

**FABRIKASI INDIKATOR PENDETEKSI CO₂ UNTUK MEMANTAU KESEGARAN
AIR KELAPA MUDA**

MATTHEW KHOSUMA

G031 19 1078



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

2023

**FABRIKASI INDIKATOR PENDETEKSI CO₂ UNTUK MEMANTAU KESEGARAN
AIR KELAPA MUDA**



MATTHEW KHOSUMA

G031 19 1078

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

Judul : Fabrikasi Indikator Pendeteksi CO₂ Untuk Memantau Kesehatan Air Kelapa
Muda
Nama : Matthew Khosuma
NIM : G031 19 1078

Menyetujui,



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



Prof. Dr. Ir. Jumriah Langkong, MP.
Pembimbing II

Mengetahui,




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

Tanggal lulus:

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Matthew Khosuma
NIM : G031 19 1078
Program Studi : Ilmu dan Teknologi Pangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“FABRIKASI INDIKATOR PENDETEKSI CO₂ UNTUK MEMANTAU KESEGERAN
AIR KELAPA MUDA”**

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



Matthew Khosuma

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	xi
ABSTRACT	xii
I. PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan dan Manfaat.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
II.1 Kelapa (<i>Cocos nucifera</i> L.)	3
II.2 <i>Intelligent Packaging</i>	4
II.3 Indikator Warna	5
II.4 Konsep Karbon Dioksida (CO ₂).....	6
III. METODE PENELITIAN	7
III.1 Waktu dan Tempat.....	7
III.2 Alat dan Bahan	7
III.3 Prosedur Penelitian.....	7
III.3.1 Pembuatan Larutan Indikator Warna (Hidayat et al., 2019).....	7
III.3.2 Pembuatan Label Indikator Kesegaran (Modifikasi Obaidi et al., 2022)	7
III.3.3 Aplikasi Label Indikator Kesegaran Pada Air Kelapa Muda	7
III.4 Desain Penelitian	8
III.5 Parameter Pengujian	9
III.5.1 Pengukuran Sensitivitas Larutan Indikator Warna (Noiwan et al., 2022)	9
III.5.2 Parameter Pengamatan Air Kelapa Muda.....	9
III.5.2.1 pH (Kannangara et al., 2018)	9
III.5.2.2 Total Asam (Appaiah et al., 2015)	9
III.5.2.3 Total Padatan Terlarut (Saad et al., 2014).....	9
III.5.2.4 Kekeruhan (Ekasari & Widyarti, 2019)	9

III.5.2.5	Total Mikroba (Y. Ma et al., 2019)	9
III.5.2.6	Gas Karbon Dioksida dan Oksigen (Sari et al., 2022)	10
III.5.3	Parameter Pengamatan Label Indikator Kesegaran	10
III.5.3.1	Pengukuran Perubahan Warna Label Indikator Kesegaran (Dirpan et al., 2022) ..	10
III.5.3.2	Karakterisasi Kimia Label Indikator Kesegaran (FTIR) (Ezati et al., 2019)	11
III.6	Analisis Data	11
III.7	Diagram Alir.....	11
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	12
IV.1	Pengukuran Sensitivitas Larutan Indikator Warna.....	12
IV.2	pH	13
IV.3	Total Asam	14
IV.4	Total Padatan Terlarut	15
IV.5	Kekeruhan.....	16
IV.6	Total Mikroba.....	17
IV.7	Gas Karbon Dioksida dan Oksigen	18
IV.8	Perubahan Warna Label Indikator Kesegaran Pada Kemasan Air Kelapa Muda	19
IV.9	Karakterisasi Kimia Label Indikator Kesegaran	23
IV.10	Korelasi Perubahan Warna Label Indikator Kesegaran Dengan Semua Parameter Kerusakan Air Kelapa Muda	24
V.	PENUTUP	28
V.1	Kesimpulan.....	28
V.2	Saran.....	28
	DAFTAR PUSTAKA.....	29
	LAMPIRAN	34

DAFTAR TABEL

Tabel 01. Kandungan Gizi Air Kelapa	3
Tabel 02. Standar Parameter Kualitas Air Kelapa.....	4

