



**PENGEMBANGAN SENSOR UNTUK PENENTUAN KESEGERAN  
BUAH APEL BERBASIS INDIKATOR *METHYL ORANGE* DAN  
*BROMOPHENOL BLUE***

**SKRIPSI**

Oleh:

**Lili Izamaatin Rosidah**

**NIM 122210101012**

**FAKULTAS FARMASI  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**PENGEMBANGAN SENSOR UNTUK PENENTUAN KESEGARAN BUAH  
APEL BERBASIS INDIKATOR *METHYL ORANGE* DAN  
*BROMOPHENOL BLUE***

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Farmasi  
dan mencapai gelar Sarjana Farmasi

Oleh:

**Lili Izamaatin Rosidah**

**NIM 122210101012**

**FAKULTAS FARMASI  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayah dan ibu yang tercinta, Bapak Sukarto, SE. dan Ibu Isti Rufaidah atas segala cinta dan kasih sayang, perhatian, pengertian, kesabaran, dan doa yang tiada putusnya;
2. Adik-adik yang tersayang, Alfian Khoirul Iswanto dan Kafa Maghfurin Ramadhan yang selalu menghadirkan motivasi dan semangat;
3. Para guru, dosen, dan pendidik yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang amat berharga sejak Taman Kanak-Kanak sampai dengan Perguruan Tinggi;
4. Almamater Fakultas Farmasi Universitas Jember.

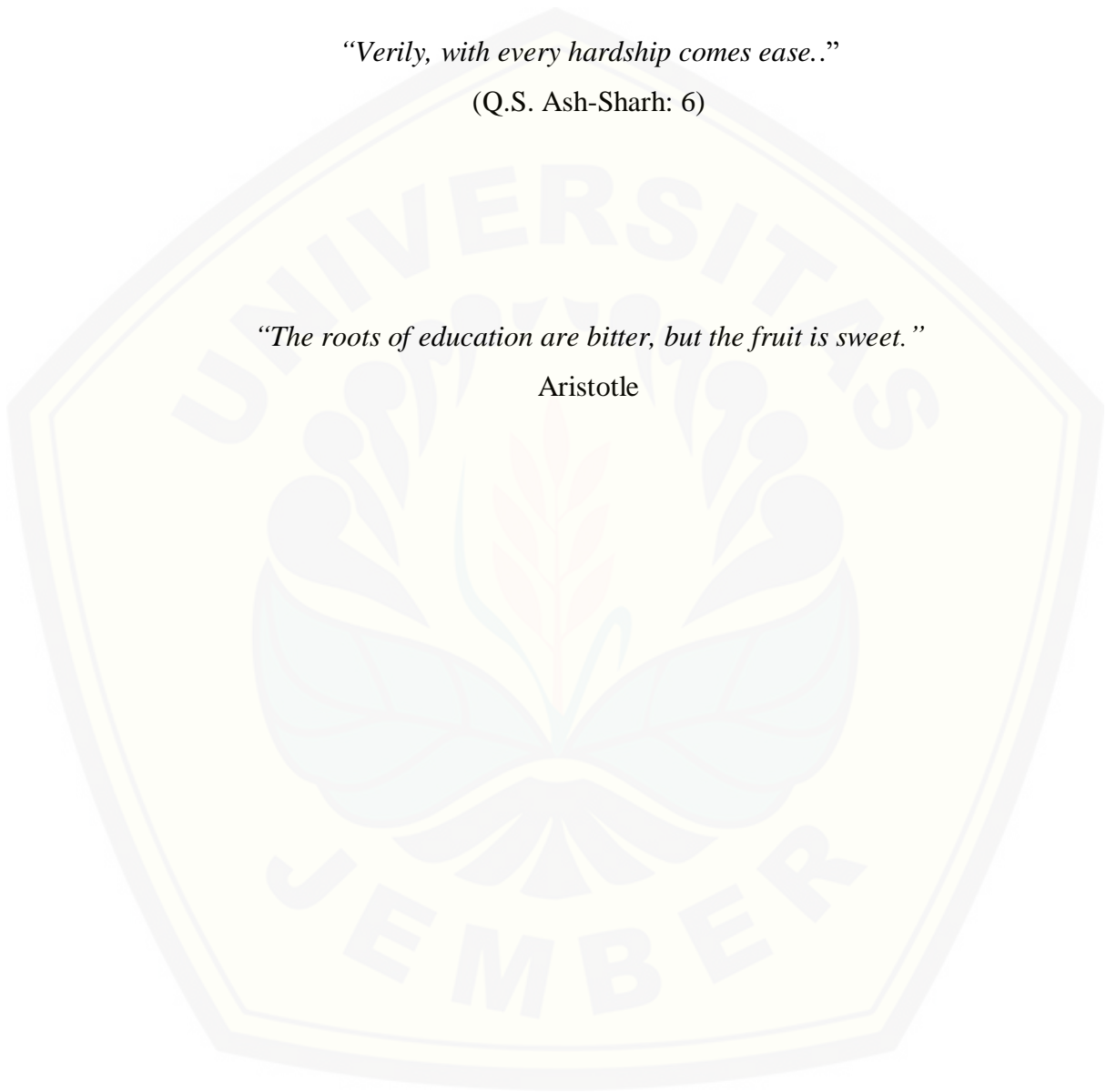
**MOTTO**

*“Verily, with every hardship comes ease..”*

(Q.S. Ash-Sharh: 6)

*“The roots of education are bitter, but the fruit is sweet.”*

Aristotle



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Lili Izamaatin Rosidah

NIM : 122210101012

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Pengembangan Sensor untuk Penentuan Kesegaran Buah Apel Berbasis Indikator *Methyl Orange* dan *Bromophenol Blue*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Juni 2020

Yang menyatakan,

Lili Izamaatin Rosidah

NIM 122210101012

**SKRIPSI**

**PENGEMBANGAN SENSOR UNTUK PENENTUAN KESEGARAN BUAH  
APEL BERBASIS INDIKATOR *METHYL ORANGE* DAN  
*BROMOPHENOL BLUE***

Oleh:

Lili Izamaatin Rosidah

NIM 122210101012

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Drs. Bambang Kuswandi, M. Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Nia Kristiningrum, S. Farm., Apt.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengembangan Sensor untuk Penentuan Kesegaran Buah Apel Berbasis Indikator *Methyl Orange* dan *Bromophenol Blue*” karya Lili Izamaatin Rosidah telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 22 Juli 2020

tempat : Fakultas Farmasi Universitas Jember

**Tim Pembimbing**

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Prof. Drs. Bambang Kuswandi, M.Sc., Ph.D  
NIP. 196902011994031002

Nia Kristiningrum, S.Farm., M.Farm., Apt.  
NIP. 198504282009121004

**Tim Penguji**

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm  
NIP. 1976041422002122001

Ari Satia N., S.F., Gdip.Sc-res., Apt., Ph.D  
NIP. 197807212003121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember,

Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm  
NIP. 1976041422002122001



## RINGKASAN

**Pengembangan Sensor untuk Penentuan Kesegaran Buah Apel Berbasis Indikator *Methyl Orange* dan *Bromophenol Blue*:** Lili Izamaatin Rosidah: 122210101012; 2020; 75 Halaman; Fakultas Farmasi, Universitas Jember

Apel merupakan salah satu buah dengan nilai impor tertinggi dibandingkan dengan buah-buahan lainnya, serta memiliki kandungan gizi dan banyak manfaat yang di antaranya sebagai penurun kolesterol dalam darah, penurun tekanan darah, penstabil gula darah, dan agen anti kanker. Buah apel pasca panen masih melakukan proses metabolisme menggunakan cadangan makanan yang terdapat dalam buah yang dapat mengurangi nilai kandungan gizinya. Kerusakan yang terjadi pada penanganan pascapanen selama proses pengangkutan dan penyimpanan mengakibatkan umur simpan buah apel menjadi relatif singkat.

Keasaman buah yang dapat diterima untuk buah apel (*dessert apples*) memiliki rentang nilai yaitu pada pH 3,1 – 3,7 dan /atau TA 3,0 – 10,0 mg/ml. Buah apel dengan pH lebih rendah dari 3,1 dan TA lebih tinggi dari 10,0 mg/ml terlalu asam, sedangkan dengan pH lebih tinggi dari 3,8 dan TA lebih rendah dari 3,0 mg/ml akan terasa hambar (*flat*) atau tanpa rasa (*flavorless*). Buah apel pada peningkatan pH 4,8 pada jaringan mesoderm sehat hingga pada pH 5,8 jaringan mesoderm mengalami pembusukan dekat pada inti buah apel oleh fungi yang mengalkalisasi jaringan pada buah, selain itu pembusukan disebabkan oleh rendahnya kandungan asam malat dan asam fumarat selama periode pertumbuhan dan perkembangan, serta perubahan total konsentrasi komponen *volatile* pada masa penyimpanan.

Metode pada penelitian ini mengamati tingkat kesegaran buah apel pada kemasan yaitu menggunakan sensor kesegaran. Prinsip dari sensor kesegaran tersebut yaitu perubahan warna pada pH yang dihasilkan interaksi antara pewarna yang sensitif pH terhadap *volatile* dalam kemasan. Indikator yang digunakan yaitu indikator pH *methyl orange* (MO) berubah dari warna merah menjadi kuning dengan rentang pH 3,0 – 6,3 dan *bromophenol blue* (BPB) memiliki pH 3,0 (berwarna kuning) dan pH 4,6 (berwarna biru). Parameter – parameter tingkat



kesegaran buah apel meliputi evaluasi sensori (warna, tekstur, dan bau), susut berat, dan pH. Dari parameter tersebut dikaitkan dengan perubahan warna dari sensor kesegaran sehingga dapat ditentukan perubahan kualitas buah apel dalam kemasan yang disimpan dalam suhu ruang dan *chiller*.

Hasil penelitian dilihat dari tingkat kesegaran buah apel dan perubahan warna pada sensor kesegaran selama penyimpanan pada suhu ruang dan *chiller*. Buah apel yang disimpan pada suhu ruang selama 14 hari mulai menunjukkan kondisi tidak segar pada hari ke-9 disertai perubahan warna indikator sensor *methyl orange* menjadi kuning dan *bromophenol blue* menjadi biru keunguan, dengan nilai rata-rata kesegaran 32,67, susut berat 1,93%, dan pH 4,64. Pada suhu *chiller* buah apel disimpan selama 14 hari telah menunjukkan kondisi tidak segar pada hari ke-12 dengan perubahan warna sensor kesegaran yang sama seperti pada suhu ruang dengan nilai rata-rata kesegaran 51,33, susut berat 1,04%, dan pH 4,65.

Hubungan tingkat kesegaran buah apel dengan laju perubahan warna indikator sensor menghasilkan hasil yang positif. Laju perubahan warna sensor indikator *methyl orange* masing-masing pada suhu ruang dan *chiller* yaitu 0,3468/hari dan 0,3599/hari, sedangkan indikator *bromophenol blue* masing-masing pada suhu ruang dan suhu *chiller* yaitu 2,4361/hari dan 1,5381/hari. Laju perubahan warna indikator sensor pada suhu ruang lebih cepat daripada penyimpanan pada suhu *chiller*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin cepat laju perubahan warna indikator sensor maka semakin menurun kualitas buah apel pada kemasan sehingga buah tidak layak untuk dikonsumsi.

## PRAKATA

Alhamdulillahirabbil'alamin atas segala limpahan rahmat, karunia serta kekuatan yang telah diberikan Allah SWT sehingga atas izin-Nya pula penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengembangan Sensor untuk Penentuan Kesegaran Buah Apel Berbasis Indikator *Methyl Orange* dan *Bromophenol Blue*”. Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Farmasi di Fakultas Farmasi Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini berkat campur tangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

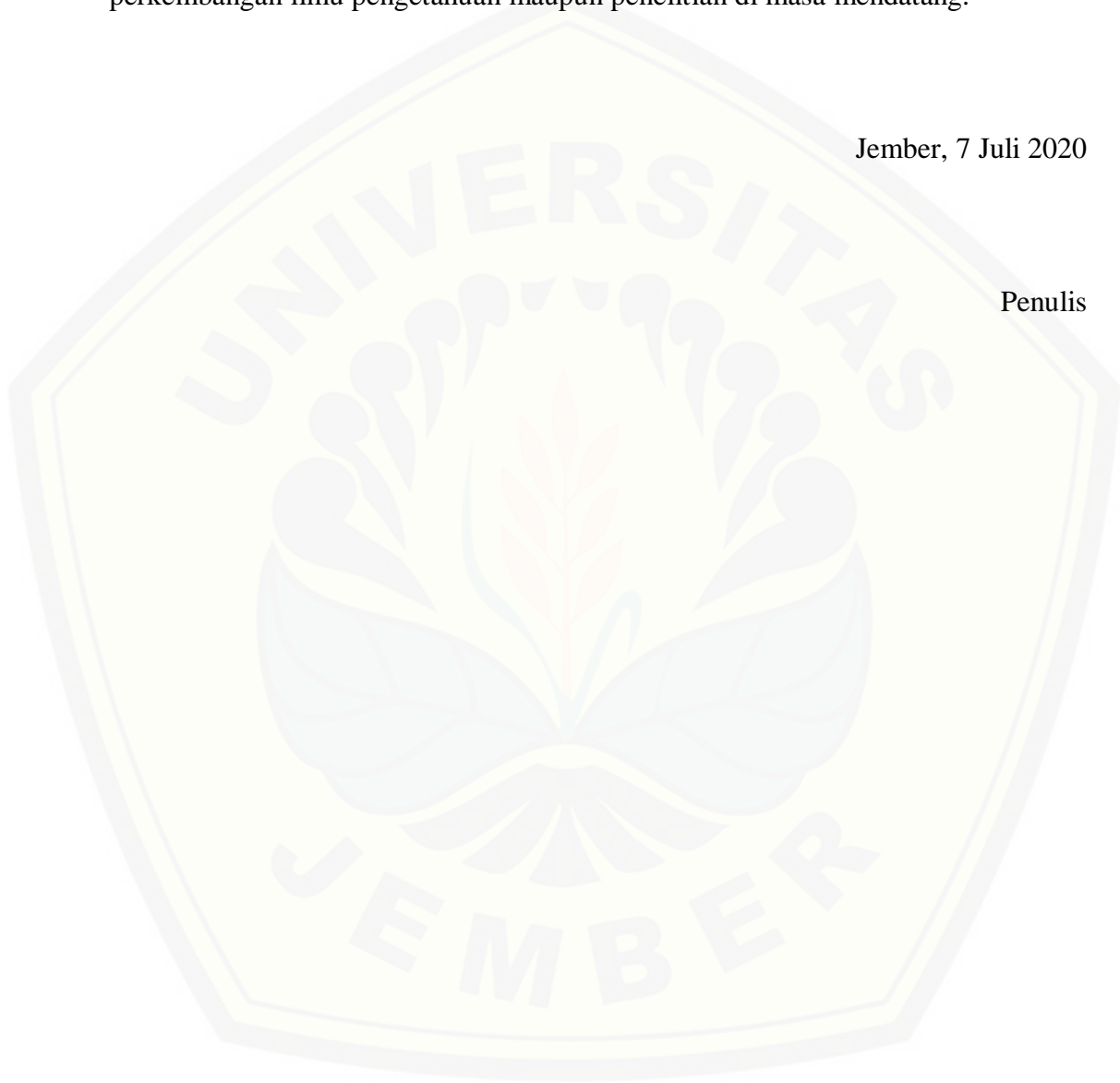
1. Ayahanda Sukarto, SE. dan Ibunda Isti Rufaidah tercinta yang telah menjadi orang tua terbaik, yang selalu memberikan banyak motivasi dan nasihat, yang tiada lelah memberikan cinta, perhatian, kasih sayang, serta doa yang tiada henti di setiap langkah penulis;
2. Ibu Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm. selaku Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember, Ibu Diana Holiday, SF., M.Farm., Apt. selaku Wakil Dekan I;
3. Bapak Prof. Drs. Bambang Kuswandi, M. Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ibu Nia Kristiningrum, S.Farm., M.Farm., Apt. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga serta perhatiannya untuk memberikan ilmu, bimbingan, dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
4. Ibu Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm. dan Bapak Ari Satia Nugraha, S.F., Gdipsc., Msc-Res., Ph.D., Apt. selaku Dosen Penguji yang telah berkenan untuk menguji skripsi ini dan memberikan masukan serta saran untuk pengembangan diri penulis dan skripsi ini;
5. Bapak Nuri, S.Si., M.Si., Apt. dan Ibu Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm dan selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing dalam masalah perkuliahan penulis;

