
4.1.4 Analisis Kualitatif Selulosa Mikrokristalin	25
4.2 Karakterisasi Bioplastik Berbasis PLA Terintegrasi SM dan BHT	26
4.2.1 Uji Biodegradabilitas	26
4.2.2 Kemampuan Retensi Kelembaban atau <i>Moisture Retention</i> <i>Capability</i> (MRC)	31
4.2.3 Uji Daya Serap Air (<i>Swelling</i>)	33
4.2.4 Kuat Tarik	36
4.2.5 Kuat Mulur	40
4.2.6 Densitas	42
4.2.7 Permeabilitas Oksigen	45
4.3 Analisa Sampel Buah Apel <i>Fresh Cut</i>	48
4.3.1 Kadar Vitamin C	48
4.3.2 Kuantifikasi Pencoklatan Enzimatis	51
4.3.3 Total Fenol	55
BAB V PENUTUP	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	72

DAFTAR TABEL

No Urut.		Halaman
1.	Karakteristik Model Warna (RGB); Warna Web; dan Representasi Ruang Warna (HWB) pada sampel Selulosa mikrokristalin.	21
2.	Analisis kualitatif selulosa mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	25
3.	Perubahan warna permukaan buah apel potong segar pada jenis kemasan dan lama penyimpanan yang berbeda.....	51
4.	Indeks Pencoklatan buah apel potong segar pada perlakuan jenis kemasan dan lama penyimpanan.....	54

DAFTAR GAMBAR

No Urut.	Halaman
1. Diagram alir tahapan penelitian.	7
2. Multilayer <i>oxygen scavenger</i> ke film kemasan.....	9
3. Kurva standar vitamin C.....	15
4. Kurva standar total fenol.	17
5. Karakteristik derajat putih Selulosa Mikrokristalin (SM) dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> dibandingkan dengan selulosa mikrokristalin komersial.....	19
6. Visualisasi bubuk bubuk selulosa mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i>	20
7. Palet warna sampel Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> ulangan (a); ulangan 2 (b); ulangan 3 (c).	21
8. Kadar air Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> dibandingkan dengan Selulosa Mikrokristalin komersial.	22
9. Selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> (a); Selulosa Mikrokristalin dari Selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> (b).....	23
10. Nilai pH Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> dibandingkan dengan Selulosa Mikrokristalin komersial.	24
11. Grafik pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai <i>penguat</i> dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA terhadap persentase biodegradabilitas bioplastik.	27
12. Perubahan warna dan bentuk bioplastik berbahan dasar PLA dengan penambahan Selulosa mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai <i>penguat</i> dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen: sebelum uji biodegradabilitas (a) dan setelah uji biodegradabilitas (b).....	29
13. Grafik pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai <i>penguat</i> dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA terhadap persentase Kemampuan Retensi Kelembaban bioplastik.....	32
14. Grafik pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai <i>penguat</i> dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA terhadap persentase <i>swelling</i> (daya serap air) bioplastik.	34
15. Grafik pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa	

No Urut.	Halaman
bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai <i>penguat</i> dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA terhadap nilai kuat tarik bioplastik.....	37
16. Grafik pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai <i>penguat</i> dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA terhadap nilai kuat mulur bioplastik.....	40
17. Grafik pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai <i>penguat</i> dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA terhadap persentase densitas bioplastik.....	43
18. Grafik pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai <i>penguat</i> dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA terhadap permeabilitas oksigen bioplastik.....	46
19. Hubungan jenis kemasan dan lama Penyimpanan terhadap Kadar Vitamin C Pada Buah Apel potong segar.....	49
20. Hubungan jenis kemasan dan lama penyimpanan terhadap nilai total fenol (mg GAE/g) buah apel potong segar.....	56

