

**APLIKASI LABEL INDIKATOR TINGKAT KESEGARAN
BERBAHAN AMONIUM MOLIBDAT PADA BUAH ALPUKAT
(*Persea americana* Mill) YANG DISIMPAN MENGGUNAKAN
PENYERAP OKSIGEN**

**HILDEGARD TRITAMI
G031 18 1335**



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

**APLIKASI LABEL INDIKATOR TINGKAT KESEGERAN
BERBAHAN AMONIUM MOLIBDAT PADA BUAH ALPUKAT
(*Persea americana* Mill) YANG DISIMPAN MENGGUNAKAN
PENYERAP OKSIGEN**

HILDEGARD TRITAMI

G031 18 1335

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknologi Pertanian
pada
Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan,
Departemen Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin
Makassar

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

HALAMAN PENGESAHAN

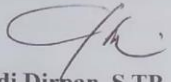
HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Aplikasi Label Indikator Tingkat Kesegaran Berbahan Amonium Molibdat Pada Buah Alpukat (*Persea americana* Mill) Yang Disimpan Menggunakan Penyerap Oksigen

Nama : Hildegard Tritami

Nim : G031181335

Menyetujui,



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



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

Mengetahui,



Dr. Februadi Bastian, S.TP., M.Si
Ketua Program Studi

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hildegard Tritami
NIM : G031 18 1335
Program Studi : Ilmu dan Teknologi Pangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“APLIKASI LABEL INDIKATOR TINGKAT KESEGERAN BERBAHAN
AMONIUM MOLIBDAT PADA BUAH ALPUKAT (*Persea americana* Mill) YANG
DISIMPAN MENGGUNAKAN PENYERAP OKSIGEN”**

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, Mei 2023



Hildegard Tritami

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAKxi	
ABSTRACT	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
2. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Alpukat (<i>Persea Americana</i> Mill)	3
2.2 Gas Etilen	5
2.3. Kemasan Cerdas (<i>Smart Packaging</i>)	5
2.4. Amonium Molibdat	6
2.5. Polivinil Alkohol (PVA)	6
2.6. Penyerap Oksigen.....	7
3. METODOLOGI PENELITIAN	8
3.1 Waktu dan Tempat	8
3.2 Alat dan Bahan.....	8
3.3 Rancangan Penelitian	8
3.3.1. Penelitian Pendahuluan	8
3.3.1.1. Pembuatan Larutan Indikator (Azrita, 2019).....	8
3.3.1.2. Pembuatan Label Indikator (Harmaji, 2017)	8
3.3.1.3. Desain Penelitian Pendahuluan.....	8
3.3.2. Penelitian Utama	9

3.3.2.1. Aplikasi Label Indikator pada Penyimpanan Buah Alpukat (Harmaji,2017)	9
3.3.2.2. Desain Penelitian Utama.....	9
3.4.1. Pengujian Derajat Keasaman (pH) (Hidayat <i>et al</i> , 2013).....	10
3.4.2. Pengujian Total Asam (Retnowati dan Kusnandi, 2013)	10
3.4.3. Pengujian Total Padatan Terlarut (Angelia, 2017).....	10
3.4.4. Pengujian Tingkat Kekerasan (Hasibuan dan Widodo, 2015)	10
3.4.5. Pengujian Vitamin C (Mulyani, 2018)	10
3.4.6. Pengujian Nitrat (Ramadhani, 2022)	11
3.4.7. Pengujian Organoleptik (Dari dan Junita, 2020).....	11
3.4.8. Pengujian Indeks Warna (Ramadhani, 2016)	11
3.4.9. Pengujian <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	12
3.5 Analisis Data	12
3.6 Diagram Alir	13
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1. Penelitian Pendahuluan	14
4.2. Penelitian Utama	15
4.2.1. Derajat Keasaman (pH)	15
4.2.2. Total Asam	16
4.2.3. Total Padatan Terlarut	17
4.2.4. Tingkat Kekerasan.....	18
4.2.5. Vitamin C	19
4.2.6. Kadar Nitrat	20
4.2.7. Organoleptik.....	21
4.2.7.1. Warna.....	22
4.2.7.2. Aroma	23
4.2.7.3. Tekstur	24
4.2.8. Perubahan Indeks Warna Label Indikator	25
4.2.8.1. Nilai L (<i>Light</i>).....	25
4.2.8.2. Nilai <i>Chroma</i>	26
4.2.8.3. Nilai °Hue	26
4.2.8.4. Nilai ΔE	28
4.2.9. Analisa <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	29
5. PENUTUP	31