DAFTAR GAMBAR

Gambar 01. Struktur Kimia Indikator Warna	5
Gambar 02. Reaksi Pembentukan Gas Karbon Dioksida	6
Gambar 03. Pembuatan Label Indikator Kesegaran.....	8
Gambar 04. Bagian Label Indikator Kesegaran	8
Gambar 05. Aplikasi Label Indikator Kesegaran pada Air Kelapa.....	8
Gambar 06. Persamaan °Hue dan ΔE	10
Gambar 07. Prosedur Penelitian	11
Gambar 08. Hasil Sensitivitas Larutan Indikator Warna Phenol Red, Bromothymol Blue, dan Methyl Red	12
Gambar 09. Nilai pH Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang	13
Gambar 10. Nilai Total Asam Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang.....	14
Gambar 11. Nilai Total Padatan Terlarut Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang	15
Gambar 12. Nilai Kekeruhan Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang.....	16
Gambar 13. Nilai Total Mikroba Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang	17
Gambar 14. Nilai Produksi Gas pada Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang (a) CO ₂ (b) O ₂	18
Gambar 15. Nilai °Hue Label Indikator Kesegaran pada Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang (a) Phenol Red, (b) Bromothymol Blue, (c) Methyl Red	19
Gambar 16. Nilai ΔE Label Indikator Kesegaran pada Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang.....	20
Gambar 17. Visualisasi Label Indikator Kesegaran pada Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang	21
Gambar 18. Hasil Spektrum Label Indikator Kesegaran Phenol Red Awal Penyimpanan dan Sesudah Penyimpanan pada Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang	23
Gambar 19. Korelasi antara Perubahan °Hue Label Indikator Kesegaran terhadap Keseluruhan Parameter Air Kelapa Muda dalam Kemasan selama 24 Jam Penyimpanan pada Suhu Ruang	24

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 01. Hasil Pengujian Kualitas Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	34
Lampiran 02. Hasil Pengujian Warna Label Indikator Kesegaran	34
Lampiran 03. Hasil Pengujian pH Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan.....	34
Lampiran 04. Hasil Analisis Sidik Ragam pH Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	34
Lampiran 05. Hasil Uji Lanjut Duncan pH Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan.....	35
Lampiran 06. Hasil Pengujian Total Asam Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	35
Lampiran 07. Hasil Analisis Sidik Ragam Total Asam Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	35
Lampiran 08. Hasil Uji Lanjut Duncan Total Asam Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	36
Lampiran 09. Hasil Pengujian Total Padatan Terlarut Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	36
Lampiran 10. Hasil Analisis Sidik Ragam Total Padatan Terlarut Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	36
Lampiran 11. Hasil Uji Lanjut Duncan Total Padatan Terlarut Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	37
Lampiran 12. Hasil Pengujian Kekeruhan Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	37
Lampiran 13. Hasil Analisis Sidik Ragam Kekeruhan Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	37
Lampiran 14. Hasil Uji Lanjut Duncan Kekeruhan Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	38
Lampiran 15. Hasil Pengujian Total Mikroba Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	38
Lampiran 16. Hasil Analisis Sidik Ragam Total Mikroba Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	38
Lampiran 17. Hasil Uji Lanjut Duncan Total Mikroba Air Kelapa Muda Selama Penyimpanan	39
Lampiran 18. Hasil Pengujian °Hue Label Indikator Kesegaran Phenol Red Selama Penyimpanan	39
Lampiran 19. Hasil Analisis Sidik Ragam °Hue Label Indikator Kesegaran Phenol Red Selama Penyimpanan	39
Lampiran 20. Hasil Uji Lanjut Duncan °Hue Label Indikator Kesegaran Phenol Red Selama Penyimpanan	40
Lampiran 21. Hasil Pengujian °Hue Label Indikator Kesegaran Bromothymol Blue Selama Penyimpanan	40
Lampiran 22. Hasil Analisis Sidik Ragam °Hue Label Indikator Kesegaran Bromothymol Blue Selama Penyimpanan	40

Lampiran 23. Hasil Uji Lanjut Duncan °Hue Label Indikator Kesegaran Bromothymol Blue Selama Penyimpanan.....	40
Lampiran 24. Hasil Pengujian °Hue Label Indikator Kesegaran Methyl Red Selama Penyimpanan	41
Lampiran 25. Hasil Analisis Sidik Ragam °Hue Label Indikator Kesegaran Methyl Red Selama Penyimpanan	41
Lampiran 26. Dokumentasi Penelitian	41

ABSTRAK

MATTHEW KHOSUMA (NIM G031 19 1078). Fabrikasi Indikator Pendeteksi CO₂ Untuk Memantau Kesegaran Air Kelapa Muda. Dibimbing oleh ANDI DIRPAN dan JUMRIAH LANGKONG