DAFTAR LAMPIRAN

No Urut.	Halaman
1. Data hasil pengujian derajat putih Selulosa Mikrokrystalin.	72
2. Uji normalitas derajat putih Selulosa Mikrokrystalin	72
3. Hasil uji Independent Sample t Test derajat putih Selulosa Mikrokrystalin hasil penelitian dibandingkan Selulosa Mikrokrystalin komersial merek Avicel PH 102.....	72
4. Data hasil pengujian kadar air Selulosa Mikrokrystalin.	73
5. Hasil uji Independent Sample t Test kadar air Selulosa Mikrokrystalin hasil penelitian dibandingkan Selulosa Mikrokrystalin komersial merek Avicel PH 102.	73
6. Data hasil pengujian pH Selulosa Mikrokrystalin.....	73
7. Hasil uji Independent Sample t Test pH Selulosa Mikrokrystalin hasil penelitian dibandingkan Selulosa Mikrokrystalin komersial merek Avicel PH 102.....	74
8. Hasil uji biodegradabilitas bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	74
9. Hasil uji ANOVA nilai biodegradabilitas bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	75
10. Uji lanjut tuckey nilai biodegradabilitas bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	76
11. Rata-rata nilai biodegradabilitas dan subset hasil uji lanjut interaksi pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokrystalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai filler dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA.	77
12. Hasil uji ANOVA nilai Kemampuan Retensi Kelembaban bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.....	77
13. Uji lanjut tuckey nilai Kemampuan Retensi Kelembaban bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.....	78
14. Rata-rata Kemampuan Retensi Kelembaban dan subset hasil uji lanjut interaksi pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokrystalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai penguat dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA.....	79
15. Hasil uji <i>swelling</i> bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	79
16. Hasil uji ANOVA nilai <i>swelling</i> bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	81
17. Uji lanjut tuckey nilai <i>swelling</i> bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM	

No Urut.	Halaman
dan BHT.	81
18. Rata-rata <i>swelling</i> dan subset hasil uji lanjut interaksi pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai penguat dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA.	82
19. Hasil uji kuat tarik bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.....	83
20. Hasil uji ANOVA nilai kuat tarik bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	84
21. Uji lanjut tuckey nilai kuat tarik bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	84
22. Rata-rata kuat tarik dan subset hasil uji lanjut interaksi pengaruh konsentrasi Selulosa Mikrokristalin dari selulosa bakteri <i>Acetobacter xylinum</i> sebagai penguat dan BHT sebagai bahan aktif berpenyerap oksigen pada pembuatan bioplastik berbahan dasar PLA.	85
23. Hasil uji kuat mulur bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	85
24. Hasil uji ANOVA kuat mulur bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	86
25. Rata-rata kuat mulur bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	87
26. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur HDPE oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	88
27. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 0%SM+0%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	89
28. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 0%SM+5%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	90
29. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 0%SM+10%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	91
30. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 10%SM+0%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	92
31. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 10%SM+5%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	93
32. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 10%SM+10%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	94

No Urut.	Halaman
33. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 20%SM+0%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	95
34. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 20%SM+5%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	96
35. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 20%SM+10%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	97
36. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 30%SM+0%BHT	98
37. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 30%SM+5%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	99
38. Laporan pengujian kuat tarik dan kuat mulur bioplastik 30%SM+5%BHT oleh Badan Strandardisasi dan Kebijakan Jasa Industri, Laboratorium Pengujian BBSPJIHPMM.	100
39. Hasil uji densitas bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.....	101
40. Hasil uji ANOVA densiitas bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	102
41. Uji lanjut tuckey densitas bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	103
42. Rata-rata densitas bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	104
43. Hasil uji permeabilitas oksigen bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	104
44. Hasil uji ANOVA permeabilitas oksigen bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	106
45. Uji lanjut tuckey nilai permeabilitas oksigen bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	107
46. Rata-rata permeabilitas oksigen bioplastik berbasis PLA terintegrasi SM dan BHT.	108
47. Hasil uji kadar vitamin C buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan 10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.....	109
48. Hasil uji ANOVA kadar vitamin C buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan 10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.	109
49. Uji lanjut tuckey kadar vitamin C buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan	