6. Seluruh Dosen Fakultas Farmasi Universitas Jember yang telah mengajarkan ilmu pengetahuan yang berguna dalam menyelesaikan skripsi;
7. Pimpinan dan para Karyawan Fakultas Farmasi Universitas Jember atas bantuannya selama belajar di Fakultas Farmasi Universitas Jember;
8. Teknisi Lab. Kimia Fakultas Farmasi Universitas Jember, Bu Wayan dan Mbak Hani atas bantuannya selama penelitian berlangsung;
9. Bu Ketut selaku teknisi Lab. Kimia dan Biokimia Fakultas Teknologi Pertanian telah memberikan bantuan dalam melakukan penelitian;
10. Adik-adikku, Alfian Khoirul Iswanto dan Kafa Maghfurin Ramadhan terima kasih atas doa, canda tawa dan semangat serta motivasi yang selalu dihadirkan;
11. Saudara dan sahabat tersayang, drg. Bestarika, drg. Putri, drg. Kartika, dr. Vita, Putri, S.Psi, Gilang, S.Farm, Nanda S.Farm., Apt., Zaza, S.Farm., Adhe, S.Farm., Apt., Aisma, S.Farm., Apt., Lia, S.Farm., Farida., S.Farm., Septa, Lufianna, Budi, Brian untuk semua keceriaan, dukungan, canda tawa, semangat, dan motivasi di masa-masa sulit penyusunan skripsi ini;
12. Keluarga besar Petrok Rolas FF UJ Angkatan 2012 atas kekeluargaan, persaudaraan, dan pengalaman yang indah ini;
13. Serta untuk setiap nama yang tidak dapat tertulis satu persatu, dan untuk seluruh doa yang terucap tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang turut berbahagia atas keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Tentunya, penyusunan dan penulisan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan karya tulis ilmiah ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya baik bagi perkembangan ilmu pengetahuan maupun penelitian di masa mendatang.

Jember, 7 Juli 2020

Penulis



**DAFTAR ISI**

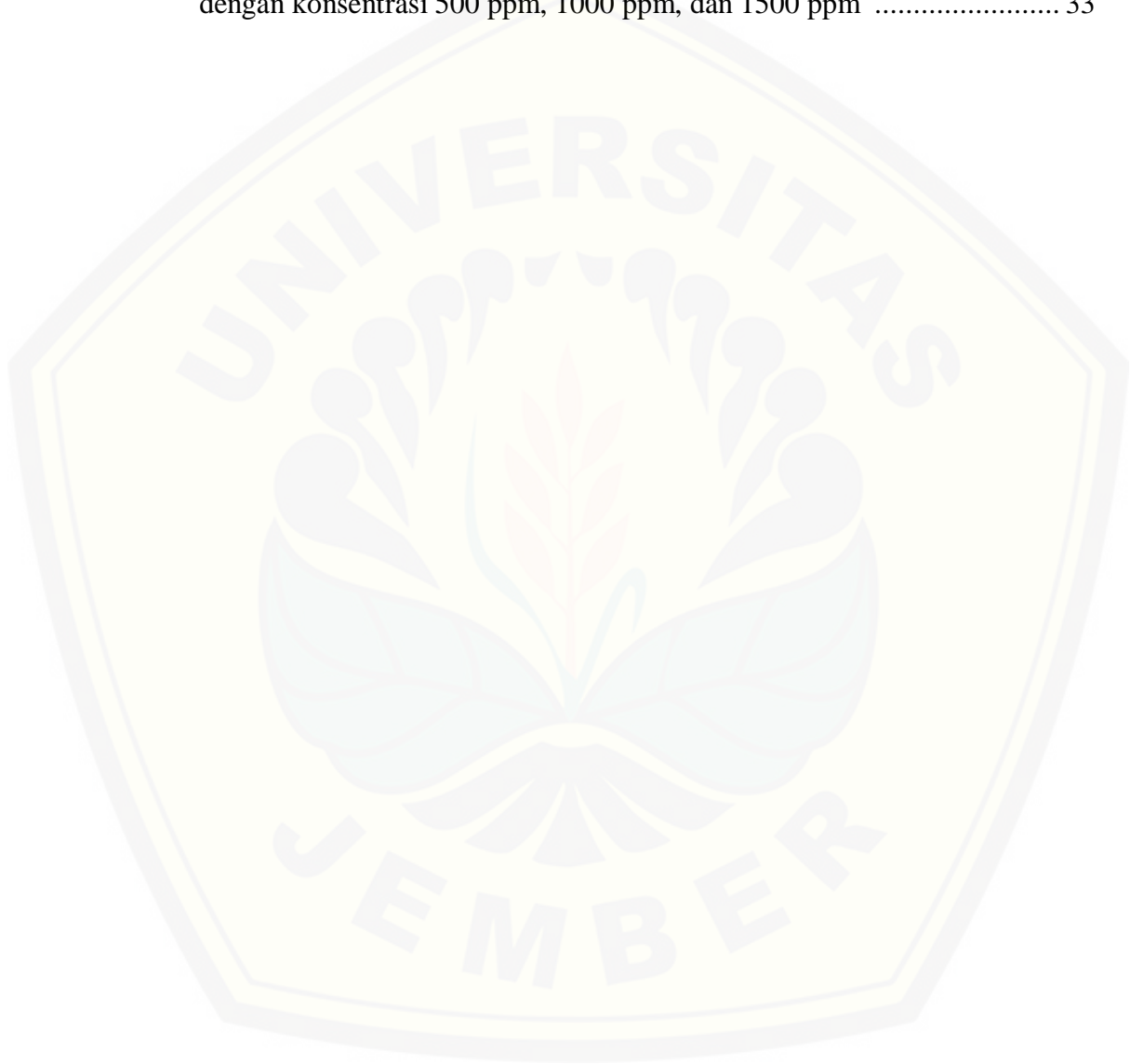
	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	i
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN BIMBINGAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	ix
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Umum Buah Apel.....	5
2.2 Tinjauan Karakteristik Fisiologi Alami Pasca Panen.....	10
2.3 Pengemasan .....	15
2.4 Sensor .....	17
2.5 Indikator Asam Basa .....	21
2.6 ImageJ.....	23
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Jenis Penelitian.....	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.3 Variabel Penelitian .....	25
3.4 Alat dan Bahan.....	26
3.5 Diagram Alur Penelitian .....	27

3.6	Rancangan Sensor Kesegaran .....	28
3.7	Prosedur Penelitian.....	29
3.8	Prosedur Analisa .....	31
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1	Penentuan Konsentrasi Indikator pH sebagai Sensor Kesegaran .....	33
4.2	Sensor Kesegaran Buah Apel .....	35
4.3	Kesegaran Buah Apel pada Penyimpanan Suhu Ruang .....	37
4.4	Kesegaran Buah Apel pada Penyimpanan Suhu <i>Chiller</i> .....	43
BAB 5.	KESIMPULAN.....	51
5.1	Kesimpulan .....	51
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	.....	53
LAMPIRAN	.....	58



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Kandungan nutrisi buah apel/ 100g.....	8
2.2 Kerusakan fisiologis buah apel .....	11
4.1 Selisih <i>mean RGB methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> pH 3 dan 4,5 dengan konsentrasi 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm .....	33





**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1	Buah apel ( <i>Malus sylvestris Mill.</i> ) ..... 5
2.2	Skema jalur katabolik untuk menghasilkan energi ..... 13
2.3	<i>Tray packaging</i> buah tomat tomat dalam <i>stretch film</i> ..... 16
2.4	Aplikasi kemasan pintar ( <i>intelligent packaging</i> ) pada produk ..... 17
2.5	Skema sensor kimia ..... 18
2.6	Metode adsorpsi ..... 18
2.7	Metode pembentukan ikatan kovalen ..... 19
2.8	Metode <i>entrapment</i> ..... 19
2.9	Metode enkapsulasi ..... 20
2.10	Metode <i>cross-linking</i> ..... 20
2.11	Struktur <i>Methyl orange</i> ..... 22
2.12	Struktur mono- dan dianion <i>Bromophenol blue</i> ..... 23
2.13	<i>ImageJ Window</i> ..... 24
3.1	Diagram alur penelitian aplikasi dan karakterisasi sensor kesegaran buah apel ..... 27
3.2	<i>Design</i> / rancangan sensor kesegaran buah apel ..... 28
4.1	Perubahan warna indikator <i>methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> dengan konsentrasi uji 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm, a) sampel buah apel kondisi segar, b) sampel buah apel kondisi masih segar, c) sampel buah apel kondisi tidak segar ..... 34
4.2	<i>Design</i> sensor kesegaran buah apel ..... 35
4.3	Aplikasi sensor kesegaran berbasis indikator pH <i>methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> dalam 3 kondisi; A. Segar, B. Masih segar, dan C. Tidak segar ..... 36
4.4	Intensitas warna sensor kesegaran pada penyimpanan suhu ruang selama 14 hari. a) <i>methyl orange</i> b) <i>bromophenol blue</i> ..... 37
4.5	Grafik laju perubahan intensitas sensor kesegaran <i>methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> pada penyimpanan suhu ruang selama 14 hari ..... 38
4.6	Grafik hubungan kesegaran buah apel terhadap intensitas warna membran pada penyimpanan suhu ruang ..... 40
4.7	Hubungan <i>mean RGB methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> dengan susut berat buah apel pada suhu ruang selama 14 hari ..... 41

4.8	Hubungan <i>mean RGB methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> dengan pH buah apel pada suhu ruang selama 14 hari .....	42
4.9	Intensitas warna sensor kesegaran pada penyimpanan suhu <i>chiller</i> selama 14 hari. a) <i>methyl orange</i> b) <i>bromophenol blue</i> .....	43
4.10	Grafik laju perubahan <i>mean RGB</i> sensor kesegaran <i>methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> pada penyimpanan suhu <i>chiller</i> selama 14 hari .....	44
4.11	Grafik hubungan kesegaran buah apel terhadap intensitas warna indikator kesegaran pada penyimpanan suhu <i>chiller</i> .....	46
4.12	Hubungan <i>mean RGB methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> dengan susut berat buah apel pada suhu <i>chiller</i> selama 14 hari .....	47
4.13	Hubungan <i>mean RGB methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> dengan pH buah apel pada suhu <i>chiller</i> selama 14 hari .....	48
4.14	Design sensor kesegaran buah apel (a) <i>design</i> awal (b) <i>design</i> perubahan dengan penyesuaian warna pembanding pada masing-masing kondisi kesegaran buah apel.....	49
4.15	Aplikasi sensor kesegaran berbasis indikator pH <i>methyl orange</i> dan <i>bromophenol blue</i> dengan perubahan design dalam 3 kondisi; A. Segar, B. Masih segar, dan C. Tidak segar .....	50

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. TABEL SKOR UJI SENSORI (ORGANOLEPTIS) PANELIS BUAH APEL.....	58
B. HASIL UJI SENSORI (SKALA HEDONIK).....	60
C. OPTIMASI KONSENTRASI INDIKATOR PH SEBAGAI SENSOR KESEGARAN .....	62
D. DATA PERUBAHAN WARNA SENSOR KESEGARAN <i>METHYL ORANGE</i> DAN <i>BROMOPHENOL BLUE</i> .....	64
E. DATA SUSUT BERAT .....	67
F. DATA UJI pH.....	69
G. TABEL PERBANDINGAN INTENSITAS WARNA SENSOR DENGAN PARAMETER UJI.....	70`

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Komoditas buah – buahan merupakan komoditas hortikultura yang memberikan kontribusi paling besar yaitu sebesar 50,64% terhadap total Produk Domestik Bruto (PDB) hortikultura di Indonesia. Dalam perkembangannya kontribusi komoditas buah – buahan cenderung mengalami peningkatan setiap tahunnya (Direktorat Jenderal Hortikultura, 2009). Kesadaran masyarakat akan manfaat dari komoditas ini menyebabkan permintaan buah – buahan nasional mengalami peningkatan. Peningkatan konsumsi buah – buahan ini menyebabkan tingkat ketersediaan komoditas buah tidak hanya ditunjang oleh hasil produksi dalam negeri tetapi juga produksi luar negeri melalui impor.

Apel merupakan salah satu buah dengan nilai impor tertinggi dibandingkan dengan buah– buahan lainnya, yaitu dengan rata–rata peningkatan nilai impor sebesar 6,39% setiap tahunnya (Ditjen Hortikultura, 2009). Nilai impor apel yang tinggi mengindikasikan bahwa permintaan apel di pasar domestik sangat besar sedangkan jumlah apel yang berkualitas baik masih kurang. Tingkat produksi apel pada tahun 2016 dan 2017 mengalami penurunan sebesar 3,27% yaitu sebesar 10.777 ton dengan total produksi masing-masing sebesar 329.781 ton dan sebesar 319.004 ton (Badan Pusat Statistik, 2018).

Buah apel mempunyai banyak manfaat, antara lain sebagai penurun kolesterol dalam darah, penurun tekanan darah, penstabil gula darah, agen anti kanker, dan buah andalan bagi yang sedang menjalankan diet menurunkan berat badan. Jenis buah apel yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah *Rome Beauty*, *Manalagi*, *Anna*, *Princess Noble*, *Wanglir/Lali Jiwo*, dan *Apel Malang*. Kandungan gizi yang beragam pada buah apel (dalam 100 gram) antara lain, energi 58,00 kal, karbohidrat 14,90 gram, kalsium 6,00 mg, fosfor 10,00 mg, besi 1,30 mg, serat 0,70 mg, vitamin A 24,00 rpe, dan lainnya (Bambang, 1997; Wirakusumah, 1995; Margantan, 2001).