Latar Belakang Air kelapa muda merupakan minuman fungsional namun mudah mengalami kerusakan akibat pertumbuhan mikroba maupun paparan oksigen. Tanda kerusakan yang tidak terlalu jelas secara fisik membuat kualitas air kelapa muda sulit untuk dideteksi secara langsung oleh konsumen sehingga dengan menerapkan label indikator kesegaran dapat memberikan informasi secara langsung mengenai kualitas air kelapa muda. **Tujuan** untuk mengetahui jenis larutan indikator warna terbaik dalam pembuatan label indikator kesegaran, dan untuk mengetahui profil perubahan warna label indikator kesegaran terhadap kualitas air kelapa muda selama penyimpanan pada suhu ruang 25°C. **Metode** penelitian ini terdiri dari pembuatan tiga larutan indikator warna menggunakan Phenol Red, Bromothymol Blue, dan Methyl Red yang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan label indikator kesegaran dari masing-masing larutan indikator warna tersebut dan diaplikasikan pada air kelapa muda pada penyimpanan suhu ruang 25°C selama 24 jam dengan pengamatan setiap 4 jam berupa pH, total padatan terlarut, total asam, kekeruhan, total mikroba, gas CO₂, gas O₂, dan perubahan warna label indikator kesegaran ($^{\circ}\text{Hue}$ & ΔE). **Hasil** penelitian menunjukkan bahwa nilai pH, total padatan terlarut, dan gas O₂ mengalami penurunan seiring dengan waktu penyimpanan, sedangkan nilai total asam, kekeruhan, total mikroba, dan gas CO₂ terus mengalami peningkatan. Korelasi perubahan warna label indikator kesegaran menunjukkan hasil yang linier antara nilai $^{\circ}\text{Hue}$ dengan seluruh parameter pengamatan air kelapa muda yang menunjukkan terjadinya perubahan warna dengan visualisasi yang jelas pada label indikator kesegaran ditandai dengan nilai ΔE yang mencapai 26,14. **Kesimpulan** dari penelitian menunjukkan label indikator kesegaran Phenol Red berbasis metil selulosa memberikan profil perubahan warna terbaik yang sesuai dengan kondisi kesegaran air kelapa muda yaitu merah keunguan (segar), jingga (segera dikonsumsi), dan kuning (rusak) sehingga dapat dijadikan sebagai *intelligent packaging* untuk memudahkan konsumen.

Kata kunci: *phenol red, bromothymol blue, methyl red, air kelapa muda, label indikator kesegaran, gas CO₂*

ABSTRACT

MATTHEW KHOSUMA (NIM G031 19 1078). Fabrication of CO₂ Detection Indicator to Monitor the Freshness of Coconut Water. Supervised by ANDI DIRPAN and JUMRIAH LANGKONG

Background Coconut water is a functional beverage but it is susceptible to deterioration due to microbial growth and oxygen exposure. Signs of damage that are not too obvious physically make the quality of coconut water difficult to detect directly by consumers, so that by applying freshness indicator labels, it can provide direct information about the quality of coconut water. **The objectives** were to determine the best type of color indicator solution for making freshness indicator labels and to determine the color change profile of freshness indicator labels on the quality of coconut water during storage at 25°C room temperature. **The research method** consists of the production of three color indicator solutions using Phenol Red, Bromothymol Blue, and Methyl Red, followed by making freshness indicator labels from each color indicator solution and applied to coconut water at 25°C room temperature storage for 24 hours with observations every 4 hours in the form of pH, total dissolved solids, total acid, turbidity, total microbes, CO₂ gas, O₂ gas, and changes in the color of the freshness indicator label (°Hue & ΔE). **Results** showed that the values of pH, total dissolved solids, and O₂ gas decreased along with the storage time, while the values of total acid, turbidity, total microbes, and CO₂ gas continued to increase. The color change correlation of the freshness indicator label showed linear results between the °Hue value and all observation parameters of coconut water, which showed a color change with clear visualisation on the freshness indicator label marked by the ΔE value, which reached 26.14. **The conclusion** of the research shows that the methyl cellulose-based Phenol Red freshness indicator label provides the best color change profile that matches the freshness condition of coconut water, namely purplish red (fresh), orange (immediately consumed), and yellow (damaged), so that it can be used as intelligent packaging to facilitate consumers.