No Urut.	Halaman
10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.	110
50. Hasil kuantifikasi pencoklatan enzimatis buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan 10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.	111
51. Hasil uji ANOVA kuantifikasi pencoklatan enzimatis buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan 10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.....	111
52. Hasil uji Tucky lama penyimpanan terhadap kuantifikasi pencoklatan enzimatis buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan 10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.	112
53. Hasil uji total fenol buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan 10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.	112
54. Hasil uji ANOVA total fenol buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan 10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.....	113
55. Uji lanjut tuckey total fenol buah apel potong segar yang dikemas dengan bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30%SM dan 10%BHT, plastik HDPE, dan tanpa kemasan.....	114
56. Dokumentasi bioplastik berbasis PLA terintegrasi 0% Selulosa Mikrokrystalin (SM) dan 0%; 5%; 10% Butylated Hydroxytoluene (BHT)....	115
57. Dokumentasi bioplastik berbasis PLA terintegrasi 10% Selulosa Mikrokrystalin (SM) dan 0%; 5%; 10% Butylated Hydroxytoluene (BHT)....	117
58. Dokumentasi bioplastik berbasis PLA terintegrasi 20% Selulosa Mikrokrystalin (SM) dan 0%; 5%; 10% Butylated Hydroxytoluene (BHT)....	119
59. Dokumentasi bioplastik berbasis PLA terintegrasi 30% Selulosa Mikrokrystalin (SM) dan 0%; 5%; 10% Butylated Hydroxytoluene (BHT)....	121
60. Dokumentasi penelitian	122

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa dekade terakhir, inovasi dalam perbaikan bahan baku, teknologi, dan desain kemasan pangan menjadi perhatian besar bagi para peneliti dan produsen yang bergerak di industri pangan. Hal ini sejalan dengan perubahan preferensi konsumen terhadap kebutuhan dan keinginan terhadap kemasan pangan yang menyebabkan kemasan dituntut mengalami beberapa penambahan nilai-nilai fungsional (Bhargava et al., 2020). Secara mendasar, kemasan pangan harus memenuhi 4 fungsi utama, yaitu *storage*, *protection*, *convenience*, dan *communication* (Barska & Wyrwa, 2016; Bhargava et al., 2020; Hong et al., 2021; Schaefer & Cheung, 2018). Perubahan preferensi masyarakat terhadap peningkatan nilai-nilai fungsional kemasan pangan berkaitan erat dengan isu pencemaran lingkungan dan peningkatan teknologi kemasan.

Ditinjau dari isu pencemaran lingkungan, kemasan pangan konvensional khususnya plastik marak digunakan sampai saat ini (Chen et al., 2021). Hal ini tidak dapat dipungkiri karena plastik merupakan polimer yang memiliki keunggulan sebagai kemasan dengan sifat kuat, ringan, secara kimia stabil, dan relatif murah (Priyadarshi & Rhim, 2020; Shaikh et al., 2021; Sucipta et al., 2017). Namun, dibalik keunggulannya sebagai kemasan, sumber material pembuatan plastik umumnya berasal dari sumber daya alam tidak terbarukan berupa minyak bumi dan bersifat sulit terurai oleh mikroorganisme di alam karena rantai karbonnya yang panjang sehingga berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan (Ncube et al., 2021). Limbah plastik sangat sulit terdegradasi dan membutuhkan hingga ratusan tahun untuk dapat terdekomposisi sempurna, serta berdampak buruk bagi kehidupan laut dan apabila dibakar beresiko menghasilkan emisi karbon (Faris et al., 2014). Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif plastik yang tidak hanya memenuhi fungsi dasarnya sebagai kemasan tetapi mampu bersifat ramah lingkungan dan turut aktif dalam peran perlindungan dan peningkatan umur simpan produk (*active packaging*).