Menurut Tawali dan Zainal (2004), buah apel (*Malus sylvestris Mill*) merupakan buah yang mudah rusak sehingga umur simpannya relatif singkat. Kerusakan buah apel ini biasanya terjadi pada penanganan pascapanen selama proses pengangkutan dan penyimpanan. Saat pasca panen, buah masih melakukan proses metabolisme menggunakan cadangan makanan yang terdapat dalam buah. Berkurangnya cadangan makanan tersebut tidak dapat digantikan karena buah sudah terpisah dari pohonnya, sehingga mempercepat proses hilangnya nilai gizi. Difusi gas ke dalam dan luar buah yang terjadi melalui lentisel yang tersebar di permukaan buah juga dapat berpengaruh pada tingkat kerusakan buah. Selain itu, kerusakan secara mekanis pada buah akan mempercepat laju respirasi sehingga akan mempengaruhi kandungan secara kimiawi (Sudjatha *et al.*, 2017).

Salah satu solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan cara pengemasan yang optimal. Kemasan merupakan suatu tempat yang memberikan perlindungan dalam mencegah maupun mengurangi kerusakan, melindungi buah dari pencemaran, serangan patogen dan gangguan fisik akibat gesekan, benturan dan getaran, serta akan memudahkan dalam kegiatan distribusi dan penyimpanan (Dwiari *et al.*, 2008). Fungsi kemasan tidak hanya berkontribusi pada perlindungan produk, namun perlu ditingkatkan fungsinya terutama untuk meminimalkan penggunaan pengawet, meningkatkan pemenuhan regulasi pangan, pemenuhan pasar global, dan pemberian informasi keamanan dan kualitas dalam mengkonsumsi produk (Yam *et al.*, 2005).

Perubahan kesegaran buah dapat terjadi dikarenakan perubahan pH menjadi semakin asam yang merupakan hasil dari aktivitas metabolisme dari buah apel. Perubahan pH berkaitan dengan gugus asam *volatile* yang diproduksi oleh buah. Konsentrasi total komponen *volatile* meningkat seiring dengan periode penyimpanan dikarenakan adanya komponen hasil metabolit seperti golongan ester, alkohol, dan asam. Perubahan profil *volatile* ini merupakan faktor utama yang berkontribusi selama penyimpanan, sehingga dapat dijadikan tolak ukur terhadap kesegaran buah dalam kemasan.

Secara umum, masyarakat menilai tingkat kesegaran buah berdasarkan warna, kekerasan, dan tekstur buahnya. Untuk mendapatkan informasi tingkat



kualitas kesegaran buah apel pada daging buah dan keseluruhan buah apel diperlukan pendeteksi yang mampu memberikan informasi secara efisien dan efektif. Jenis pendeteksi perubahan yang digunakan pada buah apel adalah sensor yang dapat memproduksi sinyal, yaitu dengan memberikan perubahan warna. Sensor dibuat dengan mengimobilisasi indikator warna yang terpilih untuk memenuhi spesifikasi kesesuaian rentang pH indikator warna dengan nilai pH atmosfer buah apel. pH buah apel segar yaitu pada pH 3,5 – 4, sehingga reagen yang dipilih dan sesuai dengan pH buah apel yaitu indikator *methyl orange* yang memiliki rentang pH perubahan warna antara pH 3,1 - 4,4 dan indikator *bromophenol blue* dengan rentang pH perubahan warna antara pH 3 - 4,6.

Adanya kemasan pintar dengan sensor melalui indikator pH akan memudahkan konsumen untuk memperoleh buah apel dengan tingkat kesegaran terjamin dan manfaat serta gizi yang diharapkan. Pengembangan sensor dengan indikator berupa *methyl orange* dan *bromophenol blue* diaplikasikan untuk mendeteksi peningkatan tingkat keasaman sebagai kemasan pintar pada buah apel.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang masalah memberikan dasar bagi peneliti untuk merumuskan pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut:

1. Berapakah konsentrasi dan pH kerja optimum indikator yang digunakan pada fabrikasi sensor kesegaran buah apel menggunakan *dual* membran *methyl orange* dan *bromophenol blue*?
2. Bagaimakah hubungan perubahan warna membran *methyl orange* dan *bromophenol blue* terhadap perubahan susut berat, kekerasan, pH, dan total padatan terlarut sebagai sensor kesegaran buah apel?
3. Bagaimanakah aplikasi membran *methyl orange* dan *bromophenol blue* sebagai sensor kesegaran buah apel?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan konsentrasi dan pH kerja optimum indikator pada fabrikasi sensor kesegaran buah apel menggunakan *dual* membran *methyl orange* dan *bromophenol blue*.
2. Mengetahui hubungan perubahan warna membran *methyl orange* dan *bromophenol blue* terhadap perubahan susut berat, kekerasan, pH, dan total padatan terlarut sebagai sensor kesegaran buah apel.
3. Mengetahui aplikasi membran *methyl orange* dan *bromophenol blue* sebagai sensor kesegaran buah apel.

### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Pengembangan teknologi kemasan pintar sebagai sensor kimia dan biosensor untuk deteksi kesegaran pada buah apel.
2. Konsumen dapat mengetahui kesegaran buah tanpa harus membuka kemasan.
3. Konsumen dapat lebih aman dan terlindungi dalam mengkonsumsi buah apel dalam kemasan pintar.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Umum Buah Apel

#### 2.1.1 Taksonomi Buah Apel

Menurut Wolfe (2003), dalam tata nama atau sistematika (taksonomi) tumbuhan buah apel, diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Rosales
Famili	: Rosaceae
Genus	: Malus
Spesies	: <i>Malus sylvestris mill.</i>



Gambar 2.1 Buah apel (*Malus sylvestris Mill.*)

#### 2.1.2 Komposisi dan Kandungan Nutrisi Buah Apel

##### a. Senyawa fenolik

Senyawa fenolik diproduksi oleh metabolit sekunder pada semua tanaman. Senyawa tersebut berada pada kisaran luas yang mengandung cincin aromatik dengan maupun tanpa substituen hidroksil lainnya (Antolovich, 2000). Bahan-bahan tersebut berasal dari jalur sikimat dan kemudian metabolisme fenilpropanoid. Pembagian klasifikasi komponen

fenolik pada polifenol atau fenol sederhana berdasarkan pada jumlah sub unit fenol yang hadir. Fenolik tumbuhan termasuk fenol sederhana yang mengandung satu fenol, asam fenolik termasuk derivat benzoat dan asam sinamat, flavonoid, tannin, lignan, dan lignin (Bordonaba, 2010). Kelompok senyawa fenolik yang paling penting adalah flavonoid (Shills, 2006). Menurut Wildman (2001), bahwa kurang lebih 45% dari total senyawa fenol apel adalah flavonoid. Senyawa flavonoid merupakan antioksidan alami yang terdapat dalam buah apel. Dengan meningkatnya konsentrasi fenol maka kandungan flavonoid akan semakin tinggi sehingga aktivitas antioksidan semakin meningkat. Flavonoid pada kulit apel memiliki aktivitas antioksidan enam kali lebih tinggi dibandingkan daging buahnya yang terlihat segar (He, X dan Liu, R. H., 2008). Pada buah apel senyawa fenolik terdiri dari *flavonols*, *anthocyanine*, asam fenolat, dan *dihydrocalcones* (Chen, *et al.*, 2012; Zhang, M., *et al.*, 2016).

Flavonoid telah diteliti memiliki berbagai aktivitas biologis dan berperan sebagai anti kanker, anti viral, anti inflamasi, mengurangi resiko penyakit kardiovaskuler dan penangkapan radikal bebas (Haryanto, 2004). Menurut Gordon (1990) dalam Firmansyah dan Adawiyah (2003), fenol sebenarnya inaktif sebagai antioksidan, namun jika terdapat atom-atom hidrogen yang tersubstitusi pada grup alkilnya (posisi orto dan para) maka dapat aktif sebagai antioksidan.

b. Pektin

Menurut Neubeck (1975), polisakarida juga dapat menimbulkan kekeruhan selama penyimpanan. Polisakarida yang dimaksud adalah senyawa pektin. Pektin merupakan serat yang larut air. Ditemukan pada semua jenis tanaman, tetapi lebih banyak pada buah yang asam seperti jeruk, lemon, anggur, dan apel. Umur buah berpengaruh terhadap fraksi pektin yang ada. Pada buah muda, fraksi pektin disebut protopektin. Sementara pada buah yang matang, protopektin tersebut menjadi pektin karena pengaruh hormon kematangan buah.

Kulit apel memiliki kandungan serat (terutama pektin) dan fitokimia yang lebih banyak dari daging buah apel (Boyer dan Liu, 2004). Buah apel memiliki serat sebanyak 2,1 g dalam 100 g buah apel. Jika kulit apel dikupas, serat yang terkandung didalamnya masih tetap tinggi yaitu 1,9 g. Buah apel memiliki serat tak larut yang berguna dalam saluran pencernaan untuk mengikat kolesterol LDL dan membuangnya dari dalam tubuh. Pektin atau serat larut tersebut akan meminimalisir kolesterol LDL yang diproduksi di hati, serta mempunyai manfaat dalam sistem pencernaan sehingga mencegah terjadinya diare karena pektin mampu membentuk agar feses tetap lunak (Khomsan, 2006).

#### c. Vitamin C

Vitamin C adalah salah satu asam organik beratom karbon 6 yang memiliki dua bentuk molekul aktif yaitu bentuk tereduksi (asam askorbat) dan bentuk teroksidasi (asam dehidroaskorbat). Apabila asam dehidroaskorbat teroksidasi lebih lanjut maka akan berubah menjadi asam diketoglukonat yang tidak aktif secara biologis (Chuang, 2007).

Vitamin C disintesis dari glukosa dalam hati dari semua jenis mamalia, kecuali manusia. Manusia tidak dapat mensintesis asam askorbat di dalam tubuhnya karena tidak memiliki enzim gulonolaktone oksidase yang mampu mensintesis glukosa atau galaktosa menjadi asam askorbat, sehingga harus disuplai dari makanan (Padayatty *et al.*, 2003).

Antioksidan dalam 100 g apel mempunyai aktivitas setara dengan 1500 mg vitamin C (vitamin C termasuk antioksidan yang kuat bersama-sama dengan vitamin E dan betakaroten) (Wulansari, 2009). Diketahui vitamin C merupakan antioksidan kuat, namun penelitian menunjukkan hampir semua aktivitas antioksidan pada apel berasal dari berbagai senyawa lainnya (Boyer and Liu, 2004). Adanya perbedaan vitamin C pada varietas apel dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan dan pengolahannya. Komponen kimia di dalam tanaman apel dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain perbedaan varietas, keadaan iklim, tempat tumbuh, cara pemeliharaan tanaman, cara pemanenan,

kematangan pada waktu panen, dan kondisi penyimpanan setelah panen (Susanto, 2011).

Secara utuh kandungan nutrisi tiap 100 gram buah apel dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan nutrisi buah apel/100 gram

Komposisi	Jumlah
Energi (kalori)	58,00
Karbohidrat (g)	14,9
Lemak (g)	0,40
Protein (g)	0,30
Kalsium (mg)	6,00
pH	3,60
Kadar air (%)	86,65
Total padatan terlarut (°Brix)	15,30
Fosfor (mg)	10,00
Besi (mg)	0,30
Vitamin B1 (mg)	0,04
Vitamin C (mg)	11,42

Sumber : Sa'adah dan Estiasih, 2015

### 2.1.3 Fisiologi Buah Apel

Pertumbuhan merupakan suatu proses kuantitatif yang ditunjukkan dengan adanya peningkatan berat buah dan volume (Burzo, 1999). Ontogeni (perkembangan) buah terjadi dalam dua fase, yaitu fase maturasi dan fase pematangan. Proses maturasi dimulai pada modifikasi awal bagian karpel buah dan berakhir ketika organ telah mencapai perkembangan maksimumnya, sedangkan pada proses pematangan, modifikasi khususnya terjadi pada struktur dan komposisi kimia pada organ (Goldschmidt, 1980). Pematangan buah disertai dengan kerusakan pada sel membran (Sacher, 1973; Ferrie *et al.*, 1994) dan keseluruhan prosesnya merupakan modifikasi fungsional proses pembentukan terus-menerus dari *senescence* (Huber, 1987). Pada fase maturasi dan pematangan

buah apel terjadi hilangnya integritas membran mikrosomal. Selain itu, pada fase pematangan, terjadi penurunan kadar asam lemak tak jenuh selama tahap *postclimacteric* (Lurie & Ben-Arie, 1983). Berdasarkan penelitian Fleancu M. (2007), selama perkembangan buah apel dan fase maturasi terjadi penurunan intensitas proses fotosintesis dan peningkatan kandungan pigmen karotenoid, ditunjukkan dengan terurainya klorofil dan biosintesis dari pigmen-pigmen karotenoid. Laju relatif fiksasi CO<sub>2</sub> terbesar saat proses fotosintesis terjadi selama perkembangan awal buah dan menurun saat buah matang (Blanke & Lenz, 1989).

#### 2.1.4 Keasaman Buah Apel dan Pembusukan

Sesuai dengan tingkat penerimaan konsumen, kualitas buah dapat dipengaruhi oleh beberapa karakteristik, di antaranya kerenyahan buah (*crispness*), *juiciness*, keasaman atau rasa manis, dan daya simpan. Keasaman buah dapat dilihat dari perspektif subjektif dan pengukuran objektif. Melalui perspektif subjektif, keasaman buah mengacu pada intensitas indera rasa asam. Semakin kuat asam, semakin tinggi tingkat keasaman buah, dan sebaliknya. Pengukuran kimia keasaman buah meliputi pH buah dan jumlah total keasaman pada larutan (*titratable acidity*/ TA). pH yang lebih rendah dan /atau TA yang lebih tinggi berhubungan dengan keasaman buah yang lebih tinggi, sedangkan pH yang lebih tinggi dan /atau TA yang lebih rendah menunjukkan keasaman yang lebih rendah. pH mengukur konsentrasi ion hidrogen, sehingga menunjukkan kekuatan kondisi keasaman pada buah. Nilai TA menunjukkan tingkat konsentrasi asam malat dan mengukur keasaman total (tidak mengukur kekuatan asam) (Xu, K, 2012). Asam malat merupakan asam organik yang dominan meskipun asam organik lainnya seperti asam sitrat, asam fumarat, dan asam kuintat dapat terdeteksi (Zhang, Li, & Cheng, 2010). Rentang nilai keasaman buah yang dapat diterima untuk buah apel (*dessert apples*) yaitu pada pH 3,1 – 3,7 dan /atau TA 3,0 – 10,0 mg/ml. Buah apel dengan pH lebih rendah dari 3,1 dan TA lebih tinggi dari 10,0 mg/ml dianggap terlalu asam, sedangkan dengan pH lebih tinggi dari 3,8 dan TA lebih rendah dari 3,0 mg/ml akan terasa hambar (*flat*) atau tanpa rasa (*flavorless*) (Brown & Harvey, 1971; Nybom, 1959; Visser & Verhaegh, 1978).



Pembusukan pada buah apel dapat disebabkan oleh beberapa fungi (Grantina-levina, L, 2015). Menurut De Kock *et al.* (1991), kerentanan pembusukan inti buah pada buah apel disebabkan oleh rendahnya kandungan asam malat dan asam fumarat selama periode pertumbuhan dan perkembangan. Pada penelitian oleh Niem, J, *et al.* (2007), dikemukakan bahwa kemampuan *A. alternata* untuk mengalkalisasi jaringan inangnya setelah penetrasi yaitu pada peningkatan pH, dari 4,8 pada jaringan mesoderm sehat hingga pada pH 5,8 pada jaringan mesoderm yang membusuk dekat pada inti buah apel.

