

SKRIPSI

**PENGAPLIKASIAN PLASTIK BIODEGRADABLE BERPENYERAP
OKSIGEN BUTYLATED HYDROXYTOLUENE DENGAN PENGUAT
SELULOSA MIKROKRISTALIN PADA BUAH APEL (*Malus domestica
Borkh*) FRESH-CUT**

Disusun dan diajukan oleh

**Qurratul Aini
G031 18 1318**



**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PENGAPLIKASIAN PLASTIK BIODEGRADABLE BERPENYERAP
OKSIGEN BUTYLATED HYDROXYTOLUENE DENGAN PENGUAT
SELULOSA MIKROKRISTALIN PADA BUAH APEL (*Malus domestica
Borkh*) FRESH-CUT**

**QURRATUL AINI
G031 18 1318**

UNIVERSITAS HASANUDDIN
Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknologi Pertanian
pada

Departemen Ilmu dan Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin
Makassar

**DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

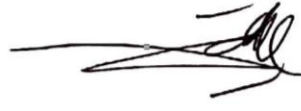
HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengaplikasian Plastik Biodegradable Berpenyerap Oksigen Butylated Hydroxytoluene dengan Penguat Selulosa Mikrokrystalin pada Buah Apel (*Malus domestica* Borkh) Fresh-Cut
Nama : Qurratul Aini
Nim : G031 18 1318

Menyetujui,



Prof. Ir. Andi Dirpan, S.TP., M.Si., P.hD
Pembimbing I



Dr. Ir. Andi Nur Faidah Rahman, S.TP., M.Si
Pembimbing II

Mengetahui,



Andi Bastian, S.TP., M.Si
Ketua Program Studi

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Qurratul Aini
NIM : G031 18 1318
Program Studi : Ilmu dan Teknologi Pangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“PENGAPLIKASIAN PLASTIK BIODEGRADABLE BERPENYERAP OKSIGEN BUTYLATED HYDROXYTOLUENE DENGAN PENGUAT SELULOSA MIKROKRISTALIN PADA BUAH APEL (*Malus domestica* Borkh) FRESH-CUT”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 17 Mei 2023



BC9AKX435 38140
Qurratul Aini

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------------|
| SAMPUL..... | i |
| HALAMAN JUDUL..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR TABEL..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | ix |
| ABSTRAK..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian..... | 2 |
| 2. TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1 Plastik <i>Biodegradable</i> | 4 |
| 2.2 Poly Lactic Acid (PLA)..... | 4 |
| 2.3 Selulosa Mikrokrystalin..... | 5 |
| 2.4 Kemasan Aktif Berpenyerap Oksigen (<i>Oxygen Scavenger</i>)..... | 5 |
| 2.5 Plasticizer..... | 6 |
| 2.6 Pencoklatan Enzimatik..... | 7 |
| 2.7 Apel <i>Fresh-cut</i> | 7 |
| 3. METODE PENELITIAN..... | 9 |
| 3.1 Waktu dan Tempat..... | 9 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 9 |
| 3.3 Tahapan Penelitian..... | 9 |
| 3.4 Prosedur Penelitian..... | 9 |
| 3.4.1 Pembuatan Plastik <i>Biodegradable</i> Berpenyerap Oksigen (Yuniarto, <i>et al.</i> , 2020; Paul <i>et al.</i> , 2021)..... | 9 |
| 3.4.2 Karakterisasi Plastik <i>Biodegradable</i> Berpenyerap Oksigen..... | 11 |
| 3.4.3 Pengaplikasian Plastik <i>Biodegradable</i> Berpenyerap Oksigen Pada Buah Apel <i>Fresh-cut</i> | 11 |
| 3.5 Parameter Pengujian..... | 12 |
| 3.5.1 Pengujian Nilai pH (Hidayat <i>et al.</i> , 2013)..... | 12 |
| 3.5.2 Pengujian Total Padatan Terlarut (AOAC, 2012)..... | 12 |
| 3.5.3 Pengujian Total Asam (Dirpan <i>et al.</i> , 2018)..... | 13 |
| 3.5.4 Pengukuran Vitamin C (Badriyah <i>et al.</i> , 2015)..... | 13 |