Mayoritas kemasan plastik pangan umumnya dirancang sekali pakai untuk segera dibuang setelah digunakan (Cazón & Vázquez, 2021b; Chen et al., 2021). Penggunaannya yang meningkat berdampak signifikan terhadap produksi limbah plastik dunia (Kedzierski et al., 2020; Sundqvist-Andberg & Åkerman, 2021). Pada tahun 2016, secara global manusia memproduksi sebanyak 242 juta ton sampah plastik atau 12% dari seluruh jenis limbah yang ada dan berkontribusi pada urutan ketiga yang berkontribusi pada limbah dunia dan diprediksi pada tahun 2050 limbah dunia akan meningkat sebanyak 70% menjadi 3,4 milyar ton (Kaza et al., 2018), dengan peningkatan limbah plastik sekitar 12,000 Juta ton jika tidak ada tindakan preventif yang dilakukan (Geyer et al., 2017). Sebagai tanggapan terhadap isu pencemaran lingkungan oleh polimer kemasan non-biodegradable dan tuntutan konsumen terhadap penggunaan kemasan pangan yang berkelanjutan maka penelitian kemasan pangan berupa bioplastik yang bersifat biodegradable dari sumber daya alam

terbarukan terus berkembang pesat (Cazón & Vázquez, 2021a; Dhall & Alam, 2020; D. Lin et al., 2020).

Salah satu material terbarukan yang dapat dikembangkan sebagai bioplastik adalah Polylactic Acid (PLA) yaitu poliester alifatik berbasis hayati yang dapat terbiodegradasi, umumnya diperoleh dari ekstraksi 100% sumber daya terbarukan, seperti jagung, kentang, dan tebu (Gorgun et al., 2024; Zaaba & Jaafar, 2020). Dibandingkan dengan material komposit tradisional berbahan dasar minyak bumi, PLA memiliki kepadatan, plastisitas dan kekakuan yang baik, sehingga menjadi pilihan ideal sebagai material bioplastik. Namun, PLA memiliki beberapa kekurangan seperti sensitivitas suhu, hidrofobisitas, kerapuhan, dan biaya tinggi yang membatasi penggunaannya (Castro-Aguirre et al., 2016; Zaaba & Jaafar, 2020). Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi untuk memodifikasi PLA sebagai bioplastik dengan penambahan bahan pengisi (*filler*) dan penguat (*reinforcement*) pada matriks PLA.

Pelapisan, pencampuran dan penambahan selulosa adalah beberapa metode yang umum dilakukan untuk mengatasi keterbatasan bioplastik berbasis PLA seperti ketidakstabilan termal, uap air yang tinggi, kerapuhan dan kekuatan leleh yang rendah perlu ditingkatkan (Bhasney et al., 2020). Penambahan bahan pengisi seperti selulosa telah terbukti menjadi bahan yang sangat menjanjikan. Selulosa Mikrokrystalin (SM) merupakan salah satu jenis selulosa yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti industri farmasi, kosmetik, makanan dan polimer (Ali & Noori, 2014; Bhasney et al., 2020). Kemampuan khusus selulosa mikrokrystalin yaitu ringan, kuat, tidak beracun, tidak larut dalam air, dapat terurai dengan baik dan dapat diperbarui menjadikannya lebih menarik untuk digunakan dalam aplikasi polimer bioplastik. Selain itu, selulosa mikrokrystalin sangat diminati untuk menghasilkan produk yang biokompatibel dan ramah lingkungan karena dapat diperbarui secara alami dalam waktu yang relatif singkat dan melimpah. Selain itu selulosa mikrokrystalin memiliki keunggulan dalam pembuatan plastik biodegradable karena memiliki struktur nanofibrilar yang unik dengan sifat mekanik dan porositas yang baik, memiliki daya polimerisasi dan derajat kristalinitas tinggi, serta biokompatibilitas yang baik (Bandyopadhyay et al., 2019; Cazón & Vázquez, 2021b; Cheng et al., 2009; D. Lin et al., 2020).

Hal yang menarik dari selulosa mikrokrystalin adalah tidak hanya dapat diproduksi dari tanaman tingkat tinggi, juga dapat disintesis melalui mikrobial yaitu dari selulosa bakteri hasil fermentasi air kelapa oleh bakteri *Acetobacter xylinum*. selulosa bakteri adalah polimer mikrobial berupa eksopolisakarida yang berasal dari mikroorganisme (Cazón & Vázquez, 2021b; Dhall & Alam, 2020). Bakteri yang paling banyak diteliti karena memiliki potensi yang paling baik dalam sintesis eksopolisakarida adalah *Acetobacter xylinum* karena kemampuannya yang baik dalam mengasimilasi berbagai sumber jenis karbon dan nitrogen yang berbeda (Cheng et al., 2009; Dirpan et al., 2019; Zahan et al., 2020). Modifikasi selulosa bakteri menjadi selulosa mikrokrystalin merupakan salah satu cara untuk memperbaiki struktur polimer dalam pembuatan film kemasan.