5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	37

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 1. Kandungan Nutrisi Buah Alpukat	4

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1. Buah Alpukat (<i>Persea Americana Mill</i>).....	3
Gambar 2. Jalur Pembentukan Gas Etilen.....	5
Gambar 3. Kurva Standar Vitamin C	11
Gambar 4. Prosedur Penelitian.....	13
Gambar 5. Kenampakan Label Indikator dengan Formulasi Berbeda	14
Gambar 6. Grafik Nilai pH Buah Alpukat Selama Penyimpanan	15
Gambar 7. Grafik Total Asam Buah Alpukat Selama Penyimpanan.....	16
Gambar 8. Grafik Total Padatan Terlarut Buah Alpukat Selama Penyimpanan.....	17
Gambar 9. Grafik Tingkat Kekerasan Buah Selama Penyimpanan	18
Gambar 10. Grafik Kadar Vitamin C Buah Alpukat Selama Penyimpanan	20
Gambar 11. Grafik Kadar Nitrat Buah Alpukat Selama Penyimpanan.....	21
Gambar 12. Hasil Organoleptik (Warna) Buah Alpukat Selama Penyimpanan	22
Gambar 13. Hasil Organoleptik (Aroma) Buah Alpukat Selama Penyimpanan.....	23
Gambar 14. Hasil Organoleptik (Tekstur) Buah Alpukat Selama Penyimpanan.....	24
Gambar 15. Nilai L Label Indikator Selama Penyimpanan Buah Alpukat	25
Gambar 16. Nilai <i>Chroma</i> Label Indikator Selama Penyimpanan Buah Alpukat	26
Tanpa Penyerap Oksigen.....	27
Gambar 18. Profil Perubahan Warna Label Indikator pada Kondisi Penyimpanan Menggunakan Penyerap Oksigen	27
Gambar 19. Grafik Nilai ΔE Label Indikator Selama Penyimpanan Buah Alpukat	28
Gambar 20. Hasil Analisa <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) Label Indikator.....	30

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1. Diagram Alir Pembuatan Larutan Indikator	37
Lampiran 2. Diagram Alir Pembuatan dan Aplikasi Label Indikator Tingkat Kesegaran	37
Lampiran 3. <i>Prototype</i> Kemasan Cerdas Buah Alpukat	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.

ABSTRAK

HILDEGARD TRITAMI (NIM. G031181335). **Aplikasi Label Indikator Tingkat Kesegaran Berbahan Amonium Molibdat Pada Buah Alpukat (*Persea americana* Mill) Yang Disimpan Menggunakan Penyerap Oksigen** Dibimbing oleh ANDI DIRPAN dan ANDI NUR FAIDAH RAHMAN.

Latar Belakang: Tingkat kesegaran buah alpukat sulit diamati secara visual sehingga konsumen sering menekan buah. Tindakan tersebut akan menyebabkan penurunan mutu buah alpukat, sehingga diperlukan label indikator yang dapat mendeteksi kesegaran buah yang mudah diamati secara visual.