## 2.2 Tinjauan Karakteristik Fisiologi Alami Pasca Panen

Karakteristik penting produk pasca panen yaitu buah masih melakukan fungsi metabolisme, namun metabolisme tersebut tidak sama dengan tanaman induknya yang tumbuh dengan lingkungan aslinya. Hal tersebut dikarenakan produk yang dipanen telah mengalami berbagai bentuk *stress* seperti hilangnya suplai nutrisi, kondisi yang berbeda dengan pertumbuhan yang ideal dengan adanya peningkatan suhu, kelembapan, proses panen yang menimbulkan pelukaan berarti, pengemasan, serta transportasi yang dapat menimbulkan kerusakan mekanis lebih lanjut. Produk harus dipanen dan dipindahkan melalui beberapa sistem penanganan dan transportasi ke tempat penggunaannya seperti pasar atau langsung ke konsumen dengan menjaga status hidupnya dan dalam kondisi kesegaran yang optimum. Jika *stress* yang diperoleh terlalu berlebihan dan melebihi toleransi fisik dan fisiologis, maka dapat terjadi kematian (Utama, 2004).

Terdapat beberapa kerusakan fisiologis yang dapat terjadi pada buah apel ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kerusakan fisiologis buah apel

Kerusakan	Gejala
Bercak cekung dangkal	Pewarnaan kulit yang sedikit cekung dapat berpengaruh pada buah keseluruhan
Luka bakar matahari	Warna coklat sampai hitam pada daerah yang rusak karena sinar matahari selama pertumbuhan
Kerusakan <i>senescence</i>	Coklat, daging buah bertepung, terdapat pada buah lewat masak, dan disimpan terlalu lama.
Kerusakan suhu rendah Bercak lunak atau dalam	Pada kortek terjadi pencoklatan Lunak, cekung, coklat sampai berwarna hitam pada bagian permukaan tertentu dan meluas sampai pada bagian dalam daging buah.
Bintik Jonathan	Terjadi pada suhu tinggi, bintik dangkal pada lentisel
Noda <i>senescence</i>	Noda dangkal abu-abu pada buah yang disimpan terlalu lama.
Bagian pusat coklat Bagian pusat berair	Pencoklatan pada bagian tengah buah. Terdapat bagian tembus sinar dalam daging buah, dapat menjadi coklat selama penyimpanan.
Hati coklat	Terdapat bagian yang jelas dalam daging buah berwarna coklat dan dapat berkembang menjadi lubang.

Sumber : Wills *et al.*, 1998

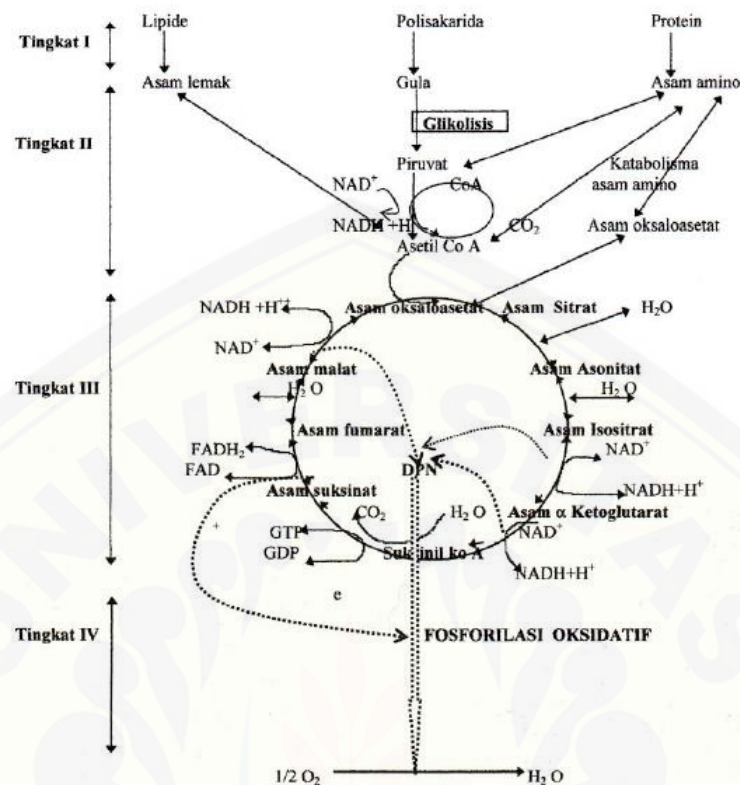
### 2.2.1 Respirasi

Pada buah yang baru dipetik, respirasi masih tetap berlangsung. Sel tanaman maupun hewan menggunakan energi yang telah dihasilkan dan digunakan untuk mempertahankan protoplasma, membran protoplasma, dan dinding sel. Dalam proses respirasi, umumnya glukosa akan dirubah menjadi berbagai senyawa yang lebih sederhana dan disertai dengan pembebasan energi. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :





Proses respirasi pada jalur pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana dengan terjadinya pelepasan energi dapat melalui 4 tingkat. Pada tingkat pertama (Gambar 2.2), molekul besar dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana. Polisakarida dipecah menjadi gula sederhana seperti glukosa, protein menjadi asam-asam amino dan lemak menjadi asam lemak. Pada tingkat ini, tidak terbentuk energi. Pada tingkat kedua, molekul yang sederhana (kecil) dipecah lebih lanjut menjadi molekul-molekul yang lebih kecil lagi. Gula, asam lemak, gliserol, dan beberapa asam amino dirubah menjadi asam piruvat dan asetil CoA. Reaksi tingkat ketiga merupakan jalur yang disebut siklus Krebs (*TCA = Tricarboxylic Acid*). Pada tingkat ini senyawa-senyawa intermedier yang dihasilkan akan teroksidasi menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan energi. Empat elektron ditransfer ke  $\text{NAD}^+$  (*Nicotinamide Adenine Dinucleotide*) dan  $\text{FAD}$  (*Flavine Adenine Dinucleotide*) untuk setiap gugus asetil yang dioksidasi dengan disertai sedikit pembebasan energi. Sedangkan pada tingkat terakhir merupakan reaksi transport elektron dan fosforilasi oksidatif. Pada transport, elektron yang diikat oleh  $\text{NADH}_2$  dan  $\text{FADH}_2$  ditransfer ke oksigen disertai dengan pembebasan sejumlah energi. Energi ini dipergunakan untuk memacu pembentukan ATP dengan proses fosforilasi oksidatif (Sudjatha *et al.*, 2017).



Gambar 2.2 Skema jalur katabolik untuk menghasilkan energi (Sumber: Sudjatha *et al.*, 2017)

Respirasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor internal dan faktor eksternal (Sudjatha *et al.*, 2017). Beberapa pengaruh faktor internal, di antaranya :

1) Tingkat perkembangan buah

Jumlah  $\text{CO}_2$  yang dikeluarkan sebanding dengan ukuran buah. Laju respirasi yang dihitung berdasarkan unit berat terus menurun seiring dengan membesarnya buah. Saat menuju proses pematangan buah, laju respirasinya meningkat sampai pada puncak klimakterik, selanjutnya menurun.

2) Ukuran produk

Buah yang berukuran kecil mempunyai laju respirasi lebih besar dibandingkan dengan yang berukuran besar. Semakin besar ukuran, maka luas permukaan dan bidang sentuhnya akan semakin kecil, dan sebaliknya jika berukuran kecil maka luas permukaan lebih besar dan lebih banyak permukaan

yang bersentuhan dengan udara, sehingga lebih banyak oksigen yang berdifusi ke dalam jaringan.

3) Pelapis Alami

Adanya lapisan lilin pada kulit buah menunjukkan laju respirasi yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis buah yang tidak mempunyai lapisan lilin.

4) Jenis jaringan

Jaringan muda yang lebih aktif bermetabolisme menunjukkan aktivitas respirasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan organ-organ yang tidak aktif.

Pengaruh faktor eksternal, di antaranya adalah :

1) Suhu

Suhu antara 0 - 35 °C memberikan peningkatan laju respirasi pada buah sebesar 2 - 2,5 kali untuk setiap kenaikan 8 °C. Penurunan laju respirasi pada suhu tinggi dikarenakan oksigen (O<sub>2</sub>) tidak berdifusi cukup cepat untuk dapat mempertahankan laju respirasi yang ada, karbondioksida (CO<sub>2</sub>) tertimbun di dalam sel hingga pada tingkat yang dapat menghambat metabolisme, dan persediaan bahan makanan pada buah yang dapat dioksidasi tidak mencukupi untuk mempertahankan laju respirasi yang tinggi.

2) Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

Pada buah klimakterik, pemberian etilen pada tingkat praklimakterik menunjukkan respirasi lebih awal, sedangkan pemberian setelah puncak klimakterik tidak mengubah laju respirasi.

3) Oksigen

Pada beberapa komoditi, respirasi meningkat jika kadar oksigen bertambah (tidak lebih dari 20%).

4) Karbondioksida

Respirasi terhambat jika konsentrasi CO<sub>2</sub> sesuai, sehingga dapat mempertahankan mutu buah yang disimpan karena menghambat perubahan-perubahan yang mungkin terjadi selama proses respirasi.

5) Kerusakan buah

Secara tidak langsung, etilen berpengaruh pada tingkat kerusakan buah. Tingkat dan jenis kerusakan buah masing-masing dapat memberikan laju respirasi yang berbeda.

### 2.3 Pengemasan

Pengertian pengemasan adalah suatu benda yang digunakan untuk wadah maupun tempat yang dapat memberikan perlindungan yang sesuai dengan tujuannya.

Menurut Dwiari *et al.* (2008), adapun fungsi dari kemasan, antara lain:

- a. Mewadahi produk selama proses distribusi dari produsen hingga ke konsumen agar produk tidak tercecer.
- b. Melindungi dan mengawetkan produk, seperti melindungi dari sinar matahari, panas, kelembapan udara, oksigen, benturan, kontaminasi dari kotoran, dan mikroba yang dapat merusak dan menurunkan mutu produk.
- c. Identitas produk merupakan alat komunikasi dan informasi kepada konsumen melalui label yang terdapat pada kemasan.
- d. Meningkatkan efisiensi, yaitu misalnya dalam perhitungan berat barang dan jumlah barang, memudahkan pengiriman dan penyimpanan.
- e. Melindungi pengaruh buruk dari produk di dalamnya.
- f. Memperluas pemakaian dari pemasaran produk.
- g. Menambah daya tarik calon pembeli.
- h. Sebagai sarana informasi dan iklan.
- i. Memberi kenyamanan bagi konsumen.



Gambar 2.3 *Tray packaging* buah tomat dalam *stretch film* (*Ulma Packaging*)

### 2.3.1 Kemasan Pintar (*Intelligent Packaging*)

Kemasan pintar merupakan suatu bentuk kemasan dengan sistem yang dapat memberikan informasi lebih mendetail mengenai kualitas dan kondisi pangan, sehingga dengan penggunaan kemasan pintar memungkinkan adanya peningkatan pada kontrol kualitas pangan dengan ditampilkannya titik-titik kritis yang mungkin terjadi seperti perubahan suhu, pH, atau pertumbuhan mikroba.

Sistem pengemasan pintar dirancang menggunakan label yang dapat digunakan di dalam kemasan atau pada luar permukaan kemasan makanan. Label tersebut mampu mendeteksi, melacak, merekam dan mengkomunikasikan kualitas atau kondisi pangan sepanjang rantai pangan (termasuk selama transportasi dan penyimpanan) (Han, Ho, & Rodrigues. 2005). Konsep-konsep kemasan pintar meliputi penggunaan sensor dan indikator. Penggunaan sistem tersebut umumnya dapat dipertimbangkan dengan penggabungan dalam kemasan yang dibuat menggunakan teknik, seperti *Modified Atmosphere Packaging* (MAP) dan kemasan *vacuum* (Yam et al., 2005). Indikator yang paling banyak digunakan berdasarkan laju polimerisasi, difusi, reaksi kimia atau enzimatis adalah indikator suhu kritis, *Time Temperature Indicator* (TTI), dan indikator kebocoran.





Gambar 2.4 Aplikasi kemasan pintar (*intelligent packaging*) pada produk (*Insignia Technologies*)

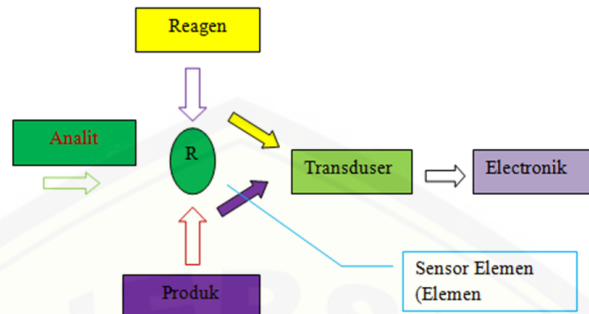
## 2.4 Sensor

Menurut Kress-Rogers (2001), sensor didefinisikan sebagai sebuah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi, mencari atau mengukur energi atau zat, memberikan sinyal untuk pendeteksian atau pengukuran suatu sifat fisika atau kimia sebagai respon suatu perangkat.

Penelitian dan perkembangan teknologi sensor hingga saat ini lebih diaplikasikan dalam biomedik dan lingkungan. Syarat sensor yang digunakan untuk aplikasi pengemasan makanan cenderung berbeda. Pengembangan metode yang digunakan untuk menentukan kualitas makanan seperti kesegaran, pembusukan mikroba, dan oksigen dan/atau panas yang menyebabkan kerusakan sangat penting pada pengolahan makanan. Upaya peningkatan kualitas dan keamanan bahan makanan dilakukan dengan cara memperkirakan masa simpan bahan makanan, namun memakan waktu yang lama dan cenderung mahal. Untuk mendapatkan pengukuran yang cepat, akurat, dan biaya lebih murah membutuhkan upaya yang lebih besar dalam pengidentifikasian dan pengukuran indikator kimia dan fisika pada kualitas makanan. Kemungkinan pengembangan sensor untuk menghitung cepat untuk indikator diketahui sebagai pendekatan penanda.

Kebanyakan sensor mengandung dua unit dasar fungsional yaitu reseptor dan transduser (Gambar 2.5). Sensor kimia biasanya banyak diaplikasikan untuk mendeteksi entitas kimiawi dengan menggunakan reaksi kimia dari reagen kimia

yang sesuai. Entitas kimiawi yang dideteksi tersebut biasanya disebut analit (Kuswandi, 2008).



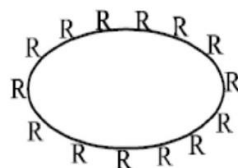
Gambar 2.5 Skema sensor kimia (Sumber: Kuswandi, 2008)

#### 2.4.1 Immobilisasi Reagen

Syarat suatu reagen yang baik yang digunakan dalam sistem sensor, yaitu reagen yang dapat tetap terikat pada permukaan membran dan tetap bertahan selama digunakan dalam pengukuran. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan khusus terhadap reagen untuk menjaga stabilitasnya terhadap membran. Perlakuan atau proses yang dimaksud tersebut yaitu immobilisasi. Menurut Kuswandi (2008), Immobilisasi merupakan suatu proses pengikatan molekul reagen sehingga dapat tersebar dalam fase pendukung secara merata dan homogen. Terdapat lima metode yang dapat dilakukan, yaitu sebagai berikut.