Ditinjau dari teknologi kemasan, salah satu kekurangan bioplastik adalah memiliki permeabilitas yang kurang baik khususnya terhadap oksigen. Perbaikan sifat permeabilitas bioplastik dapat diaktualisasikan melalui pengembangan *oxygen scavenger* pada polimer bioplastik sehingga tidak hanya bersifat ramah lingkungan

tetapi juga memenuhi fungsi kemasan aktif (Bhargava et al., 2020; Lloyd et al., 2019; Yildirim, 2011; Yildirim & Röcker, 2018). Tujuan kemasan aktif adalah untuk memperpanjang umur simpan atau meningkatkan sifat sensori dengan cara menjaga atau meningkatkan keamanan dan kualitas produk pangan yang dirancang dengan penambahan senyawa bioaktif tertentu secara sengaja pada sistem kemasan (Lloyd et al., 2019; Yildirim & Röcker, 2018). *Oxygen scavenger* adalah salah satu jenis kemasan aktif golongan *active scavenging systems* yang dapat memperkuat fungsi kemasan sebagai penghalang oksigen (Demicheva, 2015; Roberta, 2020).

Oxygen scavenger dirancang dengan menambahkan agen penyerap oksigen ke dalam sistem kemasan, agen penyerap oksigen akan berperan menyerap kelebihan oksigen pada headspace kemasan atau dari produk melalui transfer aktivitas senyawa penyerap oksigen dengan merilis fase uap keluar ke headspace kemasan atau melalui kontak langsung antara produk dengan senyawa penyerap oksigen pada film kemasan (Roberta, 2020; Rooney, 2005). Senyawa atau agen penyerap oksigen umumnya berasal dari senyawa besi atau metalik lainnya, asam askorbat, asam gallic, dan senyawa alami lainnya, atau dari kelompok enzim berupa oxalate oxidase, katalase, glucose oxidase (Byun et al., 2012; Johansson et al., 2012; Roberta, 2020; Winstrand et al., 2013).

Oleh karena itu, *oxygen scavenger* sangat dibutuhkan karena beberapa jenis produk pangan memiliki respon negatif terhadap keberadaan oksigen yang mempengaruhi penurunan kualitas dan umur simpan. Oksidasi bahan pangan memicu pertumbuhan mikroorganisme aerobik, penurunan sifat sensorik, perubahan warna, dan hilangnya beberapa nutrisi sehingga sangat diperlukan *oxygen scavenging* (Schaefer & Cheung, 2018; Yildirim & Röcker, 2018). *Oxygen scavenger* dapat berupa *sachet*, label, atau penggunaan agen *oxygen scavenger* yang langsung diinkorporasikan ke dalam polimer kemasan (Lloyd et al., 2019; Roberta, 2020; Yildirim & Röcker, 2018). Menurut Roberta penggunaan *oxygen scavenger* dalam bentuk *sachet* memungkinkan terjadinya kebocoran *sachet* yang dapat mencemari produk, *sachet* tertelan oleh konsumen, sehingga inkorporasi agen *oxygen scavenger* ke dalam polimer plastik atau film kemasan memiliki penerimaan konsumen yang lebih baik daripada penggunaan *sachet* (Demicheva, 2015; Roberta, 2020).