Tujuan: dari penelitian ini ialah untuk mengetahui formulasi terbaik larutan indikator dan label indikator, pengaruh penggunaan penyerap oksigen terhadap perubahan warna label indikator, serta perubahan fisik dan kimia buah alpukat selama penyimpanan menggunakan penyerap oksigen. **Metode:** penelitian ini terdiri dari dua tahap, tahap I dilakukan untuk menentukan formulasi label indikator terbaik dan tahap II dilakukan aplikasi label indikator dan pengujian pH, total asam, kadar nitrat, kadar vitamin C, tingkat kekerasan, total padatan terlarut, organoleptik, perubahan indeks warna, dan FTIR

Hasil: berdasarkan nilai Chroma dan nilai L^* , penggunaan penyerap oksigen berpengaruh terhadap kedua nilai tersebut. Sementara itu untuk nilai $^{\circ}$ Hue dan nilai ΔE , kondisi penyimpanan tanpa penyerap oksigen maupun dengan penggunaan penyerap oksigen tidak berpengaruh nyata. Mutu buah alpukat berdasarkan berdasarkan parameter pH, total asam, tingkat kekerasan, total padatan terlarut, vitamin C, dan kadar nitrat, penggunaan penyerap oksigen berpengaruh nyata. **Kesimpulan:** Berdasarkan kenampakan label pada penelitian tahap I yang dilakukan maka perlakuan terbaik untuk formulasi larutan indikator dan label indikator yaitu larutan indikator yang dengan formulasi amonium molibdat 2 gram dalam 10 mL larutan H_2O_2 . Sementara untuk label indikator formulasi terbaik yaitu label indikator dengan formulasi 3% v/v larutan indikator. Perubahan warna label indikator berdasarkan nilai Chroma dan nilai L^* , penggunaan penyerap oksigen berpengaruh terhadap kedua nilai tersebut. Sementara itu untuk nilai $^{\circ}$ Hue dan nilai ΔE , kondisi penyimpanan tanpa penyerap oksigen maupun dengan penggunaan penyerap oksigen tidak berpengaruh nyata. Mutu buah alpukat selama penyimpanan berdasarkan parameter pH, total asam, tingkat kekerasan, total padatan terlarut, vitamin C, dan kadar nitrat diperoleh perakuan terbaik yaitu menggunakan penyerap oksigen.

Kata Kunci: Alpukat, label indikator, penyerap oksigen

ABSTRACT

HILDEGARD TRITAMI (NIM. G031181335). **Application of Freshness Indicator Label Using Ammonium Molybdate in Avocado (*Persea americana* Mill) Stored Using Oxygen Absorbers.** Supervised ANDI DIRPAN and ANDI NUR FAIDAH RAHMAN.

Background: The level of freshness of avocado fruit is difficult to observe visually, therefore there are some pressure applied on the flesh surface, which causes a decrease in the quality of the fruit. To overcome this issue an indicator freshness label is needed to detect the freshness of the fruit that is easily observed visually. **Purpose:** This study aims to identify the suitable concentration of ammonium molybdate solution as an indicator solution for indicator freshness, the impact of oxygen absorbers on the color change of indicator labels, and the physical and chemical changes in avocado fruit during storage using oxygen absorber. **Method:** This research consisted of two stages; stage I was carried out to determine the best indicator label formulation, and stage II was carried out for indicator label application, analyzing color index changes and FTIR of the indicator label. Analyzing of pH, total acid, nitrate content, vitamin C content, hardness level, total soluble solids, and organoleptic of avocado fruit. **Result:** the quality of avocado fruit and the color changes of the indicator label in storage conditions using oxygen absorbers and without oxygen absorbers based on the parameters of the chroma value and the L^* value of label indicator, pH, total acidity, hardness level, total soluble solids, and vitamin C content of avocado showed the best treatment, namely storage using oxygen absorbers. Meanwhile, for the $aHue$ value, the ΔE value of the indicator label and the nitrate content of avocado, storage conditions without oxygen absorbers or with the use of oxygen absorbers had no significant effect. **Conclusion:** Based on the label's appearance in the phase I research, the best treatment for the formulation of the indicator solution was 20% b/v of ammonium molybdate. In comparison, the best formulation indicator label was with a formulation of 3% v/v of indicator solution. Using oxygen absorbers significantly affected the color change of the indicator label based on chroma and L^* values. Meanwhile, for the $aHue$ value and the ΔE value, storage conditions without oxygen absorbers or using oxygen absorbers have no significant effect. The usage of oxygen absorbers significantly affected the quality of fresh avocados during storage based on parameters of pH, total acidity, hardness, total soluble solids, and vitamin C content. Meanwhile, for nitrate content the usage of oxygen absorbers had no significant effect. Based on avocado's physical and chemical parameters, the the best storage condition treatment was using oxygen absorbes.