##### a. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu zat oleh zat lainnya atau dapat didefinisikan perubahan pada suatu permukaan (Kuswandi, 2008). Metode ini merupakan metode yang sederhana dan memerlukan sedikit preparasi, namun interaksi antara reagen dan matriks sangat lemah. Pada metode adsorpsi sering terjadi ikatan *van der Waals* dan ikatan ion (Gambar 2.6).

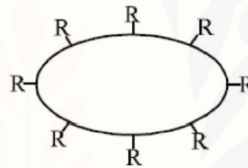


Gambar 2.6 Metode adsorpsi (Sumber: Kuswandi, 2008)



b. Ikatan kovalen

Metode dengan proses pembentukan ikatan kovalen merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan. Meskipun terdapat sejumlah reagen yang dapat merusak ikatan kovalen, namun biasanya proses pengikatan kovalen ini bersifat *irreversible*, dikarenakan sifat ikatannya yang stabil. Ikatan kovalen melibatkan ikatan antara molekul reagen dengan fase pendukungnya. Penggunaan rancangan gugus fungsi terhadap membran digunakan untuk mendapat ikatan kovalen. Pada pembentukan ikatan kovalen diperlukan kontrol pada temperatur rendah, kekuatan ion yang kecil, dan pH yang netral. Bagian molekul yang akan dikaitkan merupakan atau bukan bagian dari sisi aktif (Gambar 2.7). Kelebihan teknik ini yaitu tidak akan terjadi pelepasan material pada matriknya, karena ikatan yang terjadi sangat kuat (Eggins, 1996).



Gambar 2.7 Metode pembentukan ikatan kovalen (Sumber: Kuswandi, 2008)

c. *Entrapment*

Metode ini menjerat reagen dalam polimer yang permeable (Gambar 2.8). Biasanya dilakukan dengan mencampurkan reagen dengan larutan monomer ataupun polimer yang kemudian dipolimerisasi menjadi gel dan menjerat reagen. Namun hal tersebut dapat menyebabkan hambatan pada difusi substrat, sehingga dapat memperlambat reaksi. Penambahan *plastizicer* pada larutan ini membuat ikatan silang polimer sehingga terbentuk ruang kosong dan polimer akan menjadi lebih lentur (Kuswandi, 2008).



Gambar 2.8 Metode *entrapment* (Sumber: Kuswandi, 2008)

d. Enkapsulasi

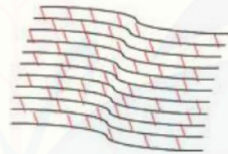
Metode ini menggunakan membran semipermeabel yang memerangkap dan menjerat reagen di dalam ruang antara material pendukung (Gambar 2.9). Teknik ini mampu bertahan terhadap perubahan kondisi misalnya perubahan suhu, pH, kekuatan ion, dan komposisi kimia (Eggins, 1996).



Gambar 2.9 Metode enkapsulasi (Sumber: Kuswandi, 2008)

e. *Cross-linking*

*Cross linking* merupakan metode yang menggunakan senyawa kimia yang memiliki dua gugus fungsi yang dapat mengikatkan reagen pada membran (Gambar 2.10). Kekurangan metode ini dapat mengalami kerusakan pada spesifikasi reagen (Eggins, 1996).



Gambar 2.10 Metode *cross-linking* (Sumber: Kuswandi, 2008)

#### 2.4.2 Indikator Kesegaran (*Freshness Indicator*)

Pada industri makanan, kesegaran (*freshness*) dan murni/ tidak berubah (*unspoilt*) merupakan sinonim dari kata “kualitas”, yang berarti menggambarkan suatu produk yang memiliki kualitas. ISO (*International Organization of Standardization*) mendefinikan kualitas sebagai karakteristik secara keseluruhan dari suatu produk atau layanan yang mempunyai kemampuannya untuk memenuhi kebutuhan, baik dinyatakan ataupun secara *implicit*, dan jaminan kualitas (*quality assurance*) sebagai tindakan terencana dan sistematis yang diperlukan untuk memberikan keyakinan bahwa suatu produk, proses, atau layanan akan memenuhi persyaratan kualitas (ISO 9000: 2005; ISO, 2005). Kualitas juga telah secara

khusus didefinisikan sebagai kesesuaian dengan persyaratan, tingkat kesesuaian dengan standar, kesesuaian untuk digunakan dan sebagai kepuasan pengguna (Crosby, 1979; Juran dan Gryna, 1988; Wayne, 1983). Pada saat ini, sifat kualitas, klasifikasi, dan evaluasi buah-buahan dan sayuran segar yang dilakukan untuk memenuhi standar kriteria resmi ditetapkan oleh UN ECE (*United Nations Economic Commission for Europe*) yang didasarkan dari FAO (*Food and Agriculture Organization*) dan WHO (Barreiro et al., 2004). Di Malaysia, standar yang ditetapkan oleh Otoritas Pemasaran Pertanian Federal juga menekankan karakteristik eksternal buah seperti ukuran, warna, bentuk, dan tingkat kerusakannya (Famaxchange, 2009).

Indikator kesegaran mengamati kualitas dari makanan yang terkemas dengan bereaksinya satu cara atau yang lain terhadap perubahan yang terjadi dalam produk makanan segar sebagai hasil dari pertumbuhan mikrobiologis dan metabolisme. Indikator kesegaran secara langsung menunjukkan kualitas dari produk yang berdasarkan reaksi antara indikator dengan metabolit-metabolit yang dihasilkan selama pertumbuhan mikroorganismenya pada produk makanan. Syarat penting utama pada keberhasilan pengembangan indikator kesegaran adalah pengetahuan mengenai metabolit-metabolit yang menunjukkan kualitas. Pengembangan konsep indikator harus dapat mereaksikan adanya komponen-komponennya dengan tingkat sensitivitas yang dibutuhkan. Menurut William *et al.*, indikator pada umumnya ditempatkan pada bagian dalam kemasan makanan kecuali bahan kemasannya permeabel atau dapat “bernapas”. Selain itu juga diperlukan untuk menghindari negatif palsu yang cenderung menghalangi produsen dari aplikasi penggunaan indikator. Alat (indikator) ini sensitif sampai spesifik terhadap produk awal yang mengalami, sedang, atau telah mengalami kemunduran berupa pembusukan makanan (Kerry *et al.*, 2006).

## 2.5 Indikator Asam Basa

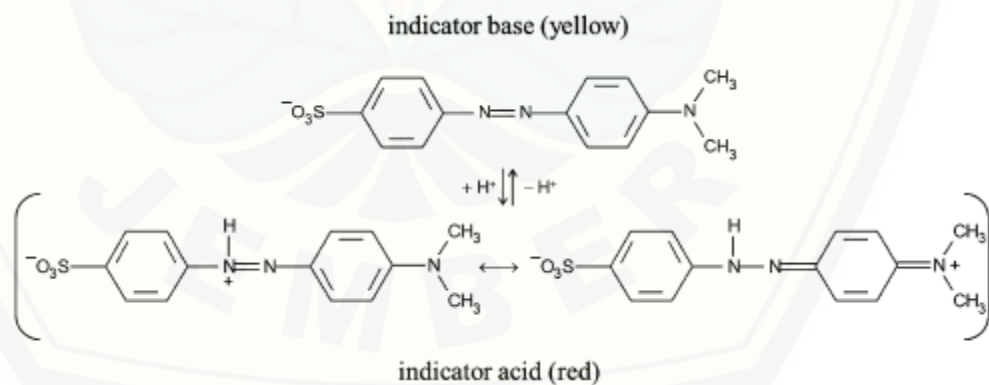
Indikator adalah senyawa kompleks yang bereaksi dengan asam dan basa. Reaksi antara asam dan basa tersebut dapat digunakan untuk mengetahui tingkat

kekuatan suatu asam atau basa. Indikator asam – basa biasa disebut sebagai indikator pH. Indikator pH merupakan zat yang berubah warna atau membentuk fluoresen dengan perubahan pada pH. Indikator asam dan basa lemah biasanya akan terlarut sedikit dalam air dan membentuk ion (Khopkar, 1990).

Zat-zat indikator dapat berupa asam atau basa, larut, stabil, dan menunjukkan perubahan warna yang kuat serta biasanya terbuat dari zat organik. Perubahan warna terjadi karena terbentuk fluoresen yang disebabkan oleh adanya resonansi isomer elektron. Berbagai indikator memiliki tetapan ionisasi yang berbeda, sehingga menunjukkan warna pada rentang yang berbeda (Khopkar, 1990).

### 2.5.1 *Methyl orange (MO)*

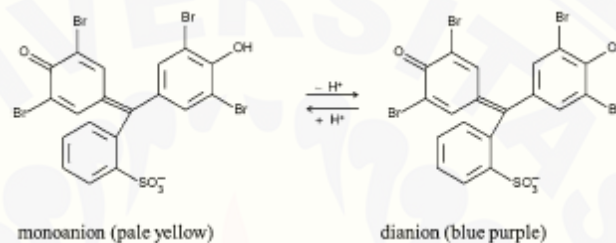
*Methyl orange (4-dimethylaminoazobenzene-4-sulfonic acid)* adalah indikator warna yang berubah menjadi warna merah pada larutan asam. *Methyl orange* merupakan salah satu indikator pH yang memberikan perubahan warna merah pada rentang pH 3,0 dan warna kuning pada pH 4,4 serta warna *orange* di antara pH tersebut (Gambar 2.11) . Indikator ini memiliki pKa 3,46 (Kahlert *et al.*, 2016).



Gambar 2.11 Struktur *Methyl orange* (Sumber: Kahlert *et al.*, 2016)

### 2.5.2 Bromophenol blue (BPB)

*Bromophenol blue (3H-2,1-Benzoxathiole 1,1-dioxide)* adalah indikator warna yang berubah menjadi warna kuning pada larutan asam. *Bromophenol blue* juga merupakan salah satu indikator pH yang memberikan perubahan warna kuning pada rentang pH 3,0 dan warna ungu pada pH 4,6 serta warna kehijauan di antara pH tersebut (Gambar 2.12). Indikator ini memiliki pKa 3,85 (Kahlert *et al.*, 2016).



Gambar 2.12 Struktur mono- dan dianion *Bromophenol blue* (Sumber: Kahlert *et al.*, 2016)

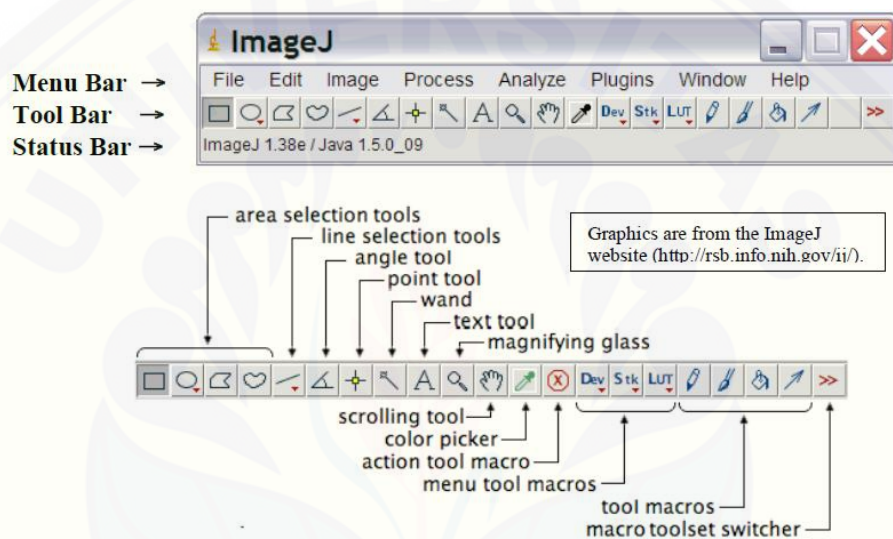
## 2.6 ImageJ

ImageJ merupakan suatu program pemrosesan gambar berbasis Java yang dikembangkan *National Institute of Health* (NIH) oleh Wayne Rasband, yang berawal dari program yang disebut *NIH Image*. Program ini tersedia secara bebas dan *open source* dalam berbagai *platform*, dari Macintosh, Unix, dan Windows. Pada ImageJ tersedia perincian dari pemrosesan gambar, sehingga pengguna dapat memahami prosedur dasar yang diterapkan. Pilihan pemrograman ImageJ cukup kaya dan memungkinkan penambahan *plugin* Java, bahasa pemrograman *macro*, atau JavaScript. Aplikasi pada program ImageJ terus berkembang, di antaranya dapat diaplikasikan untuk gambar digital dari bermacam sumber, dari kamera hingga sistem *confocal*, dan dapat membuka gambar dari berbagai format. Selain itu, memungkinkan pemrosesan dan analisis gambar yang canggih untuk penelitian dan edukasi (Sheffield, J. B., 2008).

ImageJ disusun dalam lima bagian, yaitu:



- Tinjauan singkat tentang gambar digital; meliputi struktur, organisasi, resolusi, kedalaman bit.
- Manipulasi kontras, kecerahan, warna, tabel pencarian, *overlay* gambar.
- Manipulasi gambar; meliputi filter konvolusi, operasi biner, pengurangan latar belakang, analisis *Fourier*.
- Visualisasi tiga dimensi; meliputi tumpukan gambar, “perataan”, volume.
- Kuantitasi; meliputi standardisasi, pengukuran panjang, luas, intensitas.



Gambar 2.13 ImageJ Window (Sumber: Reinking, L, 2007)



## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian *experimental laboratories*.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Maret 2018, bertempat di Laboratorium Kimia dan Biosensor Fakultas Farmasi Universitas Jember, Laboratorium Kimia dan Biokimia Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah suhu penyimpanan buah apel, yaitu suhu ruang ( $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) dan suhu *chiller* ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ ).

#### 3.3.2 Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah perubahan intensitas warna *orange* membran *methyl orange* dan perubahan intensitas warna kehijauan membran *bromophenol blue* dan perubahan kesegaran buah apel meliputi warna, kekerasan, susut berat, total padatan terlarut, dan pH buah apel.

#### 3.3.3 Variabel Terkendali

Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :

1. Buah apel yang digunakan dalam penelitian ini merupakan spesies *Malus sylvestris Mill.* suku Rosaceae varian *Rome Beauty* yang dibeli dari *supplier* buah (Pandawa) yang dipanen dari perkebunan apel Pasuruan.
2. Berat buah apel dalam satu kemasan adalah  $\pm 240,00$  g

3. Cara pengemasan pada buah apel, yaitu buah apel ditempatkan pada *styrofoam*  $1,05 \text{ g/cm}^3$  dan ditutup menggunakan *PE white wrapping plastic stretch film*  $0,9 \text{ g/cm}^3$  yang telah diberi sensor kesegaran pada bagian dalam.