Keywords: *phenol red, bromothymol blue, methyl red, coconut water, freshness indicator label, CO₂ gas*

I. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kemasan secara umum digunakan pada produk pangan dengan tujuan utama untuk melindungi produk dari kerusakan akibat faktor eksternal dari kondisi lingkungan sekitar. Selain itu kemasan juga memiliki fungsi lainnya sebagai media penyimpanan dan memudahkan penggunaan produk sehingga menjadi lebih praktis. Serta fungsi utama dari kemasan yang lain adalah sebagai media komunikasi kepada konsumen mengenai produk itu sendiri seperti kandungan gizi ataupun instruksi konsumsinya (Schaefer & Cheung, 2018). Akan tetapi fungsi kemasan tersebut tidak dapat memberikan informasi kepada konsumen mengenai kualitas maupun kesegaran produk secara langsung sehingga konsumen perlu untuk memastikan kembali kualitas produk setelah dibuka dari kemasan (Shao et al., 2021). Hal ini menyebabkan penggunaan kemasan terus berkembang yaitu dengan adanya *intelligent packaging* sebagai salah teknologi pengemasan untuk melengkapi kekurangan dari fungsi kemasan secara umum.

Intelligent packaging adalah kemasan yang dapat memantau dan memberikan informasi mengenai perubahan kualitas produk secara langsung dan setiap saat selama masa transportasi dan penyimpanan dari *supplier* hingga sampai di konsumen (Sohail et al., 2018). Salah satu jenis dari *intelligent packaging* adalah indikator kesegaran yang memiliki bentuk berupa label ataupun *film* disertai dengan adanya indikator warna yang peka terhadap perubahan pH (Shao et al., 2021). Mekanisme kerja dari indikator kesegaran adalah terjadinya perubahan warna indikator dari satu warna menjadi warna yang lain sesuai dengan larutan indikator warna yang digunakan, perubahan ini menandakan bahwa produk yang dikemas telah terjadi pertumbuhan mikroba ataupun reaksi kimia lainnya yang menandakan kesegaran atau kualitas produk telah menurun akibat munculnya senyawa metabolit seperti asam-asam organik (asam asetat, asam laktat), etanol, karbon dioksida, basa nitrogen seperti trimetil amina dan sulfur (Luo et al., 2021). Penggunaan indikator kesegaran dalam kemasan dapat memudahkan konsumen dalam menentukan kualitas produk sekaligus memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan *expired date* tanpa perlu membuka kemasan sehingga dapat membantu mengurangi masalah *food waste* (Kuswandi et al., 2011; Shao et al., 2021). Pembuatan dan aplikasi indikator kesegaran sebagai *intelligent packaging* telah dilakukan pada berbagai produk seperti daging sapi, ayam, ikan, buah dan sayur (Chen et al., 2018; Dirpan et al., 2018, 2022; Ezati et al., 2019; Sani et al., 2021). Berdasarkan literatur yang ada belum ada pembuatan indikator kesegaran untuk produk kelapa terutama minuman air kelapa. Kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan salah satu komoditas yang memiliki berbagai manfaat sehingga disebut juga sebagai “*Tree of Life*” (Haseena et al., 2010). Buah kelapa khususnya air kelapa muda banyak dimanfaatkan sebagai minuman fungsional karena memiliki beragam manfaat bagi kesehatan yaitu sebagai antioksidan, kardioprotektif, antitrombotik, antikolesterol, antibakteri, antidiabetes dan heparprotektif (Camargo Prado et al., 2015). Hal ini disebabkan air kelapa muda memiliki berbagai kandungan gizi seperti karbohidrat dalam bentuk glukosa, fruktosa dan sukrosa, vitamin B1, vitamin B2, vitamin C dan senyawa-senyawa elektrolit dari berbagai mineral seperti natrium, kalium, kalsium, magnesium, fosfor dan besi (Appaiah et al., 2015). Akan tetapi air kelapa muda yang segar tanpa melalui proses pengolahan memiliki umur simpan yang relatif singkat baik pada suhu ruang maupun suhu dingin, hal ini disebabkan oleh kandungan gizi yang terdapat berupa glukosa serta pH air kelapa yaitu 5. Kedua faktor ini menjadi faktor utama yang dapat menyebabkan kerusakan karena memudahkan mikroorganisme seperti

khamir untuk tumbuh (Costa et al., 2015). Tanda kerusakan dari air kelapa dapat dideteksi melalui perubahan pH yang semakin asam, salah satu penyebab semakin rendahnya pH pada air kelapa muda karena terbentuknya gas karbon dioksida. Gas karbon dioksida bersifat asam dan terbentuk akibat adanya pertumbuhan mikroorganisme yang melakukan fermentasi anaerob serta respirasi aerob sehingga kandungan glukosa pada air kelapa muda akan dipecah menjadi gas karbon dioksida (Shankar et al., 2021).