Keywords: Avocado, indicator label, oxygen absorbers

1. PENDAHULUAN

3.1 Latar Belakang

Buah alpukat (*Persea americana* Mill) merupakan salah satu komoditi hortikultura yang banyak dikonsumsi dan juga dihasilkan di wilayah tropis seperti Indonesia. Alpukat dapat berbuah sepanjang tahun dan terus mengalami peningkatan produksi setiap tahunnya. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2021), produksi buah alpukat sejak tahun 2018 hingga 2021 mengalami peningkatan dari 410.094 ton menjadi 669.200 ton. Berdasarkan data tersebut, alpukat merupakan salah satu komoditi yang memiliki peluang yang besar untuk ditingkatkan karena nilai ekonomis tingkat produksi yang tinggi. Alpukat memiliki berbagai manfaat kesehatan karena kaya akan berbagai zat gizi seperti vitamin, serat, antioksidan, lemak, dan protein yang sangat diperlukan oleh tubuh. Buah alpukat biasanya dipanen saat belum matang tetapi sudah cukup tua yaitu sekitar 6-7 bulan setelah berbunga. Buah alpukat merupakan buah klimaterik sehingga masih akan mengalami peningkatan respirasi dan produksi etilen setelah dipanen. Laju respirasi buah alpukat setelah panen berkisar antara 20-300 mg CO₂ kg⁻¹ jam⁻¹ tergantung pada suhu penyimpanan (Rees et. al., 2012). Sementara itu produksi etilen pada alpukat yang belum matang pada umumnya cukup rendah yaitu <1 µL kg⁻¹ jam⁻¹ tetapi akan terus mengalami peningkatan dan dapat mencapai > 100 µL kg⁻¹ jam⁻¹ saat buah matang (Kanayama et. al., 2015). Laju respirasi dan produksi etilen merupakan faktor penting dalam proses pematangan buah. Selama proses pematangan, akan terjadi perubahan fisiologis dan kimiawi karena adanya reaksi-reaksi kimia yang terjadi.

Perubahan fisik dan kimiawi selama penyimpanan akan berpengaruh terhadap mutu, baik itu mutu organoleptik ataupun kandungan gizi buah. Selama proses pematangan terjadi berbagai reaksi kimia penguraian dan juga sintesis senyawa baru. Proses tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan fisik pada buah seperti tekstur menjadi lebih lunak, perubahan warna pada kulit buah dan daging buah, serta perubahan rasa dan aroma (Hasibuan dan Widodo, 2015). Perubahan tersebut dapat dijadikan parameter tingkat kesegaran buah oleh produsen ataupun konsumen. Tetapi pada beberapa jenis buah seperti alpukat perubahan-perubahan tersebut tidak terjadi secara signifikan sehingga sulit untuk diamati. Karena itu, cara yang seringkali dilakukan untuk mendeteksi kesegaran alpukat yaitu dengan menekan daging buah. Tindakan tersebut dapat menyebabkan penurunan mutu pada buah karena akan menimbulkan memar pada beberapa bagian buah. Oleh karena itu, salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah penggunaan kemasan cerdas berupa label indikator yang mudah diamati secara visual.

Label indikator merupakan salah satu penerapan smart packaging pada bahan pangan. Kemasan cerdas (smart packaging) merupakan suatu inovasi yang dapat memudahkan konsumen dan juga produsen untuk melakukan proses monitor kualitas. Kemasan cerdas memiliki kemampuan untuk mendeteksi adanya perubahan pada produk dan juga perubahan lingkungan sekitar produk sehingga dapat membantu konsumen ataupun perusahaan untuk memonitor kualitas bahan yang dikemas (da Cruz, 2019). Beberapa label indikator tingkat kesegaran buah telah diteliti sebelumnya dengan mendeteksi perubahan pH (Hurriyah et.al., 2017), deteksi gas etilen (Azrita, 2019), perubahan suhu (Norfida et. al., 2013).

