



**APLIKASI LABEL PINTAR EDIBLE DARI EKSTRAK ANTOSIANIN
UBI JALAR UNGU (*Ipamoea batatas* L.) UNTUK MONITORING
KESEGARAN SAYURAN CABAI HIJAU (*Capsicum annum* L.)**

SKRIPSI

Oleh

Aissa Dinar Yanuariski

NIM 152210101051

BAGIAN KIMIA DAN BIOSENSOR

FAKULTAS FARMASI

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**APLIKASI LABEL PINTAR EDIBLE DARI EKSTRAK ANTOSIANIN
UBI JALAR UNGU (*Ipamoea batatas* L.) UNTUK MONITORING
KESEGERAN SAYURAN CABAI HIJAU (*Capsicum annuum* L.)**

SKRIPSI

diajukan untuk melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Farmasi (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Farmasi

Oleh

Aissa Dinar Yanuariski

NIM 152210101051

**BAGIAN KIMIA DAN BIOSENSOR
FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS JEMBER
2010**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan rahmat dan karunia sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Papa dan Mama tercinta yang selalu memberikan semangat, kekuatan, kasih sayang dan doa yang tak pernah putus.
3. Kakakku tersayang Arthalina Imansari yang membuatku semangat untuk mengerjakan skripsi ini.
4. Bapak Ibu Guru SDN Jember Lor 1, SMPN 6 Jember, SMAN 2 Jember dan seluruh Dosen Fakultas Farmasi Universitas Jember yang telah memberi begitu banyak ilmu dan membimbing saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman seperjuangan yang selalu membantu dan mendoakan.
6. Almamater tercinta Fakultas Farmasi Universitas Jember.

MOTO

Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar, maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan

(Imam Syafi'i)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya.”

(QS Al Baqarah 286)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Aissa Dinar Yanuariski

NIM : 152210101051

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Aplikasi Label Pintar Edible Dari Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipamoea batatas* L.) Untuk Monitoring Kesegaran Cabai Hijau (*Capsicum annuum* L.)” 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,
Yang menyatakan,

Aissa Dinar Yanuariski
152210101051

SKRIPSI

**APLIKASI LABEL PINTAR EDIBLE DARI EKSTRAK ANTOSIANIN
UBI JALAR UNGU (*Ipamoea batatas L.*) UNTUK MONITORING
KESEGERAN SAYURAN CABAI HIJAU (*Capsicum annum L.*)**

Oleh:

Aissa Dinar Yanuariski

152210101051

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ari Satria N, S.F., GDipSc., Msc-res.,PhD.,Apt

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Aplikasi Label Pintar Edible dari Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* L.) untuk Monitoring Kesegaran Cabai Hijau (*Capsicum annuum* L.) karya Aissa Dinar Yanuariski telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Farmasi Universitas Jember

Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama

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

Dosen Pembimbing Anggota

Ari Satia N, S.F., GDipSc., MSc-res.,PhD.,Apt
NIP 1978907212003121001

Dosen Penguji I

Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm
NIP 197604142002122001

Dosen Penguji II

Nia Kristiningrum, S.Farm., Apt., M.Farm
NIP 198204062006042001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember,

Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm
NIP 197604142002122001

RINGKASAN

Aplikasi Label Pintar Edible Dari Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipamoea batatas* L.) Untuk Monitoring Kesegaran Cabai Hijau (*Capsicum annuum* L.) : Aissa Dinar Yanuariski: 152210101051; 2019; Fakultas Farmasi, Universitas Jember

Produk sayuran merupakan bahan pangan yang banyak digemari oleh masyarakat. Produk sayuran seperti cabai hijau merupakan suatu komoditas sayuran yang tidak dapat ditinggalkan masyarakat dalam kehidupan sehari – hari. Selain untuk sayuran dan sebagai penyedap masakan, cabai juga mempunyai kegunaan yang lain biasanya juga tersedia dalam bentuk kemasan segar dan terjual di supermarket. Sehingga perlu disebutkan pentingnya peningkatan pemantauan waktu pembusukan atau kesegaran produk-produk tersebut yang dengan mudah mengevaluasi kualitas produk-produk yang baru dan memastikan keamanannya selama penyimpanan dan penjualan. Salah satu alternatif lain untuk mendukung masalah tersebut yaitu menggunakan kemasan cerdas (*smart packaging*). Dewasa ini banyak dikembangkan kemasan pintar (*smart packaging*) yaitu kemasan yang mampu memantauan kondisi makanan. mengenai label pintar dengan sensor kesegaran dengan indikator pH yang dapat mendeteksi penurunan mutu suatu bahan pangan untuk mendapatkan bahan pangan yang aman dan sehat. Prinsip mendasar dari suatu sensor pH adalah perubahan warna yang dapat diamati ketika sensor tersebut ditempatkan pada kondisi asam, netral, atau basa. Berdasarkan hal itu, maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sensor kesegaran dengan indikator pH dari bahan alami yang lebih ramah lingkungan dan aman digunakan. Indikator pH yang digunakan adalah antosianin dari ekstrak ubi jalar ungu dengan membra film dari pati singkong dan kitosan.