| | |
|--|----|
| 3.5.5 Pengukuran Tingkat Kekerasan Buah (Muhibuddin, 2007) | 14 |
| 3.5.6 Pengujian Total Fenol (Abdeltaif <i>et al.</i> , 2018; Saputri <i>et al.</i> , 2021)..... | 14 |
| 3.5.7 Kuantifikasi Pencoklatan Enzimatik (Subhashree <i>et al.</i> , 2017)..... | 14 |
| 3.5.8 Kuantifikasi Aktivitas Enzim Polifenol Oksidase (Falguera <i>et al.</i> , 2012; Jibril, 2018) 15 | |
| 3.6 Desain Penelitian | 16 |
| 3.7 Analisis Data..... | 16 |
| 4. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 17 |
| 4.1 Karakterisasi Plastik <i>Biodegradable</i> Berpenyerap Oksigen..... | 17 |
| 4.1.1 Uji Biodegradabilitas | 17 |
| 4.1.2 Permeabilitas Oksigen | 17 |
| 4.1.3 Penentuan Perlakuan Terbaik | 18 |
| 4.2 Aplikasi Plastik <i>Biodegradable</i> | 19 |
| 4.2.1 Pengukuran Nilai pH..... | 19 |
| 4.2.2 Total Padatan Terlarut (TPT)..... | 21 |
| 4.2.3 Total Asam..... | 24 |
| 4.2.4 Vitamin C..... | 25 |
| 4.2.5 Kekerasan..... | 28 |
| 4.2.6 Perubahan Warna | 31 |
| 4.2.7 Total Fenol..... | 35 |
| 4.2.8 Aktivitas Enzim PPO | 37 |
| 5. PENUTUP..... | 39 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 39 |
| 5.2 Saran..... | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA | 40 |
| LAMPIRAN | 48 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|----------------|
| Tabel 1. Indeks Pencoklatan Permukaan Buah Apel <i>Fresh-cut</i> | 32 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|----------------|
| Gambar 01. Skema Proses Pencoklatan oleh Enzim Polifenol Oksidase | 7 |
| Gambar 02. Diagram Alir Pembuatan Plastik <i>Biodegradable</i> Berpenyerap Oksigen | 10 |
| Gambar 03. Diagram Alir Pengaplikasian Plastik <i>Biodegradable</i> Berpenyerap Oksigen | 12 |
| Gambar 04. Kurva Standar Vitamin C | 13 |
| Gambar 05. Kurva Standar Total Fenol | 14 |
| Gambar 06. Nilai Rata-Rata Berat Terdegradasi | 17 |
| Gambar 07. Nilai Rata-Rata Permeabilitas Oksigen | 18 |
| Gambar 08. Hubungan Metode Penyimpanan terhadap pH | 19 |
| Gambar 09. Hubungan Lama Penyimpanan terhadap pH | 20 |
| Gambar 10. Hubungan Metode Penyimpanan dan Lama Penyimpanan terhadap pH | 20 |
| Gambar 11. Hubungan Metode Penyimpanan terhadap Nilai Total Padatan Terlarut | 21 |
| Gambar 12. Hubungan Lama Penyimpanan terhadap Nilai Total Padatan Terlarut | 22 |
| Gambar 13. Hubungan Metode Penyimpanan dan Lama Penyimpanan terhadap Nilai Total Padatan Terlarut | 23 |
| Gambar 14. Hubungan Metode Penyimpanan terhadap Nilai Total Asam | 24 |
| Gambar 15. Hubungan Lama Penyimpanan terhadap Nilai Total Asam | 25 |
| Gambar 16. Hubungan Metode Penyimpanan terhadap Kadar Vitamin C | 26 |
| Gambar 17. Hubungan Lama Penyimpanan terhadap Kadar Vitamin C | 26 |
| Gambar 18. Hubungan Metode Penyimpanan dan Lama Penyimpanan terhadap Kadar Vitamin C | 27 |
| Gambar 19. Hubungan Metode Penyimpanan terhadap Tingkat Kekerasan | 29 |
| Gambar 20. Hubungan Lama Penyimpanan terhadap Tingkat Kekerasan | 30 |
| Gambar 21. Perubahan Warna Permukaan Buah Apel <i>Fresh-cut</i> | 31 |
| Gambar 22. Hubungan Metode Penyimpanan terhadap Nilai Koordinat L* | 33 |
| Gambar 23. Hubungan Lama Penyimpanan terhadap Nilai Koordinat L* | 34 |
| Gambar 24. Hubungan Metode Penyimpanan terhadap Nilai Total Fenol | 35 |
| Gambar 25. Hubungan Lama Penyimpanan terhadap Nilai Total Fenol | 36 |
| Gambar 26. Hubungan Metode Penyimpanan dan Lama Penyimpanan terhadap Nilai Total Fenol | 37 |
| Gambar 27. Hubungan Metode Penyimpanan terhadap Aktivitas Enzim PPO | 38 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|---|----------------|
| Lampiran 01. Dokumentasi Penelitian | 48 |

ABSTRAK

QURRATUL AINI (NIM. G031181318). Pengaplikasian Plastik Biodegradable Berpenyerap Oksigen *Butylated Hydroxytoluene* Dengan Penguat Selulosa Mikrokristalin Pada Buah Apel (*Malus domestica Borkh*) Fresh-Cut. Dibimbing oleh ANDI DIRPAN dan ANDI NUR FAIDAH RAHMAN.