Beberapa penelitian telah membahas dan melakukan pembuatan kemasan aktif menggunakan film biodegradable berbasis selulosa bakteri, diantaranya Xu et al. mengembangkan kemasan aktif pangan yang berbasis selulosa bakteri dan kitosan dengan penambahan kurkumin sebagai agen antioksidan (Xu et al., 2021). pengabungan film selulosa bakteri dengan asam laurat sebagai kemasan aktif antimikroba telah diteliti, hasilnya memberikan efek penghambatan yang baik pada pertumbuhan *Bacillus subtilis* dan film selulosa bakteri menunjukkan 100% degradasi pada hari ke-7 di dalam tanah (Zahan et al., 2020). Berdasarkan latar belakang, maka dilakukan penelitian ini dengan judul "Profil Bioplastik Berpenyerap Oksigen Terintegrasi Selulosa Mikrokristalin dari *Acetobacter xylinum* dan Butylated Hydroxytoluene (BHT) sebagai Kemasan Aktif" untuk menghasilkan plastik biodegradable yang ramah lingkungan berbasis selulosa mikrokristalin dari selulosa bakteri sebagai alternatif kemasan konvensional yang murah dengan peningkatan fungsi kemasan melalui penambahan teknologi *oxygen scavenger* berupa Butylated

Hydroxytoluene (BHT) yang mampu menjaga pangan terkemas dari proses oksidatif berlebihan.

1.2 Rumusan Masalah

Akar permasalahan yang menjadi ide pokok penelitian ini adalah kemasan pangan dari plastik yang bersifat non-biodegradable dan berbasis sumber daya alam tidak terbarukan semakin luas penggunaannya sehingga berdampak pada kerusakan lingkungan. Sehingga peralihan dari plastik konvensional ke plastik biodegradable (bioplastik) menjadi alternatif. Namun, bioplastik memiliki kekurangan pada sifat permeabilitasnya terutama terhadap oksigen. Salah satu cara meningkatkan kemampuan permeabilitas yang baik pada bioplastik adalah penambahan fungsi *oxygen scavenger*. Teknologi *oxygen scavenger* merupakan jenis kemasan aktif yang paling penting secara komersial karena memiliki peranan dalam meminimalisir kerusakan oksidatif bahan pangan segar dan olahan. Sehingga, konsep peralihan kemasan konvensional ke bioplastik dengan peningkatan fungsi kemasan aktif melalui teknologi *oxygen scavenger* menjadi topik yang menarik. Untuk mengaktualisasikan konsep tersebut dibutuhkan material dasar yang memiliki potensi sebagai polimer bioplastik yang baik dan mumpuni. Jika ditinjau dari sifat fisik dan mekaniknya, PLA dan selulosa bakteri termasuk dalam biopolimer yang baik dalam produksi bioplastik dengan penambahan Butylated Hydroxytoluene (BHT) agen berpenyerap oksigen. Modifikasi selulosa bakteri menjadi selulosa mikrokristalin akan meningkatkan struktur yang lebih kompak sebagai bahan bioplastik. Berdasarkan hal tersebut maka rumusan penelitian ini sebagai berikut rumusan masalah pada penelitian ini yaitu.

1. Bagaimana karakteristik selulosa mikrokristalin yang dihasilkan dari selulosa bakteri *Acetobacter xylinum* sebagai bahan penguat pada polimer bioplastik PLA ?
2. Bagaimana pengaruh selulosa mikrokristalin sebagai bahan penguat dan inkorporasi agen penyerap oksigen BHT pada polimer PLA terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan?
3. Bagaimana efektivitas pengaplikasian bioplastik sebagai kemasan aktif dalam meningkatkan umur simpan dan menghambat reaksi oksidatif pencoklatan enzimatis pada buah apel *fresh cut* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui karakteristik selulosa mikrokristalin yang dihasilkan dari selulosa bakteri *Acetobacter xylinum* sebagai bahan penguat pada polimer bioplastik PLA.
2. Untuk mengetahui formulasi terbaik polimer PLA yang ditergrasikan dengan selulosa mikrokristalin sebagai bahan penguat dan BHT sebagai agen penyerap oksigen terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.
3. Untuk mengetahui dan menganalisa efektivitas penggunaan bioplastik sebagai kemasan aktif berpenyerap oksigen pada buah apel potong segar.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan informasi dan pengetahuan terkait alternatif polimer dalam penelitian dan pembuatan bioplastik berpenyerap oksigen.
2. Meningkatkan minat dan inovasi para peneliti dalam mengembangkan kemasan ramah lingkungan dan sistem kemasan aktif.