Dalam penelitian ini dilakukan ekstraksi ubi jalar ungu dengan etanol 96%, sehingga diperoleh kadar antosianin totalnya sebesar 35,07mg/L, membran film berasal dari pati singkong dan kitosan sehingga diperoleh membran dengan tebal 0,27 mm. Kemudian dilakukan optimasi kondisi fabrikasi sensor meliputi, waktu imobilisasi, konsentrasi pengikat (PVA) dan waktu imobilisasi. Waktu imobilisasi

optimum adalah 90 menit dengan konsentrasi PVA yang digunakan 1% dan perbandingan ekstrak dengan PVA 1:3. Pengamatan perubahan warna sensor dianalisa dengan program *ImageJ* dengan menggunakan nilai *mean green*.

Karakterisasi sensor yang dilakukan pada penelitian ini meliputi waktu respon, reproduisibilitas, dan waktu pakai. Karakterisasi sensor dilakukan dengan mereaksikan sensor pada pH segar cabai hijau (6,2) dan pH cabai hijau (8,2). Pada pH 6,2 dan 8,2 sensor menunjukkan keadaan *steady state* pada menit ke-9 dengan nilai *mean green* berturut-turut dan 125,144 dan 123,629. Pengamatan reproduisibilitas dilakukan selama 3 hari pada pH 6,2 dan 8,2 dengan 3 kali pengulangan dan menunjukkan nilai RSD <5%. Penentuan waktu pakai sensor dilakukan dengan membandingkan antara sensor yang disimpan pada suhu ruang dan suhu *chiller*, pengamatan dilakukan sampai sensor menunjukkan perubahan karakteristik dengan penurunan nilai *mean green* >15. Perubahan karakteristik sensor yang disimpan pada suhu ruang terjadi setelah hari ke-13 dan setelah hari ke-17 pada suhu *chiller*.

Aplikasi sensor kesegaran pada sampel kemasan cabai hijau menghasilkan sensor kesegaran berwarna ungu tua saat cabai hijau dalam keadaan segar, ungu muda saat masih segar dan aman dikonsumsi, dan warna hijau ketika mulai busuk dan tidak aman untuk dikonsumsi.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Aplikasi Label Pintar Edible Dari Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipamoea batatas* L.) Untuk Monitoring Kesegaran Cabai Hijau (*Capsicum annum* L.)”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Farmasi (S1) dan mencapai gelar Sarjana Farmasi.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas izin dan pertolongan-Nya, sehingga bisa menyelesaikan skripsi dan mendapatkan gelar sarjana;
2. Ibu Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm., selaku Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember;
3. Prof. Drs. Bambang Kuswandi., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ari Satria Nugraha Ari Satia N, S.F., GDipSc., MSc-res.,PhD.,Apt selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah bersedia meluangkan waktu, pikiran, perhatian, dan dengan sabar membimbing penulis untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini;
4. Ibu Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm. selaku Dosen Penguji Utama dan Ibu Nia Kristiningrum S.Farm, M.Sc.,Apt. selaku Dosen Penguji Anggota atas saran yang membangun untuk perbaikan dalam penulisan skripsi ini;
5. Ibu Lusya Oktora R.K.S S.F., M.Farm., Apt. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing, memberi dukungan dan semangat penulis selama masa perkuliahan;
6. Seluruh Dosen Fakultas Farmasi Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan pada penulis;
7. Ibu Wayan, Ibu Widi, Mbak Hani, dan Mbak Parka selaku asisten lab yang telah banyak membantu dan memudahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;