Latar belakang: Plastik *biodegradable* merupakan plastik yang dapat terurai secara alami di alam. Akan tetapi, plastik *biodegradable* memiliki daya stabilitas dan sifat penghalang uap air dan gas yang rendah sehingga ditambahkan bahan penguat berbasis selulosa mikrokristalin. Penggunaan plastik *biodegradable* diharapkan tidak hanya bersifat ramah lingkungan, tetapi juga harus mampu berperan sebagai kemasan aktif dengan penambahan agen penyerap oksigen berbasis *butylated hydroxytoluene* (BHT). Penambahan agen penyerap oksigen ini diharapkan dapat mengurangi penurunan mutu akibat keberadaan oksigen seperti terjadinya pencoklatan enzimatis. Buah yang mudah mengalami terjadinya pencoklatan enzimatis yaitu buah apel yang terolah minimal (*fresh-cut*). Buah apel yang mengalami Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan teknologi agen penyerap oksigen pada kualitas buah apel *fresh-cut* dari proses reaksi oksidatif yang berlebihan. **Tujuan:** untuk mengetahui sifat penghalang oksigen dan kemampuan degradasi dari plastik *biodegradable* yang ditambahkan agen penyerap oksigen BHT sebagai kemasan aktif dan untuk mengetahui serta menganalisa efektivitas penggunaan plastik *biodegradable* pada pengemasan buah apel *fresh-cut* selama penyimpanan pada suhu ruang sebagai kemasan aktif yang dapat menghambat terjadinya reaksi pencoklatan enzimatis pada buah apel *fresh-cut*. **Metode:** Penelitian ini dibagi menjadi 2 tahap, tahap 1 yaitu penentuan konsentrasi BHT terbaik pada plastik *biodegradable* dan tahap 2 yaitu dilakukan pengujian nilai pH, total padatan terlarut, total asam, vitamin C, kekerasan, total fenol, kuantifikasi pencoklatan enzimatis dan kuantifikasi aktivitas enzim dengan metode penyimpanan tanpa kemasan, dikemas menggunakan plastik HDPE dan dikemas menggunakan plastik *biodegradable* selama 8 jam penyimpanan pada suhu ruang. **Hasil:** Mutu buah apel *fresh-cut* berdasarkan parameter nilai pH, total padatan terlarut, total asam, vitamin C, kekerasan, warna (nilai koordinat L*), total fenol dan aktivitas enzim menunjukkan perlakuan terbaik pada penyimpanan menggunakan kemasan *biodegradable*. Adapun penyimpanan menggunakan kemasan HDPE dan *biodegradable* yang menunjukkan nilai tidak berbeda nyata yaitu berdasarkan parameter nilai pH, total padatan terlarut, indeks pencoklatan, dan warna (nilai koordinat L*). Sedangkan berdasarkan parameter indeks pencoklatan menunjukkan penyimpanan buah apel *fresh-cut* yang dikemas menggunakan plastik HDPE sebagai penyimpanan terbaik. **Kesimpulan:** Berdasarkan penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi BHT terbaik pada plastik *biodegradable* yaitu sebesar 10% dengan nilai biodegradabilitasnya tertinggi yaitu sebesar 0,312% dan nilai permeabilitas oksigen terendah yaitu sebesar $4,9 \times 10^{-6}$ g/m s Pa. Adapun perubahan mutu buah apel *fresh-cut* berdasarkan parameter nilai pH, total padatan terlarut, total asam, vitamin C, kekerasan, warna (nilai koordinat L*), total fenol dan aktivitas enzim menunjukkan perlakuan terbaik pada penyimpanan dikemas menggunakan *biodegradable*. Adapun penyimpanan menggunakan kemasan HDPE dan *biodegradable* yang menunjukkan nilai tidak berbeda nyata yaitu berdasarkan parameter nilai pH, total padatan terlarut, indeks pencoklatan, dan warna (nilai koordinat L*). Sedangkan berdasarkan parameter indeks pencoklatan menunjukkan penyimpanan buah apel *fresh-cut* yang dikemas menggunakan plastik HDPE sebagai penyimpanan terbaik.

Kata kunci: Apel *fresh-cut*, *biodegradable*, *butylated hydroxytoluene*, kemasan aktif.

ABSTRACT

QURRATUL AINI (NIM. G031181318). *Application of Biodegradable Plastic with Oxygen Scavenger Butylated Hydroxytoluene and Microcrystalline Cellulose in Apples (Malus domestica Borkh) Fresh-Cut*. Supervised by ANDI DIRPAN dan ANDI NUR FAIDAH RAHMAN

Background: Biodegradable plastic is plastic that can be decomposed naturally in nature. However, biodegradable plastics have low stability and barrier properties of water vapor and gases, so microcrystalline cellulose-based reinforcing materials are added. Biodegradable plastics expected only to be environmentally friendly, but also to be able to act as an active packaging with the addition of an oxygen scavenging agent is *butylated hydroxytoluene* (BHT). The addition of oxygen scavenging agents is expected to reduce quality degradation due to the presence of oxygen such as enzymatic browning. Fruits that are prone to enzymatic browning are minimally processed apples (fresh-cut). Apples contain the enzyme polyphenol oxidase as an oxidizing agent which gives brown color to fresh-cut apples due to the presence of oxygen and affect the quality of the fruit, so this research was conducted to see the effect of adding oxygen scavenging agent technology to biodegradable plastics will influence the quality of fresh-cut apples from excessive oxidative reaction processes. **Objectives:** to determine the ability of absorbing oxygen and degradation of biodegradable plastic added with BHT as an active packaging and to determine and analyze the effectiveness of using biodegradable plastic in packaging fresh-cut apples during storage at room temperature as an active packaging that can inhibit the occurrence of enzymatic browning reactions in fresh-cut apples. **Method:** This research was divided into 2 stages, stage 1 namely determining the best BHT-MCC concentration in biodegradable plastics to testing the biodegradability and oxygen permeability, and stage 2 namely testing the pH value, total dissolved solids, total acid, vitamin C, hardness, total phenol, quantification of enzymatic browning and quantification of enzyme activity with the storage method without packaging, packaged using HDPE plastic and packaged using biodegradable plastic for 8 hours of storage at room temperature. **Results:** Quality of fresh-cut apples based on parameters of pH value, total dissolved solids, total acid, vitamin C, hardness, color (coordinate L* value), total phenol and enzyme activity showed the best treatment for storage using biodegradable packaging. As for storage, the application of HDPE and biodegradable packaging showed no significant value different based on the parameters of pH value, total dissolved solids, browning index, and color (coordinate L* value). Meanwhile, based on the browning index parameter, it showed the storage of fresh-cut apples packaged using HDPE plastic was the best option. **Conclusion:** Based on the research conducted, it showed that the best BHT concentration treatment was on biodegradable plastic namely 10% with the highest biodegradability value of 0.312%, and the lowest oxygen permeability value of 4.9×10^{-6} g/m s Pa. As for changes in the quality of fresh-cut apples based on the parameters of pH value, total dissolved solids, total acid, vitamin C, hardness, color (coordinate L* value), total phenol and enzyme activity showed the best treatment in packaged storage using biodegradable plastic. As for storage, use HDPE and biodegradable packaging which showed no significant difference values based on the parameters of pH value, total dissolved solids, browning index, and color (coordinate L* value). Meanwhile, based on the browning index parameter, it showed the storage of fresh-cut apples packaged using HDPE plastic was the best option.