### 3.4 Alat dan Bahan

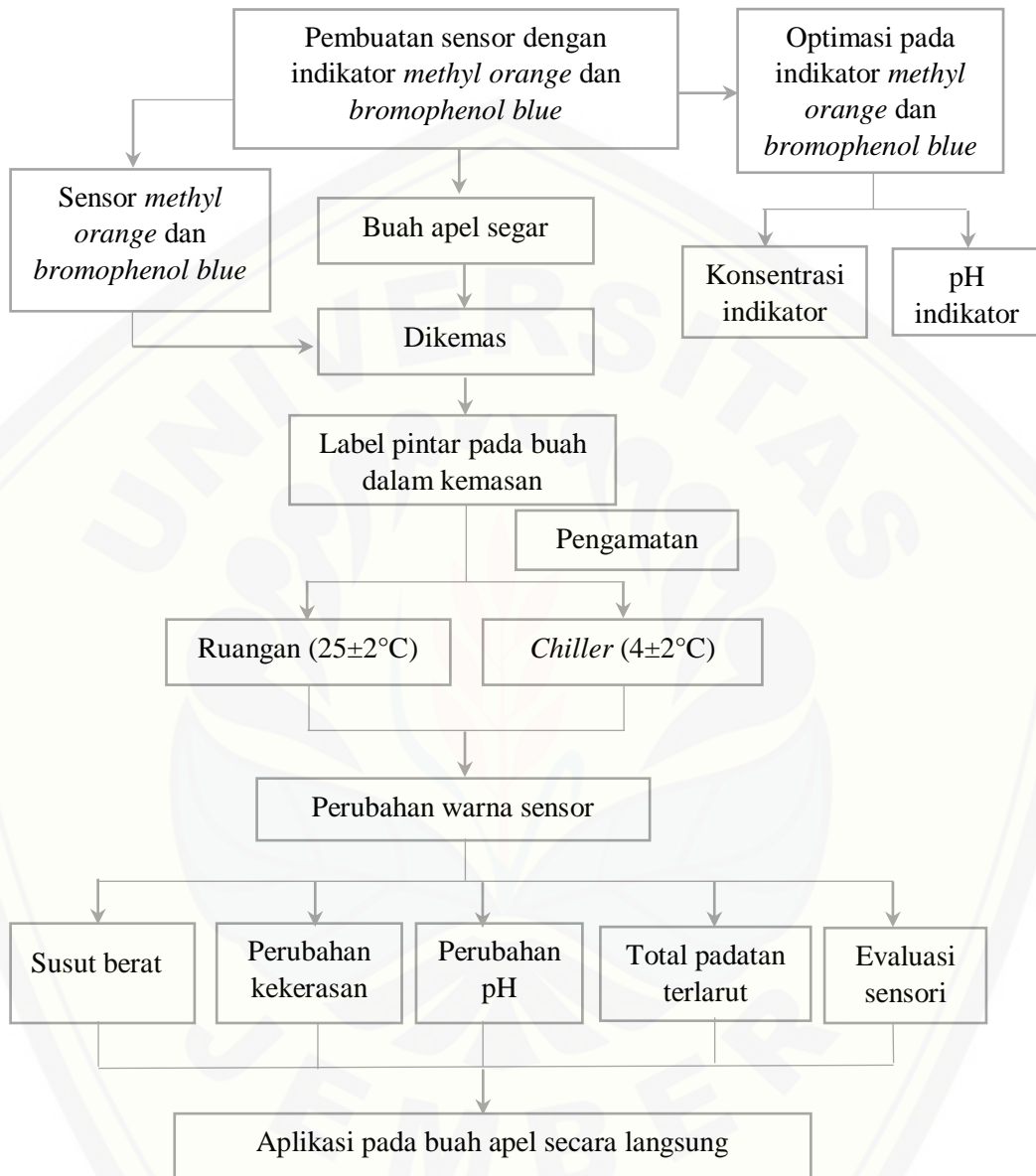
#### 3.4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pH meter, lemari pendingin, labu ukur, rheotex tipe SD-700, pipet tetes, pipet volumetrik, pisau, buret, *ball pipet*, *blender*, *hand refractometer*, timbangan analitik, *vial*, *beaker glass*, batang pengaduk, plat tetes, dan *scanner* Canon LiDe 110.

#### 3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah apel yang merupakan spesies *Malus sylvestris* Mill. suku Rosaceae varian *Rome Beauty* yang dibeli dari *supplier* buah (Pandawa) yang dipanen dari perkebunan apel Pasuruan, indikator *methyl orange*, indikator *bromophenol blue*, etanol 97%, *styrofoam*  $1,05 \text{ g/cm}^3$ , *PE white wrapping plastic stretch film*  $0,9 \text{ g/cm}^3$ , kertas saring *whatman*, asam asetat, Na asetat, *PVP*, *aquadest*.

### 3.5 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 Alur penelitian aplikasi dan karakterisasi sensor kesegaran buah apel

### 3.6 Rancangan Sensor Kesegaran

Sensor kesegaran merupakan alat yang berguna untuk mempermudah dalam memperoleh informasi mengenai kondisi dan kualitas kesegaran buah apel yang disimpan dalam kemasan tanpa perlu untuk membuka kemasan terlebih dahulu. Indikator pH menggunakan *methyl orange* dan *bromophenol blue*.

Sensor kesegaran bagian atas merupakan bagian utama yang menunjukkan kondisi kesegaran produk buah apel. Pada bagian atas, akan menunjukkan warna yang dapat dibaca dengan referensi pada bagian bawah. Sensor kesegaran bagian bawah merupakan referensi yang telah diberi keterangan untuk menunjukkan bahwa produk adalah produk segar (*fresh & crisp*), masih segar (*firm*), atau tidak segar (*mealy, overripe*) sesuai perubahan pada indikator warnanya masing-masing. Untuk indikator *methyl orange*, pada kondisi segar akan memberikan warna *orange*, kondisi masih segar berwarna kuning terang, dan tidak segar berwarna kuning pucat. Sedangkan pada indikator *bromophenol blue*, pada kondisi segar akan memberikan warna kuning kehijauan, kondisi masih segar berwarna hijau keabuan, dan tidak segar berwarna biru (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Desain/ rancangan sensor kesegaran buah apel

Keterangan :



: Sensor dengan indikator *methyl orange* dan *bromophenol blue* yang akan memberikan informasi kesegaran buah apel melalui perubahan warna sesuai kondisi pada buah apel.



: Warna *orange* dan kuning kehijauan menunjukkan buah apel dalam kondisi segar (*fresh & crisp*)



: Warna kuning terang dan hijau keabuan menunjukkan buah apel dalam kondisi masih segar (*firm*)



: Warna kuning pucat dan biru menunjukkan buah apel dalam kondisi tidak segar (*mealy, overripe*)

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Tahapan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk identifikasi tingkat kesegaran buah apel dengan perubahan warna yang terjadi pada sensor melalui indikator pH *methyl orange* dan *bromophenol blue* yang diimobilisasikan pada kertas saring *whatman*. Sebelumnya diperlukan optimasi konsentrasi indikator dan optimasi pH indikator pada *methyl orange* dan *bromophenol blue*. Pengemasan buah apel menggunakan *PE white wrapping plastic stretch film* dengan sensor yang diaplikasikan pada buah apel. Pengamatan pada buah apel dengan variasi temperatur, yaitu suhu ruang ( $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) dan *chiller* ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). Menganalisis parameter kesegaran buah apel meliputi warna sensor, uji total padatan terlarut, uji pH, uji kekerasan, uji susut berat, dan uji sensor (bau, warna, dan rasa).

#### 3.7.2 Pelaksanaan penelitian

##### 3.7.2.1 Optimasi konsentrasi indikator pH sebagai sensor kesegaran

Pembuatan larutan indikator pH dari *methyl orange* dan *bromophenol blue*; melakukan penimbangan untuk masing-masing indikator sebanyak 5 mg, 10 mg, dan 15 mg yang dilarutkan dalam 10 mL etanol 97%. Masing-masing indikator dibuat konsentrasi sebesar 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm. Konsentrasi optimum diperoleh jika pada tiap pH, masing-masing indikator dapat

memberikan perubahan warna yang signifikan dengan intensitas perubahan warna yang jelas secara visual terhadap detektor (*ImageJ*).

#### 3.7.2.2 Optimasi pH kerja indikator sebagai sensor kesegaran

Dibuat variasi pH 3 – 5. Optimasi pH dilakukan dengan mencelupkan membran dalam buffer fosfat 1 ml. Kemudian diamati perubahan warna yang ditunjukkan pada masing-masing indikator *methyl orange* dan *bromophenol blue*. pH optimum diperoleh ketika membran memberikan perubahan warna yang signifikan dari awal warna membran.

#### 3.7.2.3 Pembuatan sensor kesegaran sebagai label pintar

Kertas saring *whatman* yang digunakan sebagai membran indikator direndam dalam masing-masing indikator pH *methyl orange* dan *bromophenol blue* selama 1 hari. Pada masing-masing indikator ditambahkan PVP sebagai bahan pengikat. Setelah terserap melalui proses imobilisasi, kemudian kertas saring diangkat dan dikeringkan.

#### 3.7.2.4 Pembuatan kemasan

Buah apel segar diletakkan di atas *tray styrofoam*, kemudian ditutup dengan *PE wrap plastic* yang telah diberi label pintar sebagai sensor kesegaran pada bagian dalam.

#### 3.7.3 Analisis data

Pengolahan data penelitian menggunakan metode deskriptif. Data hasil pengamatan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi data.



### 3.8 Prosedur Analisa

#### 3.8.1 Pengamatan intensitas warna sensor (dengan *ImageJ*)

Intensitas warna pada label pintar diukur menggunakan *software Image J* dengan menentukan nilai *mean RGB*. Dilakukan pengambilan gambar melalui proses *scanning* menggunakan *Canon scanner*. Hasil *scan* diaplikasikan pada *software Image J* dan ditentukan nilai *mean RGB*.

#### 3.8.2 Evaluasi sensori

Evaluasi sensori dilakukan dengan sejumlah panelis, yaitu sebanyak 10 orang dengan golongan usia antara 20-30 tahun sebagai kelompok konsumen yang bertindak untuk melakukan uji evaluasi sensori meliputi bau, warna, dan tekstur pada buah apel. Masing-masing akan diberikan kemasan buah apel selama masa penyimpanan 1-14 hari yang terbagi dalam interval waktu, baik buah apel pada penyimpanan suhu ruang maupun penyimpanan pada suhu *chiller*. Disediakan lembar angket (kuisisioner) yang dapat diisi oleh panelis sesuai dengan pengamatan. Lembar angket ditunjukkan pada halaman lampiran.

#### 3.8.3 Uji susut berat

Pengukuran pada susut bobot dilakukan berdasarkan presentase penurunan bobot bahan sejak awal sampai akhir penyimpanan. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan analitik. Perhitungan susut berat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Susut berat (\%)} = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :  $H_0$  = berat bahan awal penyimpanan

$H_1$  = berat bahan saat pengamatan

#### 3.8.4 Uji Kekerasan

Pengukuran kekerasan dilakukan setiap pengamatan dengan menggunakan alat rheotex. Alat diset dengan kedalaman penekanan yaitu 0,30 mm dengan tipe

jarum lancip. Buah apel diletakkan hingga stabil, kemudian tombol start ditekan dan jarum akan bergerak ke bawah menusuk bahan hingga terdengar bunyi (tanda selesai). Pembacaan angka pada layar rheotex. Besarnya tekanan yang diperlukan untuk menusuk buah sebanding dengan kekerasan buah. Satuan pengukuran dinyatakan dalam mm/g.

#### 3.8.5 Uji pH

Pengukuran dilakukan dengan alat pH meter. Buah apel seberat 120 g dipotong kecil dan dihomogenisasi dengan menggunakan blender, dilarutkan dalam 200 mL air, disaring. Sebelum memulai pengukuran, alat dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan larutan dapar pH 4, larutan dapar pH 7, dan larutan dapar pH 10. Nilai yang terbaca harus sesuai dengan nilai pH kalibrasi. Setelah kalibrasi dilakukan, elektroda dicuci dengan menggunakan *aquadest*. Setelah pH meter dikalibrasi, pengukuran pH buah apel dapat dimulai.

#### 3.8.6 Uji Total Padatan Terlarut (TSS)

Total padatan terlarut diukur dengan menggunakan *hand refractometer* Atago. Buah apel seberat 120 g dipotong kecil dan dihomogenisasi dengan menggunakan blender, dilarutkan dalam *aquadest* sebanyak 200 mL. Prisma refraktometer dibersihkan terlebih dahulu dengan *aquadest* agar tidak ada kotoran lain yang ikut terukur. Kemudian 1-2 tetes larutan buah apel diteteskan ke dalam prisma dan dilakukan pembacaan nilai total padatan terlarut yang dinyatakan dengan 1% brix. Setelah selesai *hand refractometer* dibersihkan kembali dengan menggunakan *aquadest*.

## BAB 5. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Konsentrasi uji indikator *methyl orange* dan *bromophenol blue* yang digunakan sebagai sensor kesegaran buah apel yaitu konsentrasi uji 500 ppm, disebabkan dapat memberikan perubahan warna yang sangat sesuai pada indikator *methyl orange* yang berubah dari *orange* menjadi kuning dan *bromophenol blue* dari kuning menjadi ungu, dengan selisih nilai intensitas warna paling tinggi.
2. Perubahan intensitas warna indikator kesegaran *methyl orange* dan *bromophenol blue* memiliki hubungan positif dengan tingkat kesegaran buah apel, artinya semakin menurun nilai *mean RGB* pada kedua indikator, yaitu *methyl orange* dan *bromophenol blue*, maka tingkat kesegaran buah apel pun semakin menurun sehingga buah apel menunjukkan kondisi tidak segar.
3. Sensor kesegaran *methyl orange* dan *bromophenol blue* yang digunakan pada kemasan pintar dapat diaplikasikan sebagai indikator kesegaran sehingga memudahkan konsumen untuk melihat kesegaran buah apel tanpa membuka kemasan.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai:

1. Variasi penggunaan bahan maupun teknik pengemasan yang mampu menjaga mutu dan kualitas, serta masa simpan buah apel baik pada suhu ruang maupun suhu *chiller*.
2. Alternatif penggunaan material pendukung yang lebih baik, karena membran yang digunakan mempunyai kelemahan, salah satunya

yaitu mudah luntur yang disebabkan karena uap air selama masa penyimpanan.

3. Metode intensitas perubahan warna sensor kesegaran yang lebih sensitif terhadap perubahan kualitas buah apel selama waktu penyimpanan pada suhu yang berbeda-beda.



## DAFTAR PUSTAKA

- Antolovich, M., Prenzler, P., Robards, K., dan Ryan, D. 2000. *Sample Preparation in the Determination of Phenolic Compounds in Fruits*. The Analyst.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Tahunan (Statistics of Annual Fruit and Vegetable Plants) Indonesia 2016*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Bambang, S. 1997. *Budidaya Apel*. Yogyakarta: Kanisius.
- Barreiro, P., Ruiz-Altisent, M., Valero, C. and Garcia-Ramos, J., 2004. Fruit postharvest technology: instrumental measurement of ripeness and quality. In: Dris, R and Jain, S.M. (eds.) *Quality handling and evaluation*, volume 3. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 321-340.
- Blanke, M. M. and Lenz, F. 1989. Fruit photosynthesis. *Pl. Cell Environ.*, 12: 31–46.
- Bordonaba, J. G. 2010. *Towards a Better Understanding and New Tools for Soft Fruit Quality Control*. Cranfield University: Cranfield Health Plant Science Laboratory.
- Boyer, J; Liu, RH. 2004. Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal (Cornell University, Ithaca, New York 14853-7201 USA: Department of Food Science and Institute of Comparative and Environmental Toxicology)*, 3: 5.
- Brown, A. G., & Harvey, D. M. 1971. Nature and Inheritance of Sweetness and Acidity in Cultivated Apple. *Euphytica*, 20(1), 68-80.
- Burzo, I., S. Toma, I. Olteanu, L. Dejeu, E. Delian and D. Hoza. 1999. *Fiziologia Plantelor De Cultură*, Vol. 3, pp: 9–352. Fiziologia pomilor fructiferi și a viței de vie, Întreprinderea Editorial-Poligrafica Stiinta, Chisinau.
- Chen, C.S., Zhang, D., Wang, Y.Q., Li, P.M., And Ma, F.W. 2012. Effects Of Fruit Bagging Onthe Contents Of Phenolic Compounds In The Peel And Flesh Of Golden Delicious, Red Delicious, And Royal Gala Apples. *Sci. Hortic.* 142; 68–73.
- Crosby, P.B. 1979. *Quality is free*. New York: McGraw-Hill.
- De Kock, S. L., Visagie, T. R., and Combrink, J. C. 1991. Control of core rot in Starking apples. *Deciduous Fruit Grower*, 41:20-22.