Buah alpukat merupakan buah klimaterik yang artinya akan mengalami peningkatan produksi etilen selama proses pematangan. Produksi etilen akan terus mengalami peningkatan hingga buah matang sehingga etilen dapat menjadi salah satu parameter tingkat kesegaran buah alpukat. Untuk mendeteksi peningkatan gas etilen larutan indikator harus terbuat dari bahan yang dapat bereaksi dengan etilen dan menghasilkan perubahan warna yang dapat diamati. Salah satu senyawa yang dapat bereaksi dengan etilen yaitu ammonium molibdat ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$). Amonium molibdat akan tereduksi oleh gas etilen dan menghasilkan perubahan warna dari berwarna kuning hingga biru tua. (Lang dan Hübert, 2012). Berdasarkan penelitian Harmaji, (2017), perubahan warna pada label indikator dengan bahan amonium molibdat dapat dipengaruhi oleh faktor lain salah satunya yaitu gas oksigen dalam kemasan. Hal tersebut menyebabkan label indikator kurang efektif untuk digunakan untuk memonitor tingkat kesegaran buah sehingga diperlukan perlakuan yang dapat mengurangi oksigen dalam kemasan yaitu dengan penggunaan penyerap oksigen. l.

3.2 Rumusan Masalah

Tingkat kesegaran buah alpukat sulit diamati secara visual sehingga konsumen seringkali menekan buah untuk mengetahui tingkat kesegarannya. Tindakan tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada daging buah sehingga menurunkan kualitas produk. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan label indikator yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kesegaran buah. Pada penelitian yang telah dilakukan memperlihatkan hasil bahwa selain gas oksigen perubahan warna label juga dipengaruhi oleh keberadaan gas oksigen. Oleh karena itu dilakukan penambahan penyerap gas oksigen untuk mengoptimalkan kinerja label indikator untuk mendeteksi tingkat kesegaran buah..

3.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui formulasi terbaik label indikator tingkat kesegaran buah alpukat.
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan penyerap oksigen terhadap perubahan warna label indikator.
3. Untuk mengetahui perubahan mutu buah alpukat selama penyimpanan menggunakan penyerap oksigen dan tanpa penyerap oksigen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alpukat (*Persea Americana Mill*)

Alpukat (*Persea Americana Mill*) merupakan tanaman dikotil yang berasal dari Amerika Tengah dan Mexico Selatan yang telah tersebar di berbagai wilayah tropis dan subtropis di seluruh dunia. Secara umum alpukat terbagi menjadi tiga kelompok utama yaitu West Indian, Mexican, dan Guatemalan (Rees, et. al., 2012). Buah alpukat memiliki bentuk yang beragam seperti bulat, lonjong, berbentuk seperti buah pir ataupun telur tergantung pada jenisnya. Daging buah alpukat berwarna kuning hingga kehijauan dengan tekstur yang lembut saat matang (Anova dan Kamsina, 2013). Alpukat banyak diminati oleh masyarakat karena memiliki rasa yang unik, dapat diolah menjadi berbagai produk, dan juga memiliki kandungan gizi yang tinggi.



Gambar 1. Buah Alpukat (*Persea Americana Mill*)

Buah alpukat merupakan buah klimaterik sehingga dapat mengalami proses pematangan setelah dipetik. Proses pematangan tersebut dapat terjadi karena buah alpukat masih dapat mengalami peningkatan laju respirasi dan produksi gas etilen setelah dipetik. Buah alpukat memiliki tingkat respirasi yang tinggi yaitu sekitar 20-300 mg CO₂ kg⁻¹ jam⁻¹ tergantung pada suhu penyimpanan (Rees et. al., 2012). Sementara itu produksi etilen pada alpukat yang belum matang pada umumnya cukup rendah yaitu <1 µL kg⁻¹ jam⁻¹ tetapi akan terus mengalami peningkatan dan dapat mencapai > 100 µL kg⁻¹ jam⁻¹ saat buah matang (Kanayama et. al., 2015). Respirasi dan etilen memiliki peran yang sangat penting dalam kualitas buah selama penyimpanan karena kedua hal tersebut menyebabkan perubahan fisik dan kimia pada buah.