Key Words: *Active packaging, biodegradable, butylated hydroxytoluene, dan fresh-cut apple*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengemasan merupakan bagian dasar yang paling dibutuhkan suatu produk terutama pada produk pangan. Permintaan konsumen terhadap penggunaan kemasan pangan kian hari semakin meningkat. Kemasan pangan dituntut memiliki nilai lebih dalam penggunaannya disebabkan oleh tren masa kini yang terus berkembang. Jenis bahan kemasan pangan yang biasanya digunakan yaitu plastik. Secara umum, kemasan memiliki fungsi diantaranya sebagai wadah, pelindung dan media promosi suatu produk. Akan tetapi, dewasa ini banyak hal lain yang perlu diperhatikan, yaitu perlu dilakukan pengurangan penggunaan bahan kemasan plastik yang berbahan dasar petrokimia karena dapat merusak lingkungan sehingga dibutuhkan suatu teknik pengemasan yang ramah lingkungan (Maimunah, 2018). Selain itu, kemasan plastik sulit terdegradasi secara alami dan biasanya dirancang untuk sekali pakai (*disposable*) lalu dibuang setelah digunakan sehingga berkontribusi terhadap penambahan produksi limbah plastik yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan sehingga diperlukan alternatif kemasan yang ramah lingkungan dan memiliki sifat mudah terdegradasi yang biasa disebut plastik *biodegradable*.

Plastik *biodegradable* merupakan plastik yang dapat diuraikan secara alami oleh mikroorganisme (Purnavita, 2018). Bahan utama yang sering digunakan pada pembuatan plastik *biodegradable* yaitu pati dan poli asam laktat (PLA). Kelebihan dari pembuatan plastik *biodegradable* berbahan dasar PLA sebagai alternatif kemasan pengganti plastik konvensional yaitu bersifat *biocompatible*, *recyclable*, diperoleh dari bahan yang dapat diperbaharui, dan dapat dibakar secara sempurna (Reddy, 2013). Namun, plastik *biodegradable* tersebut memiliki daya stabilitas termal yang rendah, sifat penghalang uap air dan gas yang rendah serta daya getasnya telah membatasi penggunaannya (Haafiz, 2013). Untuk mengatasi kekurangan tersebut, maka ditambahkan bahan pengisi (*filler*) atau penguat (*reinforcement*) untuk mempertahankan sifat-sifat tersebut. Jenis penguat yang dapat digunakan yaitu selulosa mikrokristalin dari bakteri *Acetobacter xylinum* dimana penambahan selulosa secara efektif mampu meningkatkan kekuatan tegangan dan modulus elastisitas plastik *biodegradable* sehingga penggunaannya sebagai kemasan lebih optimal (Wiradipta, 2017).

Penggunaan plastik *biodegradable* diharapkan tidak hanya bersifat ramah lingkungan, tetapi juga harus mampu mempertahankan atau meningkatkan kualitas makanan dalam kemasan, sehingga kemasan dengan sengaja perlu ditambahkan senyawa bioaktif yang dapat melepaskan atau menyerap zat ke dalam atau dari makanan yang dikemas atau dari lingkungan di sekitar makanan agar keamanan dan kualitasnya tetap terjaga. Salah satu penerapan sistem kemasan aktif yaitu memiliki agen penyerap oksigen (*oxygen scavenger*) (Gaikwad, 2018). Agen penyerap oksigen memiliki peran untuk membantu menghilangkan atau menurunkan kadar oksigen dalam kemasan terutama pada produk yang dapat menimbulkan reaksi karena ketersediaan oksigen di dalam kemasan yang dapat mempengaruhi mutu dari produk pangan tersebut. Keberadaan oksigen seringkali menjadi penyebab menurunnya kualitas sensori dan masa simpan dari produk yang dikemas. *Oxygen scavenger* yang digunakan dapat berupa *sachet*, label, atau dicampurkan secara langsung ke dalam polimer kemasan. Akan tetapi, penggunaan dalam bentuk *sachet* dapat mencemari produk yang dikemas apabila terjadi kebocoran dan juga dapat tertelan oleh konsumen sehingga pencampuran *oxygen scavenger* secara langsung ke dalam polimer kemasan lebih disarankan dibandingkan pada penggunaan yang lainnya. Jenis *oxygen scavenger* yang

digunakan yaitu *butylated hydroxytoluene* (BHT). Penggunaan BHT sebagai *oxygen scavenging agent* memiliki keunggulan yaitu memiliki sifat yang tidak beracun sehingga aman ketika kontak langsung dengan bahan pangan (Pangestu *et al.*, 2018).

Salah satu bentuk penurunan mutu akibat keberadaan oksigen ialah terjadinya proses pencoklatan enzimatik. Produk hortikultura terutama buah yang mudah mengalami pencoklatan ialah buah apel *fresh-cut*. Buah apel setelah dikupas dan terkontaminasi oksigen dapat dengan mudah mengalami pencoklatan sehingga mempengaruhi mutu dan kualitas dari buah apel tersebut. Buah apel mudah mengalami reaksi pencoklatan enzimatik akibat pengaruh aktivitas enzim polifenolase sehingga mempengaruhi umur simpan dari buah tersebut. Jenis buah apel yang digunakan yaitu apel Fuji (*Malus domestica Borkh*) yang umumnya disukai masyarakat karena rasanya yang manis. Buah tersebut nantinya yang akan digunakan untuk menguji efektifitas dari kemasan aktif plastik *biodegradable* yang dibuat.