- Direktorat Jendral Bina Produksi Hortikultura. 2009. *Statistik Pertanian (Produk Hortikultura Indonesia)*. Jakarta (ID): Departemen Pertanian RI.
- Dwiari, S. R., Asadayanti D. D., Nurhayati, Sofyaningsih, M., Yudhanti, S. F. A. R., dan Yoga I. B. K. W. 2008a. *Teknologi Pangan Jilid 1 untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional.
- Dwiari, S. R., Asadayanti D. D., Nurhayati, Sofyaningsih, M., Yudhanti, S. F. A. R., dan Yoga I. B. K. W. 2008b. *Teknologi Pangan Jilid 2 untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional.
- Famaxchange, 2009. *Spesifikasi grad dan piawaian*. Available at: [http://www.famaxchange.org/web/guest/standard\\_grade\\_specification](http://www.famaxchange.org/web/guest/standard_grade_specification).
- Eggins, B., R. 1996. *Biosensors: an Introduction*. Chicester: John Wiley & Sons Ltd and B. G. Teubner.
- Ferrie, B.J., N. Beaudoin, W. Burkhart, C.G. Bowsher and S.J. Rothstein, 1994. The cloning of two tomato lipoxygenase genes and their diferential expression during fruit ripening. *Pl. Physiol.*, 106: 109–18.
- Firmansyah, Y dan DR Adawiyah. 2003. Formulasi minuman instan fungsional antioksidan berbasis efek sinergisme kayu secang terhadap pala danjahe. *Seminar Nasional dan Pertemuan Tahunan Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI) GM-16*: 1-8.
- Fleancu, M. 2007. Correlation among Some Physiological Processes in Apple Fruit During Growing and Maturation Processes. *International Journal of Agriculture & Biology*, Vol. 9, No. 4, 613-616.
- Goldschmidt, E.E. 1980. Pigment changes associated with fruit maturation and their control. In: Thimann K.V. (ed.), *Senescence in Plants*, pp: 207–17. Boca Raton: CRC Press Inc.
- Grantina-levina, L. 2016. Fungi Causing Storage of Apple Fruit in Integrated Pest Management System and their Sensitivity to Fungicides. *Rural Sustainability Research*. Vol. 34 (329) pp. 2-11.
- Han, J. H., Ho, C. H. L., & Rodrigues, E. T. 2005. *Intelligent packaging*. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in food packaging*. Elsevier Academic Press.



- He, X., and Liu, R. H. 2008. Phytochemical of Apple Peels: Isolation, Structure Elucidation, and their Antiproliferative and Antioxidant Activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 9905-9910.
- Huber, D.J., 1987. Senescence: an introduction to the symposium. *Hort. Sci.*, 22: 853-4.
- International Organization for Standardization (ISO), 2005.ISO9000:2005. Quality management systems - Fundamentals and vocabulary. ISO, Geneva, Switzerland.
- Juran, J. M. and Gryna, F. M. 1988. *Quality Planning and Analysis*. Tata McGraw-Hill, New Delhi, India, pp. 126-128.
- Kahlert, H., Meyer, G., and Albrecht, A. 2016. Colour map of acid-base titrations with colour indicators: how to choose the appropriate indicator and how to estimate the systematic titration errors. *ChemTexts*, 2:7.
- Kerry, J. P., dan Papkovsky, D. B. 2002. *Development and Use of Nondestructive, Continuous Assessment, Chemical Oxygen Sensors in Packs Containing Oxygen Sensitive Foodstuffs*. Research Advances in Food Science.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Khomsan, A. 2006. *Sehat dengan Makanan Berkhasiat*. Editor: Irwan Suhandi. Jakarta: Penerbit Buku Kompas. p. 10.
- Kress-Rogers, E. 1998. *Terms in Instrumentation and Sensors Technology*. In E. Kress-Rogers (Ed.). *Instrumentation and Sensors for the Food Industry*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- Kress-Rogers, E. 2001. *Instrumentation for Food Quality Assurance*. In E. Kress-Rogers & C. J. B. Brimelow (Eds.), *Instrumentation and Sensors for the Food Industry*. Edition 2nd. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- Kuswandi, B. 2008. *Sensor Kimia Teori, Praktek & Aplikasi*. Jember: Bagian Kimia Farmasi PS Farmasi Universitas Jember.
- Lurie, S. and R. Ben-Arie, 1983. Microsomal membrane changes during the ripening of apple fruit. *Pl. Physiol.*, 73: 636-8.
- Margantan, A. 2001. *Banyak Makanan Berkhasiat Obat*. Solo: CV. Aneka.
- Neubeck, C. E. 1975. Fruits, fruit products, and wines. In R. Gerald (Ed.), *Enzymes in food processing*. p. 397- 442 New York, San Francisco, London: Academic Press.

- Niem, J., Miyara, I., Etedgui, Y., Reuveni, M., Flaishman, M., et al. 2007. Core rot development in red delicious apples is affected by susceptibility of the seed locule to *Alternaria alternata* colonization. *Phytopathology*, vol. 97 (11) pp. 1415-1421.
- Nybohm, N. 1959. On the Inheritance of Acidity in Cultivated Apples. *Hereditas*, 45(2-3), 332-350.
- Padayatty, S., J. 2003. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(1): 18-35.
- Sa'adah, Lailufary I. N. dan Estiasih, Teti. 2015. Karakterisasi Minuman Sari Apel Produksi Skala Mikro dan Kecil di Kota Batu: Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. Vol. 3 No 2 p.374-380.
- Sacher, J.A., 1973. Senescence and postharvest physiology. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, 24: 197-224.
- Sheffield, J. B. 2008. An Introduction to Image; a Useful Tool for Biological Image Processing and Analysis. *Microsc Microanal* 14(Suppl 2).
- Shills, M. E., Shike, M., Ross, A. C., Caballero B., Cousins R.J. 2006. *Modern Nutrition in Health and Disease*. 10th ed. Lippincott Williams & Wilkins.
- Sudjatha, W. dan Wisaniyasa, N. W. 2017. *Fisiologi dan Teknologi Pascapanen (Buah dan Sayuran)*. Denpasar: Udayana University Press.
- Susanto W., H. dan Setyohadi B., R. 2011. Pengaruh varietas apel (*Mallus sylvestris* Mill) dan lama fermentasi khamir *Saccharomices cerevisiae* sebagai perlakuan pra-pengolahan terhadap karakteristik sirup. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol 12 (3): 135-142.
- Tawali, Abu Bakar. 2004. *Laporan Akhir-Proyek Rantai Pendingin Indonesia Program Penelitian Pasca Panen- Pengaruh Suhu Penyimpanan terhadap Mutu Buah-buahan Impor yang Dipasarkan di Sulawesi Selatan*. Makassar: Indonesia Cold Chain Project dengan Jurusan Teknologi Pertanian Fapertahut UNHAS.
- Visser, T., & Verhaegh, J. J. 1978. Inheritance and Selection of Some Fruit Characters of Apple .1. Inheritance of Low and High Acidity. *Euphytica*, 27(3), 753-760.
- Wayne, S.R., 1983. Quality control circle and company-wide quality control. *Quality Progress*, 16: 14-17.

- Wildman, R. E. C. 2001. *Handbook of Nutraceuticals dan Functional Food*. Boca Raton: CRC Press.
- Wills, R. B. H., McGlasson, B., Graham, D. dan Joyce, D. 1998. *Postharvest. Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals. 4th ed.* Sydney: University of New South Wales.
- Wirakusumah, E. S. 1995. *Buah dan Sayur untuk Terapi*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Wolfe K, Liu RH. 2003. Apple peel as a value-added food ingredient. *J Agric Food Chem*. Vol 51(6): 1676-1683.
- Xu, K. 2012. Identifying the Gene Controlling Apple Fruit Acidity and its Applications in Apple Breeding. *NYS Agricultural Experiment Station*, vol. 20 pp. 25.
- Yam, K. L., Takhistov, P. T., dan Miltz, J., 2005. *Intelligent Packaging: Concepts and Application*. JFS R. Concise Reviews/ Hypotheses in Food Science.
- Zhang, Y. Z., Li, P. M., & Cheng, L. L. 2010. Developmental changes of carbohydrates, organic acids, amino acids, and phenolic compounds in 'Honeycrisp' apple flesh. *Food Chemistry*, 123(4), 1013-1018.
- Zhang, M., Zhang, G., You, Y., Yang, C., Li, P., and Ma, F. 2016. Effects Of Relative AirHumidity On The Phenolic Compounds Contentsand Coloration In The Fuji' Apple (*Malus Domestica Borkh.*) Peel. *Scientia Horticulturae*, 201;18–23.



Uji Tekstur									
<b>Suhu ruang</b>	Sangat tidak suka								
	Tidak suka								
	Cukup suka								
	Suka								
	Sangat suka								
<b>Suhu chiller</b>	Sangat tidak suka								
	Tidak suka								
	Cukup suka								
	Suka								
	Sangat suka								

Nilai (*Scoring*) tingkat kesukaan: 1: Sangat tidak suka, 3: Tidak suka, 5: Cukup suka, 7: Suka, 9: Sangat suka

## LAMPIRAN B. HASIL UJI SENSORI (UJI HEDONIK)

*a. Suhu Ruang*

Jumlah panelis	Lama penyimpanan (hari)	Parameter uji			Rata-rata
		Bau	Warna	Tekstur	
10	0	84	86	86	85,33
10	2	80	74	68	74,00
10	4	64	66	66	65,33
10	6	60	58	58	58,67
10	8	44	46	44	44,67
10	10	34	30	34	32,67
10	12	32	22	24	26,00
10	14	30	20	22	24,00
Jumlah		428	402	402	410,67
Rata-rata		53,5	50,25	50,25	

Perhitungan :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{410,67}{8} = 51,33$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

$$= \frac{(85,33 - 51,33)^2 + (74,00 - 51,33)^2 + \dots + (26,00 - 51,33)^2 + (24,00 - 51,33)^2}{8}$$

$$S^2 = \frac{3.700,9}{8} = 462,61$$

$$s = \sqrt{462,61} = 21,51$$

$$P(\bar{x} - (1,96 \cdot s/\sqrt{n})) \leq \mu \leq (\bar{x} + (1,96 \cdot s/\sqrt{n}))$$

$$P(51,33 - (1,96 \cdot 21,51/2,83)) \leq \mu \leq (51,33 + (1,96 \cdot 21,51/2,83))$$

$$P(51,33 - 14,9 \leq \mu \leq 51,33 + 14,9)$$

$$P(36,43 \leq \mu \leq 66,24)$$



**b. Suhu Chiller**

Jumlah panelis	Lama penyimpanan (hari)	Parameter uji			Rata-rata
		Bau	Warna	Tekstur	
10	0	88	88	88	88,00
10	2	86	86	86	86,00
10	4	84	74	86	81,33
10	6	74	74	64	70,67
10	8	64	54	54	57,33
10	10	64	54	53	57,00
10	12	52	52	50	51,33
10	14	42	42	38	40,67
Jumlah		554	524	519	532,33
Rata-rata		69,25	65,5	64,875	

Perhitungan :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{532,33}{8} = 66,54$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

$$= \frac{(88,00 - 66,54)^2 + (86,00 - 66,54)^2 + \dots + (51,33 - 66,54)^2 + (40,67 - 66,54)^2}{8}$$

$$S^2 = \frac{2.151,45}{8} = 268,93$$

$$s = \sqrt{268,93} = 16,4$$

$$P(\bar{x} - (1,96 \cdot s/\sqrt{n})) \leq \mu \leq (\bar{x} + (1,96 \cdot s/\sqrt{n}))$$

$$P(66,54 - (1,96 \cdot 16,4/2,83)) \leq \mu \leq (66,54 + (1,96 \cdot 16,4/2,83))$$

$$P(66,54 - 11,16 \leq \mu \leq 66,54 + 11,16)$$

$$P(55,38 \leq \mu \leq 77,7)$$

LAMPIRAN C. OPTIMASI KONSENTRASI INDIKATOR PH SEBAGAI SENSOR KESEGARAN

1. *Methyl orange*

a. Konsentrasi 500 ppm

pH standar	<i>Mean RGB</i>				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
3	149,477	150,134	149,396	149,669	0,405	0,003
3,5	144,114	146,386	146,193	145,5643	1,260	0,009
4	141,655	141,362	142,178	141,7317	0,413	0,003
4,5	139,487	138,017	140,914	139,4727	1,449	0,010

b. Konsentrasi 1000 ppm

pH standar	<i>Mean RGB</i>				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
3	139,14	134,707	132,091	135,3127	3,563	0,026
3,5	161,085	163,786	162,007	162,2927	1,373	0,008
4	126,074	123,313	126,512	125,2997	1,734	0,014
4,5	125,724	125,734	127,531	126,3297	1,040	0,008

c. Konsentrasi 1500 ppm

pH standar	<i>Mean RGB</i>				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
3	119,562	117,036	118,691	118,4297	1,283	0,011
3,5	133,988	132,891	134,738	133,8723	0,929	0,007
4	117,327	116,944	116,484	116,9183	0,422	0,004
4,5	117,911	117,141	117,678	117,5767	0,395	0,003

## 2. Bromophenol blue

a. 500 ppm

pH standar	<i>Mean RGB</i>				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
3	125,627	128,333	128,345	127,435	1,566	0,012
3,5	147,099	148,315	147,8	147,738	0,610	0,004
4	108,167	106,22	108,73	107,7057	1,317	0,012
4,5	106,264	104,418	107,455	106,0457	1,530	0,014

b. 1000 ppm

pH standar	<i>Mean RGB</i>				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
3	88,658	87,706	89,217	88,527	0,764	0,009
3,5	103,471	106,69	102,703	104,288	2,115	0,020
4	78,145	79,636	76,647	78,1427	1,495	0,019
4,5	74,353	76,715	76,993	76,0203	1,451	0,019

c. 1500 ppm

pH standar	<i>Mean RGB</i>				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
3	80,643	78,295	78,776	79,238	1,240	0,016
3,5	74,24	73,531	76,809	74,86	1,725	0,023
4	70,924	71,719	69,799	70,814	0,965	0,014
4,5	68,124	72,824	72,602	71,1833	2,652	0,037