8. Papa, Mama Tercinta serta Kakak Arthalina Imansari pengorbanan, kasih sayang, kekuatan, semangat dan doa yang tidak pernah putus bagi penulis;
9. Ardi Tri Yunansyah, calon teman hidup yang selalu menjadi tempat berkeluh kesah penulis akan dinamika perkuliahan maupun tugas akhir, terimakasih untuk support dan perhatiannya selama ini. Semoga kita mencapai cita-cita bersama.
10. Geng “KIMVUL” yang terdiri dari Cagar, Thoriq (Babe), Yatma, Adif, Aulia, Ina, Atha, Della, Bella. Terimakasih telah menjadi sahabat penulis dari jaman putih abu-abu sampai sekarang.
11. Sahabat semasa SMP, Hajar, Maulida, Iiq, Yuyun. Semangat untuk kita dan sukses untuk kita semua.
12. Geng “Ngebut S-Farm”, yang terdiri dari Nimas, Ulfi, Yesika, Dindha, Lina, Dian, dan Juju sahabat dibangku perkuliahan. Terimakasih sudah menjadi teman berdiskusi sekaligus menemani suka duka dalam dunia perkuliahan maupun dunia pribadi penulis.
13. Partner “BIOSENSOR ASHOY”, yang terdiri dari Mita dan Enggar yang selalu sabar akan kegupuhanku dan kelemotanku. Terimakasih untuk selalu berbagi pengalaman maupun pengetahuan.
14. Retno Ayu Nitasari, terimakasih sudah menemani penulis dalam masa-masa sulit. Sukses selalu, Nok.
15. Golongan NIM Akhir, Adelia, Kartini, Yemima, Dinda R, Mita, Husniya dan Fantoni. Terimakasih menjadi teman kelompok praktikum maupun teori yang sangat gercep sekali maupun kadang suka lelet.
16. Teman-teman KKN 181 Sumpalsalam (Celeng), Aak, Akbar, Dyto, Hasbi, Nia, Nita, Putri, Riska, dan Lya. Terimakasih telah memberi semangat sekaligus menjadi teman merantau meski cuma 45 hari.
17. Senior Biochemosensor yang selalu menjawab pertanyaan-pertanyaanku Mbak Putu, Mbak Osy, Mbak Dyah, Mas Rizki, Mas Rafli, terimakasih untuk bantuan yang tidak terhitung;
18. Teman-teman LIBITUM (Farmasi UNEJ 2015), kelas A 2015 yang selalu saling memberi semangat dan dukungan;

19. Teman-Teman sekaligus Adik-adik FORISMA (2015), Eril, Ulfia, Zuliana, Wilda, Wulan, Dila, dan seluruh anggota FORISMA. Terimakasih telah menjadi tempat untuk berproses bersama.

20. Teman-teman seperjuangan laboraturium kimia, Nuri, Arini, Ulfa, Diana, Gayuh, Daniel, Bayu, Juju, Asrin, Among. Terimakasih untuk menjadi teman seperjuangan yang saling mensupport.

21. Serta untuk semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan untuk seluruh doa yang terucap tanpa sepengetahuan penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada skripsi ini, sehingga penulis menerima saran dan kritik dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca semua.

Jember, 14 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN	iii
MOTO	iv
PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR RUMUS	xix
BAB. 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kemasan Pintar	6
2.2 Sensor	7
2.2.1 Definisi Sensor Kimia.....	8
2.2.2 Sensor pH.....	9
2.2.3 Karakterisasi Sensor	10
2.3 Antosianin	10
2.3.1 Struktur Antosianin.....	10

2.3.2 Sumber Antosianin	12
2.3.3 Sifat dan Reaksi Antosianin.....	13
2.4 Ubi Jalar Ungu	14
2.5 Ekstraksi	15
2.6 Film <i>Edible</i>	16
2.7 Bahan-Bahan Film <i>Edible</i>	17
a. Kitosan	17
b. Pati Singkong	18
c. Asam Asetat	18
d. Gliserol.....	19
2.8 Polivinil Alkohol.....	20
2.9 Indikator Kesegaran.....	20
2.10 Teknik Imobilisasi Reagen.....	21
2.10.1 Teknik Imobilisasi Fisika	23
2.11.2 Teknik Imobilisasi Kimia	24
2.11 ImageJ.....	25
2.12 Tinjauan Sampel Cabai Hijau	27
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Jenis penelitian.....	30
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	30
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	30
3.4 Tahapan Penelitian	31
3.4.1 Tahap Percobaan	31
3.4.2 Diagram Alur Penelitian	32
3.5 Prosedur Penelitian.....	33