Beberapa penelitian sebelumnya telah meneliti tentang *biodegradable* plastik menggunakan pati ubi kayu dengan penguat dari nano serat jerami dan ZnO (Amni *et al.*, 2015). Penelitian ini menggunakan campuran antara nano serat jerami dan ZnO sebagai penguat dari plastik. Plastik yang dihasilkan terdegradasi dalam kurun waktu 18-27 hari (Amni *et al.*, 2015). Penelitian lain mengenai pembuatan film *biodegradable* berbasis selulosa bakteri dari tongkol jagung yang diteliti oleh Wiradipta (2017) dan berbasis PLA yang diteliti oleh Wu *et al.* (2014). Maryam *et al.* (2019) telah meneliti penggunaan mikro selulosa bakteri sebagai penguat plastik dengan matriks PVA, hasilnya yaitu mampu meningkatkan kekuatan tarik pada plastik yang dihasilkan. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian ini dengan judul “Pengaplikasian Plastik *Biodegradable* Berpenyerap Oksigen Butylated Hydroxytoluene Dengan Penguat Selulosa Mikrokristalin Pada Buah Apel (*Malus domestica Borkh*) Fresh-Cut” untuk menghasilkan plastik *biodegradable* yang ramah lingkungan sebagai kemasan aktif dengan penambahan teknologi agen penyerap oksigen yang mampu menjaga kualitas pangan terkemas dari proses reaksi oksidatif yang berlebihan.

1.2 Rumusan Masalah

Kemasan pangan dari plastik konvensional semakin luas penggunaannya sehingga berdampak pada kerusakan lingkungan karena sulit terdegradasi di alam sehingga dibutuhkan alternatif lain yaitu menggunakan plastik *biodegradable*. Akan tetapi, plastik *biodegradable* memiliki kekurangan pada sifat permeabilitasnya terutama pada keberadaan oksigen sehingga dibutuhkan penambahan senyawa bioaktif yang berupa agen penyerap oksigen untuk meminimalisir kerusakan oksidatif bahan pangan dan penambahan zat penguat untuk meningkatkan sifat mekanik plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Pengaplikasian kemasan ini diharapkan dapat menghambat reaksi oksidatif seperti pencoklatan enzimatik pada produk yang mudah rusak akibat kontaminasi oksigen, contohnya pada buah apel yang telah dilakukan pengolahan minimal (*fresh-cut*).

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kemampuan penyerap oksigen dan degradasi dari plastik *biodegradable* yang ditambahkan agen penyerap oksigen BHT dengan penguat selulosa mikrokristalin sebagai kemasan aktif.
2. Untuk mengetahui dan menganalisa efektivitas penggunaan plastik *biodegradable* pada pengemasan buah apel *fresh-cut* selama penyimpanan pada suhu ruang sebagai kemasan

aktif yang dapat menghambat terjadinya reaksi pencoklatan enzimatis pada buah apel *fresh-cut*.

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif polimer dan jenis agen penyerap oksigen dalam pembuatan plastik *biodegradable* sebagai kemasan aktif, diharapkan juga dapat memberikan informasi dan pengetahuan terkait plastik *biodegradable* berpenyerap oksigen serta diharapkan dapat meningkatkan minat dan inovasi para peneliti dalam mengembangkan kemasan ramah lingkungan dan sistem kemasan aktif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik *Biodegradable*

Plastik *biodegradable* merupakan plastik yang mampu terurai di alam dengan bantuan mikroorganisme. Plastik *biodegradable* tersusun atas molekul yang sangat besar dengan rantai panjang dan berat molekul yang tinggi dan biasanya terbuat dari bahan alami seperti pati, selulosa dan lainnya. Plastik *biodegradable* adalah bahan yang mampu mengalami dekomposisi menjadi karbondioksida, metana, senyawa anorganik atau biomassa yang mekanismenya didominasi oleh aksi enzimatis dari mikroorganisme yang bisa diukur dengan pengujian standar, dalam waktu spesifik, dan mencerminkan kondisi penggunaan yang tersedia. Penggunaan plastik konvensional sebagai bahan pengemas dapat menyebabkan kerusakan lingkungan akibat tidak dapat terurai di alam. Penggunaan plastik *biodegradable* mampu mengurangi kerusakan lingkungan akibat limbah plastik yang sulit terurai di alam (Shamsuddin *et al.*, 2017; Nuryati *et al.*, 2019). Kelebihan dari plastik *biodegradable* yaitu mudah dibentuk, tidak mudah pecah, ringan dan transparan (Nafianto, 2019). Sebagai perbandingan, plastik konvensional/sintetik membutuhkan waktu sekitar 100 tahun agar dapat terdekomposisi oleh alam, sementara plastik *biodegradable* dapat terdekomposisi 10 hingga 20 kali lebih cepat. Plastik *biodegradable* dapat didegradasi oleh bakteri *pseudomonas* dan *bacillus* yang memutus rantai polimer menjadi monomer-monomernya. Senyawa-senyawa hasil degradasi plastik *biodegradable* selain menghasilkan karbondioksida dan air, juga menghasilkan senyawa organik dan aldehyd sehingga plastik ini aman bagi lingkungan (Udyani, 2017). Plastik *biodegradable* yang terbakar juga tidak menghasilkan senyawa kimia yang berbahaya (Aripin *et al.*, 2017).