Berdasarkan masalah tersebut, maka dalam penelitian akan dilakukan pembuatan indikator kesegaran berbasis biopolimer metil selulosa yang sensitif terhadap gas karbon dioksida untuk memantau kesegaran air kelapa muda. Akan tetapi terdapat beberapa penelitian yang menggunakan jenis indikator warna yang berbeda-beda dalam pembuatan indikator kesegaran seperti pada (Nopwinyuwong et al., 2010) menggunakan campuran dua indikator warna yaitu *bromothymol blue* dan *methyl red* dengan rasio 3:2 untuk memantau kesegaran *golden drop dessert*, kemudian pada (Noiwan et al., 2022) menggunakan campuran dua indikator warna yaitu *bromothymol blue* dan *methyl red* dengan rasio 3,8:1,2 untuk memantau tingkat kematangan buah manga dan pada penelitian (Obaidi et al., 2022) menggunakan indikator *bromothymol blue* dan *phenol red* untuk memantau kesegaran daging ayam. Oleh karena itu penelitian ini akan berfokus untuk menentukan jenis indikator warna terbaik dalam pembuatan indikator kesegaran yang memiliki perubahan warna jelas dilihat dengan mata untuk memantau kualitas air kelapa.

I.2 Rumusan Masalah

Air kelapa muda merupakan minuman fungsional yang memiliki berbagai manfaat kesehatan bagi tubuh dengan karakteristik rasanya yang manis dan sedikit asam serta berwarna bening ataupun transparan. Umur simpan air kelapa muda relatif singkat karena menjadi media yang baik bagi pertumbuhan mikroba. Salah satu tanda kerusakan air kelapa muda adalah terjadinya penurunan pH, hal ini sulit untuk dideteksi oleh konsumen terutama dari fisik seperti perubahan warna yang tidak terlalu signifikan sehingga tidak dapat dideteksi dengan mata. Penyebab penurunan pH ini diakibatkan meningkatnya konsentrasi gas karbon dioksida akibat degradasi glukosa oleh mikroba. Oleh karena itu perlu dikembangkan indikator kesegaran yang sensitif terhadap perubahan gas karbon dioksida sehingga kualitas air kelapa muda dapat diketahui dengan jelas oleh konsumen.

I.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui proses pembuatan indikator kesegaran yang sensitif terhadap perubahan gas karbon dioksida.
2. Untuk mengetahui jenis indikator warna terbaik dalam pembuatan indikator kesegaran untuk memantau kualitas air kelapa muda.
3. Untuk mengetahui profil perubahan warna indikator kesegaran terhadap kualitas air kelapa muda selama penyimpanan.

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat membuat indikator kesegaran yang sensitif terhadap perubahan gas karbon dioksida ditandai dengan perubahan warna yang jelas dilihat dengan mata terutama untuk memantau kesegaran air kelapa muda sehingga dapat memudahkan konsumen.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kelapa (*Cocos nucifera* L.)

Kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan buah yang tergolong dalam famili *Arecaceae* dan banyak tumbuh pada wilayah tropikal seperti Asia Tenggara, Afrika dan Amerika Latin (Souza et al., 2020). Buah kelapa terdiri dari empat bagian yaitu 33% sekam (mesokarp), 16% tempurung (endokarp), 33% inti atau daging (edosperma), dan 18% air kelapa (Pandiselvam et al., 2020; G. Zhang et al., 2018). Diantara keempat bagian tersebut, bagian endosperma dan air merupakan bagian dari kelapa yang dapat dikonsumsi (Appaiah et al., 2015). Air kelapa memiliki berbagai kandungan gizi diantaranya gula, vitamin, mineral, protein, asam amino dan asam-asam organik. Kandungan gula yang tersedia dalam air kelapa yaitu glukosa, fruktosa dan sukrosa, kemudian untuk vitamin yaitu vitamin B1, vitamin B2 dan vitamin C (Awua et al., 2012). Mineral yang terdapat di air kelapa berupa natrium, kalium, kalsium, magnesium, fosfor dan besi, untuk asam amino terdiri atas lisin, leusin, sistein, tirosin, alanin dan arginin, dan untuk asam-asam organik terdapat asam sitrat, asam malat dan asam tartarat (Appaiah et al., 2015; Awua et al., 2012; Camargo Prado et al., 2015; Costa et al., 2015). Persentase kandungan gizi air kelapa dapat dilihat pada tabel 01. Beragamnya kandungan pada air kelapa membuat air kelapa memiliki berbagai manfaat bagi kesehatan tubuh seperti melindungi fungsi hati (heparprotektif), antidiabetes, mengontrol suhu tubuh ketika demam (antipiretik), dan mencegah tekanan darah tinggi (antihipertensi) (Jayasinghe et al., 2022).