Terdapat berbagai reaksi yang menghasilkan perubahan kimia dan fisik terjadi selama pematangan buah alpukat. Perubahan fisik seperti warna, aroma, dan tekstur dapat menjadi parameter tingkat kematangan buah. Perubahan warna kulit pada buah alpukat selama proses pematangan berbeda tergantung jenisnya. Beberapa jenis alpukat berubah dari warna hijau menjadi ungu ataupun hitam. Perubahan warna kulit terjadi karena penguraian senyawa klorofil dan peningkatan senyawa antosianin (Kassim, et.al., 2013). Tekstur daging buah juga akan mengalami perubahan menjadi lebih lunak selama proses pematangan karena adanya perubahan struktur dinding sel. Dinding sel buah tersusun dari senyawa-senyawa polisakarida seperti selulosa, hemiselulosa, dan pektin. Selama proses pematangan senyawa-senyawa tersebut akan terurai karena respirasi yang masih terus berjalan setelah panen. Penguraian polisakarida tersebut akan menghasilkan gula-gula yang lebih sederhana sehingga struktur dinding sel akan mengalami pelunakan (Aprilliani, et.al., 2021). Aroma buah alpukat selama proses pematangan

juga akan mengalami perubahan karena meningkatnya senyawa volatil selama penyimpanan. Karena mengandung lemak tinggi, senyawa volatil yang dominan pada buah alpukat yaitu aldehida yang merupakan senyawa hasil degradasi lemak. Senyawa aldehida menghasilkan aroma seperti rumput pada buah alpukat dan akan menurun seiring dengan tingkat kematangan buah (Obenland, et.al., 2012).

Buah alpukat merupakan salah satu buah yang mengandung lemak yang cukup tinggi tetapi memiliki kandungan gula yang cukup rendah. Meskipun memiliki kandungan lemak yang cukup tinggi, alpukat merupakan sumber lemak yang sehat karena sebagian besar komposisi lemaknya adalah lemak tak jenuh tunggal. Alpukat juga kaya akan berbagai vitamin, mineral, asam-asam organik, dan serat pangan. Adapun kandungan gizi buah alpukat dapat dilihat pada tabel berikut :

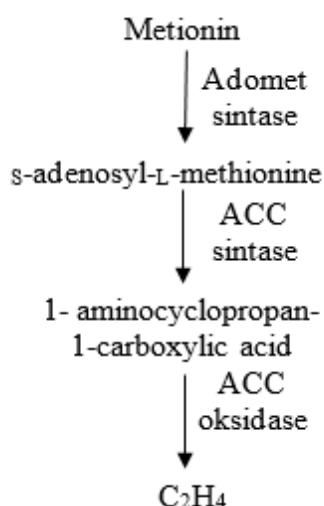
Tabel 1. Kandungan Buah Alpukat

Komponen	Kadar
Air (%)	74,4
Lemak (%)	20,6
Protein (%)	1,8
Serat (%)	1,4
Abu (%)	1,2
Gula (%)	0,5
Asam Organik (%)	
Asam malat	0,32
Asam sitrat	0,05
Asam oksalat	0,03
Vitamin (mg/100g)	
Vitamin C	11,0
Vitamin B1	0,07
Vitamin B2	0,12
Vitamin B3	1,9
Vitamin B6	0,62
Vitamin B12	0,04
Vitamin E	3
Vitamin K	0,008
Mineral (mg/100g)	
Potasium	480
Fosfor	27,0
Kalsium	14,0
Magnesium	23,0
Sodium	2,0
Zat Besi	0,7
Zinc	0,5

Sumber : (Rees, et. al., 2012)