Plastik *biodegradable* dikelompokkan berdasarkan metode pembuatan dan jenis bahan baku (terbarukan atau tidak terbarukan) yang digunakan (Iwata, 2015; Surya, 2020). Jenis plastik *biodegradable* dari segi bahan baku dan proses pembuatannya terdiri atas tiga, yaitu melalui proses ekstraksi/isolasi langsung dari biomassa, hasil dari sintesis kimia monomer terbarukan (*renewable*) dan biomassa (*biobased*) serta dari sumber alami mikroorganisme yang diperoleh secara genetik dan telah dimanipulasi. Terdapat empat jenis plastik yang memenuhi kriteria sebagai plastik *biodegradable* yaitu *starch-based plastics/thermoplastic starch*, *cellulose-based plastics*, PLA (*polylactic acid*), dan PHA (*polyhydroxylalkanoates*) (Wijayanti *et al.*, 2016). Menurut Averous (2008), polimer *biodegradable* dikelompokkan menjadi agropolimer seperti polisakarida dan protein serta biopoliester seperti poli asam laktat (PLA), polyhydroxyalkanoate (PHA), aromatik and alifatik kopoliester. Bahan utama yang paling sering digunakan pada pembuatan plastik *biodegradable* yaitu pati dan poli asam laktat (PLA).

2.2 Poly Lactic Acid (PLA)

PLA atau *poly-lactic acid* merupakan kategori plastik yang *bio-based* (bersumber dari sumber daya terbarukan atau biomassa) dan *bio-degradable* (mudah terdegradasi) yang bersumber dari hasil fermentasi bakteri asam laktat. Jenis biomassa yang berpotensi digunakan sebagai bahan utama pembuatan PLA diantaranya singkong, biji kapas, tongkol jagung, tebu, selulosa, dan sorgum (Nampoothiri, *et al.*, 2010). Kelebihan penggunaan PLA sebagai bahan utama pembuatan plastik *biodegradable* adalah PLA memiliki sifat mekanik yang tinggi dibandingkan dengan biopolimer lainnya (Tsou, 2014). Kelebihan lain dari pembuatan plastik *biodegradable* berbahan dasar PLA sebagai alternatif kemasan pengganti plastik konvensional yaitu bersifat *biocompatible*, *recyclable*, diperoleh dari bahan yang dapat

diperbaharui, memiliki transparansi dan berat molekul yang tinggi serta dapat dibakar secara sempurna (Singla dan Mehta, 2012; Reddy, 2013). PLA yang biasa digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* ialah PLA dengan nilai berat molekul di atas 100,000 gr/mol sehingga plastik yang dihasilkan memiliki kemiripan dengan *high density polyethilen* yang memiliki ciri tidak berwarna, mengkilap, dan kaku (Jamshidian *et al.*, 2010; Xiao, *et al.*, 2012). Akan tetapi, PLA mudah melunak pada suhu sekitar 60°C dan memiliki sifat penghalang uap air dan gas yang lebih rendah dibandingkan dengan polimer berbasis minyak bumi sehingga ditambahkan penguat untuk meningkatkan permeabilitas uap air, sifat mekanik dan termal, tanpa mempengaruhi transparansi biopolimer (Fortunati *et al.*, 2010).

2.3 Selulosa Mikrokrystalin

Selulosa Mikrokrystalin merupakan bagian kristalin selulosa dalam ukuran mikro yang mengalami proses hidrolisis asam terhadap alfa selulosa dan umumnya memiliki panjang 1-100 µm dengan persentase kristalinitas yang tinggi sebesar 55%-85% (Moon *et al.*, 2011; Suratman *et al.*, 2014). Selulosa mikrokrystalin biasanya dibuat dari berbagai sumber hayati yang banyak mengandung selulosa seperti *nata de coco*, jerami, ampas tebu, tongkol jagung, bambu, sekam padi, kertas dan limbah kapas (Trache *et al.*, 2016; Ardiana, 2019). Pemanfaatan MC telah banyak diaplikasikan pada berbagai produk diantaranya pada dalam industri farmasi sebagai pengikat tablet, pengisi pada biosensor, sebagai serat tambahan dan peningkat volume dalam industri pangan, sebagai nanokomposit serta bahan penguat pada biokomposit. Selulosa mikrokrystalin memiliki kemampuan mengikat dan sensitivitas yang baik sebagai pelicin serta memiliki daya kohesif yang kuat (Trache *et al.*, 2016). Selulosa mikrokrystalin juga dapat digunakan sebagai pengisi (*filler*) atau penguat (*reinforcement*) dalam pembuatan plastik *biodegradable* untuk meningkatkan sifat mekanik, ketahanan panas, stabilitas dimensi dan termal (Fortunati *et al.*, 2010).

2.4 Kemasan Aktif Berpenyerap Oksigen (*Oxygen Scavenger*)

Kemasan aktif merupakan kemasan yang dirancang untuk dengan sengaja memasukkan senyawa yang akan melepaskan atau menyerap zat ke dalam atau dari makanan yang dikemas atau dari lingkungan di sekitar makanan agar keamanan dan kualitasnya tetap terjaga (Yildirim *et al.*, 2018). Kemasan aktif bertujuan untuk meningkatkan fungsi kemasan selain untuk melindungi produk, juga untuk meningkatkan keamanan dan kualitas produk yang dikemas dengan penambahan senyawa bioaktif. Kemasan aktif terbagi atas dua jenis yaitu *active scavenging (absorbers)* yang bertugas menyerap senyawa-senyawa yang tidak diinginkan pada produk yang dikemas seperti keberadaan oksigen, etilen, air, karbondioksida dan lain-lain, sedangkan *active releasing (emitters)* yang bertugas melepaskan senyawa bioaktif yang bersifat fungsional ke produk pangan dan lingkungan internal kemasan seperti penambahan agen antimikroba dan kemasan yang dapat mengeluarkan aroma/flavor. Senyawa aktif dapat dimasukkan ke dalam bahan kemasan atau ke dalam permukaannya, dalam struktur multilayer atau elemen tertentu terkait dengan kemasan seperti *sachet*, label, tutup botol atau diinkorporasi secara langsung pada bahan kemasan (Brandelli *et al.*, 2017).