Tabel 01. Kandungan Gizi Air Kelapa (Shubhashree. M.N & H, 2014; Souza et al., 2020)

Kandungan Gizi	Kadar
Air (%)	90,8
Protein (%)	0,9
Lemak (%)	1,4
Mineral (%)	0,6
Karbohidrat (%)	6,3
Energi (Kkal)	41
Ca (%)	0,02
P (%)	0,01
Fe (%)	0,9
Tiamin (%)	0,01
Niasin (%)	0,1
Vitamin C (%)	2

Karakteristik air kelapa adalah tidak berwarna, memiliki rasa manis serta sedikit rasa asam (Awua et al., 2012). Terdapat beberapa parameter kualitas yang menandakan kesegaran dari kelapa yaitu: total padatan terlarut, pH, total asam dan kekeruhan (Yin, 2016). Standar parameter kualitas tersebut dapat dilihat pada tabel 02. Air kelapa memiliki umur simpan yang singkat karena mudah mengalami kerusakan, kerusakan air kelapa dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti suhu dan kelembaban serta faktor internal yaitu kandungan air kelapa sendiri. Kandungan gizi air kelapa yang lengkap terutama dari gula dan mineral, membuat air kelapa mudah ditumbuhi oleh mikroba. Selain itu kerusakan pada air kelapa dapat disebabkan juga oleh enzim oksidoreduktase yaitu polifenol oksidase (PPO) dan peroksidase (POD) yang terdapat di dalam air kelapa. Kerusakan air kelapa ditandai dengan berubahnya warna dari yang

bening dan transparan menjadi keruh disertai adanya warna kekuningan, timbulnya rasa asam serta aroma yang tidak enak (Adubofuor et al., 2016; Intan Kailaku et al., 2017).

Tabel 02. Standar Parameter Kualitas Air Kelapa (Yin, 2016)

Parameter	Standar
Total Padatan Terlarut (°Brix)	5,5 – 8,0
pH	4,5 – 5,3
Total Asam (%)	0,07 – 0,09
Kekeruhan (NTU)	< 50

II.2 *Intelligent Packaging*

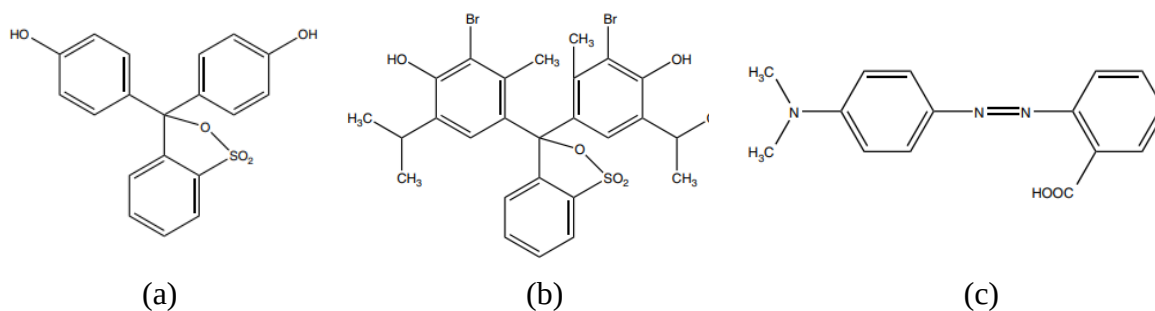
Intelligent packaging diterapkan dalam pengemasan pangan untuk memberikan mendeteksi dan memberikan informasi mengenai kualitas produk pangan yang dikemas kepada konsumen. Terdapat tiga jenis sistem *intelligent packaging* yang dapat diterapkan pada produk pangan yaitu: indikator, sensor, dan *data carriers* (Müller & Schmid, 2019). Indikator merupakan *intelligent packaging* yang dapat memberikan perubahan warna secara visual dengan jelas untuk memberikan informasi mengenai kualitas produk akibat terjadinya reaksi antar senyawa pada produk pangan maupun dengan kondisi lingkungan selama penyimpanan berlangsung. Indikator sebagai *intelligent packaging* dibedakan berdasarkan tempat penempatannya yaitu pada bagian luar kemasan (*Time-Temperature Indicator*) dan bagian dalam kemasan (*Freshness Indicator* dan *Gas Indicator*). *Freshness indicator* merupakan indikator berupa label yang dapat berubah warna saat kualitas produk pangan mulai menurun. Perubahan warna ini dapat terjadi akibat adanya akumulasi senyawa metabolit hasil degradasi dari produk pangan seperti asam-asam organik, glukosa, etanol, karbon dioksida, hidrogen sulfida dan senyawa basa yang mudah menguap (*Total Volatile Base Nitrogen*) yang berkumpul dalam kemasan sehingga *freshness indicator* yang berada di dalam kemasan dapat kontak langsung dan memberikan informasi kualitas dan umur simpan produk kepada konsumen (Müller & Schmid, 2019). Penelitian mengenai pembuatan *freshness indicator* dalam memantau kualitas produk pangan telah banyak dilakukan seperti pada produk udang (Kuswandi et al., 2012; Q. Ma et al., 2017), daging sapi (Dirpan & Hidayat, 2023), ikan (Sani et al., 2021) dan buah (Kim et al., 2018; Kuswandi & Murdyaningsih, 2017; Noiwan et al., 2022).