2.2 Gas Etilen

Etilen (C_2H_4) adalah salah satu hormon pada tumbuhan yang berperan dalam proses pematangan buah. Gas etilen berperan sebagai aktivator enzim yang berperan dalam proses pematangan. Pembentukan etilen terjadi melalui tiga tahap yaitu perubahan metionin menjadi SAM (S-adenosyl-L-methionine) dengan bantuan enzim adomet sintase. Kemudian pada tahap kedua terjadi perubahan SAM (S-adenosyl-L-methionine) menjadi ACC (1-aminocyclopropane -1-carboxylic acid) dengan bantuan enzim ACC sintase. Selanjutnya senyawa ACC (1-aminocyclopropane -1 carboxylic acid) akan teroksidasi dan membentuk etilen (C_2H_4) dengan bantuan enzim ACC oksidase (ACO) (Bapat, et.al., 2010). Jalur pembentukan etilen dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Jalur Pembentukan Gas Etilen

Etilen merupakan hormon yang berperan penting dalam beberapa perubahan fisik pada buah selama pematangan. Etilen berperan dalam mengatur perubahan tekstur, perubahan warna, peningkatan pigmen warna seperti karotenoid atau antosianin, peningkatan gula, dan biioseintesis senyawa organik yang mudah menguap. Etilen dapat mempengaruhi tekstur buah dengan mempengaruhi gen ACS dan ACO dan produksi poligalakturonase yang berperan dalam depolimerisasi pektin yang menyusun dinding sel buah Etilen juga mempengaruhi enzim *phytoane synthase* yang berperan dalam pigmentasi pada buah (Iqbal, et.al., 2017).

2.3. Kemasan Cerdas (*Smart Packaging*)

Kemasan cerdas atau smart packaging merupakan suatu inovasi kemasan yang tidak hanya berfungsi melindungi produk, tetapi juga dapat memberi informasi mengenai kualitas produk yang dikemas (Kruij, et.al., 2002). Kemasan cerdas memiliki kemampuan untuk mendeteksi perubahan pada produk dan juga lingkungan yang ada di dalam kemasan ataupun di luar kemasan. Sistem kemasan cerdas dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu sensor, *Radio Frequency Identification* (RFID), dan indikator (Ghaani, et.al., 2016).

Indikator adalah salah satu cara untuk mendeteksi keberadaan senyawa tertentu, reaksi antar senyawa, dan juga konsentrasi suatu senyawa yang kemudian menyebabkan perubahan visual seperti perubahan warna pada label indikator. Terdapat berbagai jenis indikator yang telah diterapkan dalam pengemasan produk seperti indikator tingkat kesegaran, indikator

kematangan, *time temperature indicator* (TTI), dan indikator gas (Müller dan Schmid, 2019). Indikator dapat diletakkan di dalam ataupun di luar kemasan tergantung pada jenis dan fungsinya. Indikator yang mendeteksi perubahan kondisi lingkungan dapat diletakkan di dalam ataupun di luar kemasan seperti *time temperature indicator* (TTI). Sementara kemasan yang mendeteksi berdasarkan atribut kualitas produk secara langsung seperti indikator kesegaran dan indikator tingkat kematangan pada umumnya diletakkan di dalam kemasan.

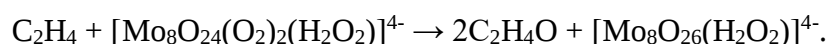
2.4. Amonium Molibdat

Amonium molibdat) merupakan salah satu senyawa anorganik dengan rumus kimia $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O})$. Senyawa ini berbentuk bubuk berwarna putih dan tidak berbau. Massa molar ammonium molibdat yaitu 1235,86 g/mol dan titik leleh 90°C . Ammonium molibdat banyak digunakan dalam industri kimia dan juga sebagai reagen (Sudrajat dan Bintoro, 2016). Ammonium molibdat merupakan senyawa yang tidak berbahaya jika digunakan dalam konsentrasi rendah tetapi akan menghasilkan gas berbahaya jika bereaksi secara langsung dengan asam kuat pada suhu tinggi (Perangin-angin, 2017). Ammonium molibdat dapat bereaksi dengan gas etilen melalui reaksi oksidasi (Lang dan Hubert, 2012).