Salah satu penerapan sistem kemasan aktif yaitu memiliki agen penyerap oksigen (*oxygen scavenger*) (Gaikwad, 2018). Agen penyerap oksigen memiliki peran untuk membantu menghilangkan atau menurunkan kadar oksigen dalam kemasan terutama pada produk yang dapat menimbulkan reaksi karena ketersediaan oksigen di dalam kemasan yang dapat mempengaruhi mutu dari produk pangan tersebut. Keberadaan oksigen seringkali menjadi penyebab menurunnya kualitas sensori dan masa simpan dari produk yang dikemas sehingga perlu diserap untuk menghambat proses oksidasi pada komponen pangan, menghambat

pertumbuhan bakteri aerobik, ragi dan jamur. Penggunaan agen penyerap oksigen diharapkan tidak berbahaya dan tidak beracun serta dapat menyerap oksigen pada tingkat yang sesuai (Roberta, 2020).

Agen penyerap oksigen yang digunakan dapat berupa *sachet*, label, atau dicampurkan secara langsung ke dalam polimer kemasan. Akan tetapi, penggunaan dalam bentuk *sachet* dapat mencemari produk yang dikemas apabila terjadi kebocoran dan juga dapat tertelan oleh konsumen sehingga pencampuran *oxygen scavenger* secara langsung ke dalam polimer kemasan lebih disarankan dibandingkan pada penggunaan yang lainnya. Metode penambahan agen penyerap oksigen ke dalam kemasan dilakukan dengan cara mencampurkan secara langsung atau menggabungkan agen aktif ke dalam polimer kemasan baik secara casting ataupun ekstrusi. Agen aktif tersebut akan didispersikan ke dalam matriks polimer film kemasan (Lloyd *et al.*, 2019). Adapun kekurangan dari metode ini adalah terjadinya resiko *off-flavour* pada produk pangan yang dikemas serta metode ekstrusi yang melalui proses termal menyebabkan agen yang sensitif panas tidak dapat digunakan, sehingga metode multilayer dapat diterapkan dengan cara agen aktif diletakkan ditengah-tengah lapisan film yang mengapitnya (Roberta, 2020).

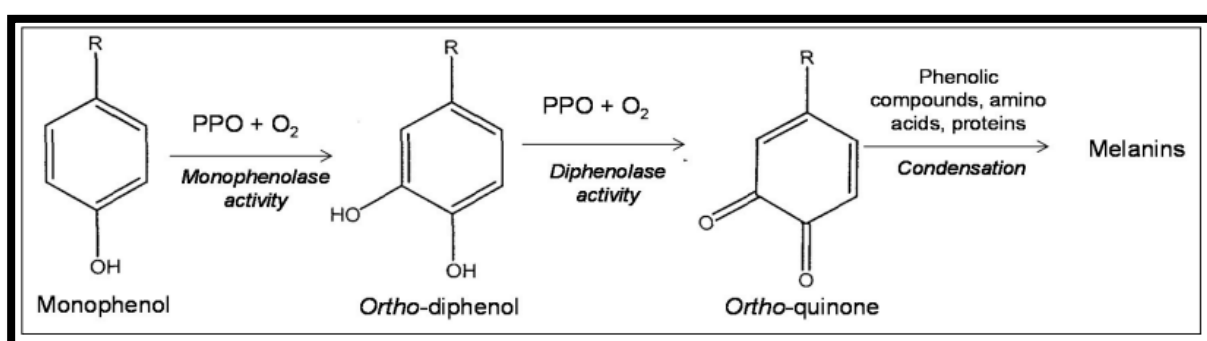
Agen penyerap oksigen umumnya berasal dari senyawa besi atau metalik lainnya, asam askorbat, asam gallic, dan senyawa alami lainnya, atau dari kelompok enzim berupa oxalate oxidase, katalase, glucose oxidase dan agen sintetik seperti *butylated hydroxytoluene* (BHT) dan *butylated hydroxyanisole* (BHA) (Gaikwad *et al.*, 2018; Salgado *et al.*, 2021). Jenis agen penyerap oksigen yang biasanya digunakan untuk pengawetan makanan dalam kemasan ialah dari senyawa atau zat yang mengandung besi, karena bahan tersebut memiliki efisiensi yang tinggi, harga rendah dan laju oksidasi yang cepat. Jenis *oxygen scavenger* yang digunakan yaitu *butylated hydroxytoluene* (BHT). Penggunaan BHT sebagai *oxygen scavenging agent* memiliki keunggulan yaitu memiliki sifat yang tidak beracun sehingga aman ketika kontak langsung dengan bahan pangan (Pangestu *et al.*, 2018).