Proses pembuatan *film* indikator *intelligent packaging* menggunakan metode *casting solution* yaitu diawali dengan melarutkan biopolimer menggunakan pelarut seperti akuades, etanol ataupun campuran keduanya. Kemudian dilanjutkan menambahkan *plasticizer* dan larutan indikator warna serta mengatur pH dan suhu yang digunakan untuk meningkatkan kelarutan dari biopolimer. Larutan film yang telah homogen, kemudian dicetak dan dikeringkan (Cazón et al., 2017). Bahan utama yang digunakan adalah biopolimer seperti polisakarida, protein dan lemak, penggunaan biopolimer ini memiliki sifat yang ramah lingkungan, mudah diperoleh, tidak beracun, harga yang terjangkau dan memiliki sifat-sifat spesifik seperti plastik yaitu kemampuan penghalang gas yang baik. Salah satu biopolimer yang banyak digunakan adalah polisakarida selulosa khususnya metil selulosa, metil selulosa termasuk dalam turunan selulosa yang sudah dimodifikasi secara kimia dengan menggunakan agen metilasi seperti metil klorida (CH_3Cl) ataupun dimetil sulfat $[(\text{CH}_3\text{O})_2\text{SO}_2]$ (Seddiqi et al., 2021). Metil selulosa sebagai biopolimer dalam pembuatan *film* indikator dapat menghasilkan indikator yang

transparan, fleksibel dan memiliki kemampuan penghalang yang baik terhadap gas O₂ dan CO₂ serta lemak (Cazón et al., 2017; Romão et al., 2022). Sifat *film* indikator yang dihasilkan dari metil selulosa memiliki kekurangan yaitu mudah rapuh, oleh karena itu perlu ditambahkan *plasticizer*. *Plasticizer* digunakan dalam pembuatan *film* indikator *intelligent packaging* dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti fleksibilitas dan kekuatan *film* sehingga tidak mudah putus. Hal ini disebabkan karena kohesi pada biopolimer menurun akibat melemahnya gaya intermolekuler pada rantai polimer yang saling berdekatan (Kamaruddin et al., 2021). Polietilen glikol merupakan *plasticizer* yang umum digunakan dalam pembuatan *intelligent packaging* dengan metil selulosa sebagai komponen biopolimer seperti pada penelitian (Chen et al., 2018, 2019; Noiwan et al., 2022; Obaidi et al., 2022). Polietilen glikol termasuk dalam *plasticizer* yang memiliki karakteristik hidrofilik sehingga dapat meningkatkan permeabilitas air dan mempertahankan matriks *film* pada kondisi lingkungan yang lembab (Paixão et al., 2019).