Amonium molibdat tidak dapat larut dengan baik di dalam air tetapi dapat larut dalam beberapa jenis asam seperti asam sulfat dan asam nitrat (Perangin-angin, 2017). Saat dilarutkan dalam larutan asam dengan $\text{pH} < 2$, anion molibdat $(\text{Mo}_7\text{O}_{24})^{6-}$ akan terurai isopolimolibdat seperti $(\text{MoO}_4)^{2-}$, $(\text{Mo}_8\text{O}_{26})^{4-}$, atau $(\text{Mo}_{36}\text{O}_{112}(\text{H}_2\text{O})_{16})^{8-}$. Label indikator berbasis isopolimolibdat sangat sensitif terhadap senyawa lain, suhu, kelembaban dan juga sinar UV sehingga perubahan warna yang dihasilkan tidak akurat (Lang dan Hüberr, 2012). Oleh karena itu digunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai pelarut yang menghasilkan senyawa peroksimolibdat yang jauh lebih stabil. Reaksi pembentukan peroksimolibdat dapat dilihat pada persamaan berikut :



Selanjutnya senyawa peroksimolibdat akan terdekomposisi saat bereaksi dengan etilen menghasilkan perubahan warna pada label indikator. Reaksi antara ammonium molibdat dan etilen akan menghasilkan perubahan warna pada dari warna kuning menjadi hijau hingga biru (Ningtyas, *et.al.*, 2022). Reaksi antara etilen dan peroksimolibdat dapat dilihat pada persamaan:



2.5. Polivinil Alkohol (PVA)

Polivinil alkohol (PVA) merupakan senyawa polimer yang terbentuk dari hasil hidrolisis polivinil asetat. Polivinil alkohol tidak berwarna, tidak beracun, dan mudah larut dalam air pada suhu $70\text{-}80^\circ\text{C}$. PVA juga dapat larut dengan baik dalam etanol tetapi tidak dapat larut dalam pelarut organik. Polivinil alkohol memiliki kemampuan pembentukan film, pengemulsi dan juga perekat yang baik (Kanatt, *et.al.*, 2012). Karena karakteristik dan harganya yang murah PVA banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti pembuatan resin, bidang medis, pengolahan tekstil, dan kertas (Arefian *et.al.*, 2020). Polivinil alkohol memiliki sifat biodegradable sehingga banyak dimanfaatkan dalam pembuatan bioplastik dan biofilm. Karakteristik film yang terbuat dari PVA juga memiliki berbagai keunggulan seperti memiliki permeabilitas gas yang baik, daya tarik yang besar, dan fleksibel. Kelemahan dari PVA yaitu

ketahanan terhadap air dan kelembaban yang rendah sehingga mudah mengalami kerusakan (Gaas, et.al., 2015).

2.6. Penyerap Oksigen

Penyerap oksigen merupakan bahan-bahan yang memiliki kemampuan berikatan ataupun bereaksi dengan oksigen sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan ataupun mengurangi konsentrasi oksigen. Mekanisme penyerapan oksigen tergantung pada jenis bahan penyerap oksigen yang digunakan. Beberapa bahan yang umum digunakan sebagai penyerap oksigen seperti serbuk besi dan asam askorbat. Penyerap oksigen berbahan logam terutama serbuk besi merupakan yang paling banyak digunakan secara komersial (Gaikwad, et.al., 2018). Prinsip kerja penyerap oksigen berbahan serbuk besi yaitu berdasarkan pada oksidasi yang terjadi karena adanya kelembaban (Dey dan Neogi, 2019). Beberapa jenis logam lainnya juga dapat dimanfaatkan sebagai penyerap oksigen seperti paladium dan zinc (Gaikwad, et.al., 2018). Selain senyawa anorganik, beberapa senyawa organik juga dapat digunakan sebagai bahan penyerap oksigen. Senyawa organik yang umum digunakan sebagai penyerap oksigen yaitu asam askorbat. Mekanisme penyerapan oksigen oleh asam askorbat didasarkan pada reaksi oksidasi asam askorbat menjadi dehidroaskorbat (Lee, et.al., 2018).