2.5 Plasticizer

Selain menggunakan bahan pengisi atau penguat pada pembuatan plastik *biodegradable*, untuk mengoptimalkan sifat dari plastik *biodegradable* yang dihasilkan dapat digunakan bahan tambahan yang berupa *plasticizer*. *Plasticizer* merupakan bahan pemlastis non volatil yang terbuat dari bahan organik dengan berat molekul rendah yang ditambahkan untuk meningkatkan fleksibilitas dan ekstensibilitas suatu polimer serta dapat mengurangi permeabilitas uap air dan oksigen (Pirsa, *et al.* 2020). Salah satu *plasticizer* yang umum digunakan yaitu gliserol, sorbitol, dan polietilen glikol 400 (PEG 400). Polietilen Glikol 400 (PEG 400) merupakan salah satu jenis *plasticizer* yang sering digunakan dalam pembuatan bioplastik/plastik *biodegradable*. PEG 400 merupakan senyawa polimer berantai panjang, larut dalam air dan pelarut organik, tidak beracun dan bersifat stabil, dibuat secara sintesis, mudah didapat dan harganya yang lebih murah dibandingkan dengan *plasticizer* lain (Merilla, 2020). Penggunaan *plasticizer* disesuaikan dan bergantung pada konsentrasi yang ditambahkan dalam formula. Penambahan PEG 400 sebagai pemlastis dapat memperbaiki kuat tarik, elongasi, kekuatan termal, dan ketahanan barrier. PEG 400 berfungsi sebagai sumber karbon dan energi untuk mikroorganisme dan dengan bantuan enzim akan teroksidasi dan dihidrolisis sehingga terjadi proses degradasi. Mikroorganisme mengeluarkan enzim ekstraseluler, yang kemudian melekat pada permukaan polimer dan membelah rantai polimer yang menghasilkan fragmen yang akan kehilangan propertinya dan menurunkan materi polimer (Tenderly, 2020).

2.6 Pencoklatan Enzimatik

Pencoklatan enzimatik merupakan reaksi perubahan warna pada pangan segar seperti buah akibat adanya aktivitas enzim polifenol oksidase (Moon *et al.*, 2020). Keberadaan oksigen akan menjadi substrat pada pencoklatan enzimatik yang tidak diinginkan pada buah-buahan, serta berdampak besar pada peningkatan laju respirasi sehingga dapat mempercepat kerusakannya. Reaksi pencoklatan enzimatik sangat rentan terjadi pada jaringan yang mengalami luka mekanis akibat terpotong atau terkupas dan menyebabkan hilangnya nutrisi dan kualitas visual pada buah, seperti pada buah apel, salak dan pisang yang telah melalui proses pengolahan minimal (*fresh-cut*). Perubahan warna pada buah terolah minimal menjadi coklat akibat reaksi oksidasi yang menyebabkan terbentuknya senyawa melanin yang berwarna coklat karena perlakuan pengupasan dapat memperluas kontak buah dengan oksigen, sehingga aktifitas enzim fenolase semakin tinggi (Singh *et al.* 2018). Mekanisme pencoklatan enzimatik oleh enzim Polifenol Oksidase (PPO) disajikan pada gambar berikut.



Gambar 01. Skema Proses Pencoklatan oleh Enzim Polifenol Oksidase (Taranto *et al.*, 2017)

Substrat fenolik bereaksi dengan enzim PPO menjadi o-kuinon terbagi menjadi dua langkah oksidasi. Pertama, hidroksilasi posisi orto yang berdekatan dengan gugus hidroksil yang ada (aktivitas "monofenol oksidase" atau "monofenolase", juga disebut sebagai aktivitas hidroksilase atau kresolase). Kemudian yang kedua adalah oksidasi o-dihidroksibenzena menjadi obenzokuinon ("difenol oksidase" atau "aktivitas difenolase", juga disebut sebagai aktivitas katekolase atau oksidase). PPO memenuhi sub-kelas sebagai monofenol monooksigenase dan enzim yang mengkatalis oksidasi difenol dengan menggunakan oksigen sebagai penerima elektron termasuk katekol oksidase dan lakase (Taranto *et al.*, 2017).

Gugus fenol mengalami perubahan akibat reaksi pencoklatan enzimatis yang terjadi pada tanin (katekin dan leukoantosianin) menjadi gugus kuinon yang terpolimerisasi dan terkonversi menjadi polimer membentuk melanin yang berwarna coklat. Berdasarkan substrat spesifik dan mekanisme kerjanya, PPO diklasifikasikan dalam tiga jenis berbeda yaitu tirosinase, katekol oksidase, dan lakase. Tirosinase memiliki aktivitas kresolase dan katekolase. Katekol oksidase, juga dikenal sebagai o-difenol oksidase, mengkatalisis oksidasi o-difenol menjadi o-kuinon. Terakhir, lakase mampu mengoksidasi spektrum luas senyawa aromatik melalui mekanisme reaksi katalis radikal (Fronk *et al.*, 2015; Taranto *et al.*, 2017).

2.7 Apel *Fresh-cut*

Buah apel merupakan buah klimaterik yang berasal dari daerah subtropis (Fawzia, 2019). Jenis buah apel yang banyak dikonsumsi masyarakat karena memiliki rasa yang manis ialah jenis Apel Fuji (*Malus domestica* Borkh). Selain memiliki rasa yang manis, apel fuji juga

mengandung senyawa flavonoid sehingga memiliki aktivitas antioksidan yang kuat (Damayanti, 2016). Buah apel termasuk ke dalam jenis buah klimaterik yang terus mengalami respirasi dan produksi etilen yang tinggi setelah pemanenan sehingga memiliki umur simpan yang rendah. Kerusakan pada buah apel mudah terjadi akibat proses respirasi yang terus meningkat, kondisi penyimpanan pasca panen yang tidak tepat seperti terjadi kerusakan mekanis, fisiologis dan mikrobiologis pada buah (Fransiska *et al.*, 2013; Perdana *et al.*, 2019). Apel mengandung enzim polifenol oksidase, dimana enzim ini bertindak sebagai agen pengoksidasi yang memberikan warna pada apel. Apel dapat mengalami reaksi pencoklatan enzimatis ketika terdapat kerusakan mekanis seperti memar atau pengirisan dan pemotongan (Li *et al.*, 2014). Terjadinya pencoklatan enzimatis pada buah dapat mempengaruhi atribut organoleptik seperti warna dan rasa, serta nilai gizi yang berkurang dan menyebabkan kerugian pasar buah melebihi 50% (Holderbaum *et al.*, 2010).