LAMPIRAN D. DATA PERUBAHAN WARNA SENSOR KESEGARAN  
 METHYL ORANGE DAN BROMOPHENOL BLUE

*a. Suhu Ruang*

*1. Methyl orange*

Hari ke	<i>Mean RGB</i>				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
1	145,786	144,533	146,895	145,738	1,182	0,008
2	146,405	144,634	144,501	145,18	1,063	0,007
3	144,389	144,231	142,982	143,8673	0,771	0,005
4	144,512	144,071	143,692	144,0917	0,410	0,003
5	143,801	144,912	143,017	143,91	0,952	0,007
6	142,789	142,589	142,963	142,7803	0,187	0,001
7	142,061	141,712	141,021	141,598	0,529	0,004
8	141,291	141,081	140,79	141,054	0,252	0,002
9	140,671	141,188	140,912	140,9237	0,259	0,002
10	141,621	141,91	141,021	141,5173	0,453	0,003
11	140,086	141,971	141,682	141,2463	1,015	0,007
12	141,683	141,921	142,75	142,118	0,560	0,004
13	141,791	141,692	141,793	141,7587	0,058	0,000
14	141,801	140,291	139,791	140,6277	1,046	0,007

## 2. Bromophenol blue

Hari ke	Mean RGB				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
1	137,453	128,347	125,909	130,5697	6,085	0,047
2	128,692	129,467	128,808	128,989	0,418	0,003
3	125,803	128,62	128,081	127,5013	1,495	0,012
4	141,139	136,664	138,087	138,63	2,286	0,016
5	144,438	148,509	142,48	145,1423	3,076	0,021
6	138,592	139,481	139,53	139,201	0,528	0,004
7	133,699	138,92	138,699	137,106	2,953	0,022
8	131,672	128,071	130,501	130,0813	1,837	0,014
9	124,904	124,968	128,691	126,1877	2,168	0,017
10	128,036	128,62	124,629	127,095	2,155	0,017
11	110,87	108,352	105,529	108,2503	2,672	0,025
12	108,345	107,459	108,352	108,052	0,514	0,005
13	106,532	105,321	105,269	105,7073	0,715	0,007
14	103,72	105,862	106,362	105,3147	1,403	0,013

## b. Suhu Chiller

### 1. Methyl orange

Hari ke	Mean RGB				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
1	146,793	146,392	146,269	146,4847	0,274	0,002
2	145,473	146,231	145,003	145,569	0,620	0,004
3	145,021	144,721	145,215	144,9857	0,249	0,002
4	144,692	145,214	144,17	144,692	0,522	0,004
5	144,001	145,023	144,768	144,5973	0,532	0,004
6	144,593	144,702	144,32	144,5383	0,197	0,001
7	144,052	143,629	144,001	143,894	0,231	0,002
8	143,592	142,702	142,592	142,962	0,548	0,004
9	143,692	142,591	142,259	142,8473	0,750	0,005
10	142,63	142,626	142,598	142,618	0,017	0,000
11	142,73	142,622	142,052	142,468	0,364	0,003
12	141,849	142,052	142,03	141,977	0,111	0,001
13	141,923	141,58	141,624	141,709	0,187	0,001
14	141,703	141,689	141,583	141,6583	0,066	0,000



*2. Bromophenol blue*

Hari ke	<i>Mean RGB</i>				SD	CV
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata		
1	142,48	141,139	148,509	144,0427	3,926	0,027
2	162,065	159,091	166,206	162,454	3,573	0,022
3	161,486	163,172	160,126	161,5947	1,526	0,009
4	157,549	156,818	157,02	157,129	0,377	0,002
5	155,592	156,972	154,816	155,7933	1,092	0,007
6	154,716	153,602	153,64	153,986	0,632	0,004
7	142,6	144,773	144,72	144,031	1,240	0,009
8	142,73	142,632	142,17	142,5107	0,299	0,002
9	141,603	141,73	140,473	141,2687	0,692	0,005
10	142,28	141,701	141,612	141,8643	0,363	0,003
11	141,872	140,219	141,521	141,204	0,871	0,006
12	140,027	141,129	140,721	140,6257	0,557	0,004
13	140,261	140,261	140,29	140,2707	0,017	0,000
14	140,927	140,489	140,028	140,4813	0,450	0,003

## LAMPIRAN E. DATA SUSUT BERAT

## a. Suhu Ruang

Hari ke	Replikasi	Berat apel awal (mg)	Berat apel akhir (mg)	Susut berat (%)	Rata-rata	SD	CV
0	1	240,81	240,81	0			
	2	240,89	240,89	0			
	3	240,73	240,73	0			
2	1	240,12	239,81	0,1291			
	2	240,2	239,34	0,3580			
	3	239,96	239,19	0,3209	0,2693	0,123	0,456
4	1	239,49	237,87	0,6764			
	2	239,56	237,96	0,6679			
	3	239,67	238,02	0,6884	0,6776	0,010	0,015
6	1	238,98	236,12	1,1968			
	2	238,54	235,91	1,1025			
	3	238,51	236,26	0,9434	1,0809	0,128	0,118
8	1	235,99	231,95	1,7119			
	2	236,1	231,89	1,7831			
	3	235,95	231,87	1,7292	1,7414	0,037	0,021
10	1	230,32	225,83	1,9494			
	2	230,26	225,79	1,9413			
	3	230,29	225,89	1,9106	1,9338	0,020	0,011
12	1	225,87	220,78	2,2535			
	2	225,83	220,15	2,5152			
	3	225,36	220,67	2,0811	2,2833	0,219	0,096
14	1	220,29	215,17	2,3242			
	2	220,36	215,18	2,3507			
	3	220,23	215,13	2,3158	2,3302	0,018	0,008

## b. Suhu Chiller

Hari ke	Replikasi	Berat apel awal (mg)	Berat apel akhir (mg)	Susut berat (%)	Rata-rata	SD	CV
0	1	240,34	240,34	0			
	2	240,35	240,35	0			
	3	240,31	240,31	0			
2	1	240,01	239,71	0,1250			
	2	240,04	239,69	0,1458			
	3	240,05	239,73	0,1333	0,1347	0,010	0,078
4	1	239,54	238,98	0,2338			
	2	239,52	238,95	0,2380			
	3	239,58	238,92	0,2755	0,2491	0,023	0,092
6	1	238,62	237,42	0,5029			
	2	238,59	237,45	0,4778			
	3	238,62	237,43	0,4987	0,4931	0,013	0,027
8	1	237,52	235,96	0,6568			
	2	237,54	235,94	0,6736			
	3	237,49	235,91	0,6653	0,6652	0,008	0,013
10	1	235,53	233,58	0,8279			
	2	235,51	233,52	0,8450			
	3	235,55	233,49	0,8745	0,8491	0,024	0,028
12	1	233,19	230,78	1,0335			
	2	233,22	230,79	1,0419			
	3	233,2	230,73	1,0592	1,0449	0,013	0,013
14	1	230,52	227,57	1,2797			
	2	230,54	227,59	1,2796			
	3	230,48	227,5	1,2930	1,2841	0,008	0,006

## LAMPIRAN F. DATA UJI pH

## a. Suhu Ruang











Hari ke	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata	SD	CV
1	4,19	4,21	4,23	4,21	0,020	0,005
2	4,25	4,27	4,26	4,26	0,010	0,002
3	4,36	4,32	4,33	4,34	0,021	0,005
4	4,39	4,38	4,4	4,39	0,010	0,002
5	4,39	4,43	4,45	4,42	0,031	0,007
6	4,46	4,48	4,46	4,47	0,012	0,003
7	4,49	4,51	4,52	4,51	0,015	0,003
8	4,54	4,55	4,57	4,55	0,015	0,003
9	4,62	4,65	4,64	4,64	0,015	0,003
10	4,73	4,78	4,76	4,76	0,025	0,005
11	4,89	4,85	4,87	4,87	0,020	0,004
12	4,9	4,9	4,92	4,91	0,012	0,002
13	4,95	4,96	4,97	4,96	0,010	0,002
14	4,98	5,01	4,99	4,99	0,015	0,003

## b. Suhu Chiller














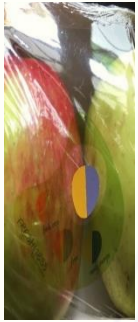

Hari ke	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata	SD	CV
1	3,89	3,94	3,92	3,92	0,025	0,006
2	3,94	3,96	3,97	3,96	0,015	0,004
3	3,99	4,01	3,99	4,00	0,012	0,003
4	4,19	4,18	4,17	4,18	0,010	0,002
5	4,23	4,24	4,27	4,25	0,021	0,005
6	4,29	4,28	4,28	4,28	0,006	0,001
7	4,36	4,35	4,38	4,36	0,015	0,004
8	4,4	4,39	4,41	4,40	0,010	0,002
9	4,46	4,49	4,48	4,48	0,015	0,003
10	4,51	4,54	4,53	4,53	0,015	0,003
11	4,58	4,59	4,6	4,59	0,010	0,002
12	4,65	4,65	4,66	4,65	0,006	0,001
13	4,78	4,75	4,77	4,77	0,015	0,003
14	4,85	4,86	4,89	4,87	0,021	0,004










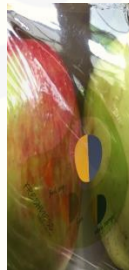


LAMPIRAN G. TABEL PERBANDINGAN INTENSITAS WARNA SENSOR DENGAN PARAMETER UJI

a. Suhu Ruang











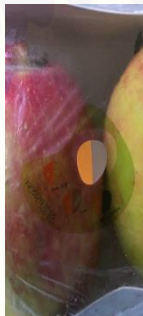
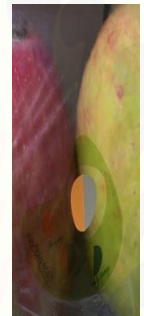
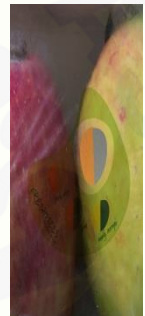
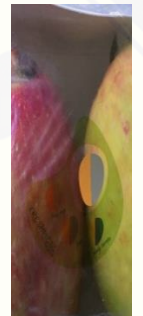

Hari ke-		1	2	3	4	5
Sensor kesegaran	<i>Methyl orange (MO)</i>					
	<i>Bromophenol blue (BPB)</i>	Segar	Segar	Segar	Segar	Segar
<i>ImageJ mean RGB</i>	<i>Methyl orange (MO)</i>	145,738	145,18	143,867	144,092	143,91
	<i>Bromophenol blue (BPB)</i>	130,57	128,989	127,501	138,63	145,142
Aplikasi sensor						
Kesegaran (Uji sensori)			74,00		65,33	
Susut berat buah apel (%)			0,27		0,68	
pH buah apel		4,21	4,26	4,34	4,39	4,42






















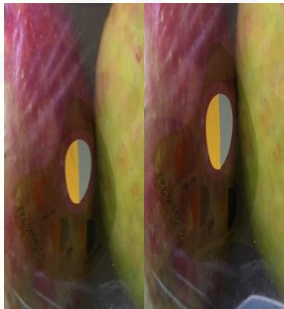

Hari ke-		6	7	8	9	10
<b>Sensor</b>	<i>Methyl</i>					
<b>kesegaran</b>	<i>orange (MO)</i>	Masih Segar	Masih Segar	Masih Segar	Tidak Segar	Tidak Segar
	<i>Bromophenol</i>					
	<i>blue (BPB)</i>					
<b>ImageJ</b>	<i>Methyl</i>	142,78	141,598	141,054	140,924	141,517
<b>mean</b>	<i>orange (MO)</i>					
<b>RGB</b>	<i>Bromophenol</i>	139,201	137,106	130,081	126,188	127,095
	<i>blue (BPB)</i>					
<b>Aplikasi</b>						
<b>sensor</b>						
<b>Kesegaran</b>		58,67		44,67		32,67
<b>(Uji</b>						
<b>sensori)</b>						
<b>Susut</b>		1,08		1,74		1,93
<b>berat</b>						
<b>buah apel</b>						
<b>(%)</b>						
<b>pH buah</b>		4,47	4,51	4,55	4,64	4,76
<b>apel</b>						

Hari ke-		11	12	13	14
Sensor kesegaran	<i>Methyl orange (MO)</i>				
	<i>Bromophenol blue (BPB)</i>	Tidak Segar	Tidak Segar	Tidak Segar	Tidak Segar
	<i>ImageJ mean RGB</i>				
Aplikasi sensor	<i>Methyl orange (MO)</i>	141,246	142,118	141,759	140,628
	<i>Bromophenol blue (BPB)</i>	108,25	108,052	105,707	105,315
					
Kesegaran (Uji sensori)		26,00		24,00	
Susut berat buah apel (%)			2,28		2,33
pH buah apel		4,87	4,91	4,96	4,99

*b. Suhu Chiller*

Hari ke-		1	2	3	4	5
<b>Sensor kesegaran</b>	<i>Methyl orange (MO)</i>					
	<i>Bromophenol blue (BPB)</i>					
		Segar	Segar	Segar	Segar	Segar
<b>ImageJ mean RGB</b>	<i>Methyl orange (MO)</i>	146,485	145,569	144,986	144,692	144,597
	<i>Bromophenol blue (BPB)</i>	144,043	162,454	161,595	157,129	155,793
<b>Aplikasi sensor</b>						
<b>Kesegaran (Uji sensori)</b>	<b>Susut berat buah apel (%)</b>		86,00		81,33	
	<b>pH buah apel</b>	3,92	3,96	4,00	4,18	4,25

Hari ke-		6	7	8	9	10
<b>Sensor</b> <b>kesegaran</b>	<i>Methyl orange (MO)</i>					
	<i>Bromophenol blue (BPB)</i>	Segar	Masih Segar	Masih Segar	Masih Segar	Masih Segar
<i>ImageJ</i> <i>mean</i>	<i>Methyl orange (MO)</i>	144,538	143,894	142,962	142,847	142,618
	<i>Bromophenol blue (BPB)</i>	153,986	144,031	142,511	141,269	141,864
<b>Aplikasi sensor</b>						
<b>Kesegaran (Uji sensori)</b>		70,67		57,33		57,00
<b>Susut berat buah apel (%)</b>		0,49		0,67		0,85
<b>pH buah apel</b>		4,28	4,36	4,40	4,48	4,53

Hari ke-		11	12	13	14
<b>Sensor</b>	<i>Methyl</i>				
<b>kesegaran</b>	<i>orange (MO)</i>	Masih Segar	Tidak Segar	Tidak Segar	Tidak Segar
	<i>Bromophenol</i>				
	<i>blue (BPB)</i>				
<b>ImageJ</b>	<i>Methyl</i>	142,468	141,977	141,709	141,658
<b>mean</b>	<i>orange (MO)</i>				
<b>RGB</b>	<i>Bromophenol</i>	141,204	140,626	140,271	140,481
	<i>blue (BPB)</i>				
<b>Aplikasi</b>					
<b>sensor</b>					
<b>Kesegaran</b>			51,33		40,67
<b>(Uji</b>					
<b>sensori)</b>					
<b>Susut</b>			1,04		1,28
<b>berat</b>					
<b>buah apel</b>					
<b>(%)</b>					
<b>pH buah</b>		4,59	4,65	4,77	4,87
<b>apel</b>					