II.3 Indikator Warna

Indikator warna merupakan indikator yang peka dan sensitif terhadap perubahan pH, gas dan aktivitas mikroba yang ditandai dengan terjadinya perubahan warna sesuai dengan kondisi asam maupun basa. Tingkat sensitif ini menjadikan indikator warna sebagai salah satu bahan yang ideal untuk memantau kondisi bahan pangan baik itu basa akibat senyawa (NH₃) ataupun asam akibat senyawa (CO₂) (Y. Zhang & Lim, 2018). Perubahan warna yang terjadi pada indikator warna dapat disebabkan oleh interaksi antar molekul asam-basa lewis dan lowry, ikatan hidrogen, dipolar serta ikatan π - π antara sampel dengan indikator (Lagasse et al., 2014). Terdapat beberapa indikator warna yang digunakan dalam pembuatan label indikator seperti *phenol red*, *bromothymol blue*, *methyl red*, *bromocresol green*, *bromophenol blue* dan *chlorophenol red* (Shaik et al., 2022). *Phenol red* merupakan indikator warna yang termasuk dalam kelompok *sulfonephthalein* dengan rumus kimia C₁₉H₁₄O₅S. Indikator ini memiliki dua perubahan warna yaitu kuning pada kondisi asam dan merah pada kondisi basa, dengan trayek pH 6,4 – 8,0 yang memiliki nilai pK_a 7,4 (Y. Zhang & Lim, 2018). *Bromothymol blue* termasuk indikator warna kelompok *sulfonephthalein* dengan rumus kimia C₂₇H₂₈Br₂O₅S. Indikator ini akan berwarna kuning pada kondisi asam dan berwarna biru pada saat kondisi basa, trayek pH dari indikator ini adalah 6,0 – 7,6 dengan nilai pK_a 7,1 (Obaidi et al., 2022). *Methyl red* merupakan indikator warna yang memiliki rumus kimia C₁₅H₁₅N₃O₂ dan termasuk kelompok azo. Trayek pH dari indikator *methyl red* adalah 4,4 – 6,2 dengan nilai pK_a 4,95 yang ditunjukkan perubahan warna dari merah menuju kuning (Y. Zhang & Lim, 2018). Struktur dari ketiga indikator dapat dilihat pada gambar 01.

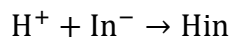
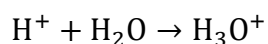
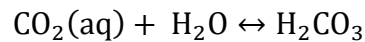
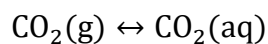
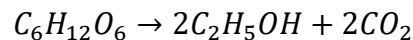
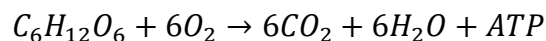


Gambar 01 Struktur Kimia Indikator Warna
(a) *Phenol Red*, (b) *Bromothymol Blue*, (c) *Methyl Red*

II.4 Konsep Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida merupakan gas tidak berwarna dan berbau hasil dari aktivitas mikroorganisme. Karbon dioksida ini dapat terbentuk dari bahan pangan selama penyimpanan akibat degradasi ataupun proses fermentasi senyawa-senyawa makromolekul seperti karbohidrat dan protein (Shao et al., 2021). Komponen karbohidrat khususnya glukosa yang terdapat pada bahan pangan menjadi salah satu penyebab kerusakan karena menjadi media pertumbuhan yang optimal bagi mikroorganisme (Shaik et al., 2022). Pembentukan gas karbon dioksida dari glukosa dapat melalui proses respirasi aerob dan fermentasi anaerob. Glukosa yang berinteraksi dengan gas oksigen akan membentuk gas karbon dioksida, uap air dan energi berupa ATP. Kondisi fermentasi anaerob tanpa adanya oksigen akan membuat glukosa terpecah menjadi gas karbon dioksida serta etanol (Shankar et al., 2021).

Karbon dioksida termasuk gas yang bersifat asam sehingga dapat menurunkan pH, terjadinya penurunan pH ini dapat mempercepat kerusakan dan umur simpan produk pangan (Shao et al., 2021). Karbon dioksida (CO₂) yang terlepas dari bahan pangan menuju *headspace* kemasan dapat berinteraksi dengan air yang ditimbulkan dari adanya kelembaban selama penyimpanan. Hal ini akan menyebabkan terbentuknya senyawa asam karbonat (H₂CO₃) yang termasuk dalam asam lemah. Asam karbonat merupakan senyawa diprotik yang memiliki dua atom hidrogen sehingga dapat terdisosiasi menjadi ion bikarbonat (HCO₃⁻) dan ion hidrogen (H⁺), ion hidrogen yang dihasilkan ini dapat menyebabkan kondisi asam pada kemasan ketika berinteraksi dengan air karena akan membentuk ion hidronium (H₃O⁺) yang merupakan proton sehingga dapat merubah warna dari indikator (Noiwan et al., 2022; Yousefi et al., 2019).



Gambar 02. Reaksi Pembentukan Gas Karbon Dioksida