3.5.1	Pembuatan Indikator Ubi Jalar Ungu.....	33
1)	Pembuatan Ekstrak Ubi Jalar Ungu	34
2)	Penentuan Konsentrasi Antosianin Total.....	34
3.5.2	Pembuatan Membran Sensor Edible Pati Singkong – Kitosan.....	34
3.5.3	Karakterisasi Membran Film <i>Edible</i>	34
1)	Ketebalan membran.....	35
2)	Karakterisasi pori membran.....	36
3.5.4	Optimasi Film <i>Edible</i>	35
3.5.5	Fabrikasi Sensor <i>Edible</i>	36
3.5.6	Karakterisasi Sensor <i>Edible</i>	36
3.5.7	Aplikasi Sensor <i>Edible</i> Pada Sampel Sayuran Cabai Hijau.....	37
3.5.8	Analisis Data	38
3.5.9	Analisis Mutu dan Evaluasi Sampel Cabai Hijau	38
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Pembuatan Indikator Ubi Jalar Ungu	41
4.1.1	Ekstraksi Ubi Jalar Ungu	41
4.1.2	Penentuan Kadar Antosianin Total	41
4.2	Pembuatan Membran Film <i>Edible</i>	42
4.3	Karakterisasi Membran Film <i>Edible</i> ...Error! Bookmark not defined.	
4.3.1	Karakterisasi ketebalan membran	42
4.3.2	Karakterisasi pori membran	43
4.4	Pemilihan Nilai RGB	43
4.5	Optimasi Sensor <i>Edible</i>	44
4.5.1	Optimasi Waktu Imobilisasi.....	44
4.5.2	Optimasi Rasio Perbandingan Ekstrak : Pengikat (PVA).....	47

4.5.3	Optimasi Konsentrasi Pengikat (PVA)	46
4.6	Fabrikasi Sensor Kesegaran <i>Edible</i>	47
4.7	Karakterisasi Sensor.....	48
4.7.1	Waktu Respon	48
4.7.2	Reprodusibilitas	49
4.7.3	Waktu Pakai	50
4.8	Perubahan Warna Sensor Kesegaran <i>Edible</i> Selama Proses Penyimpanan Cabai Hijau Pada Suhu Ruang dan Suhu Chiller	52
4.9	Analisis Mutu dan Evaluasi Sampel	54
4.9.2	Susut Bobot	56
4.9.3	Uji Sensory Evaluation	57
a.	Warna.....	60
b.	Bau.....	61
4.9.4	Uji Tekstur	60
4.10	Aplikasi Sensor Kesegaran <i>Edible</i> Untuk Monitoring Kesegaran	62
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN.....		74

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Model Fungsi Kemasan Pintar	7
Gambar 2.2	Skematis struktur sensor kimia	8
Gambar 2.3	Indikator pH universal.....	9
Gambar 2.4	Struktur Kimia Antosianin	10
Gambar 2.5	Struktur antosianin pada kondisi pH yang berbeda.....	14
Gambar 2.6	Ubi Jalar Ungu (<i>Ipamoea batatas L.</i>)	15
Gambar 2.7.	Struktur Kitosan	20
Gambar 2.8	Struktur Kimia Asam Asetat	21
Gambar 2.9	Struktur Kimia Gliserol.....	21
Gambar 2.10	Struktur PVA.....	23
Gambar 2.11	Metode Imobilisasi Reagen.....	26
Gambar 2.12	Program ImageJ.....	29
Gambar 2.13	Tinjauan Sampel Cabai Hijau	30
Gambar 3.1	Diagram Alur Penelitian.....	32
Gambar 3.2	Desain Sensor Kesegaran	39
Gambar 4.1	Membran film.....	44
Gambar 4.2	Hasil SEM	45
Gambar 4.3	Optimasi Konsentrasi PVA	49
Gambar 4.4	Grafik waktu respon	50
Gambar 4.5	Grafik hubungan waktu pakai dengan nilai mean green	52
Gambar 4.6	Grafik hubungan nilai pH dengan nilai mean green.....	56
Gambar 4.7	Grafik hubungan %susut bobot dengan nilai mean green	59
Gambar 4.8	Grafik hubungan nilai panelis warna dengan nilai mean green	60
Gambar 4.9	Grafik hubungan nilai panelis bau dengan nilai mean green ...	61
Gambar 4.10	Grafik hubungan nilai tekstur dengan nilai mean green	63
Gambar 4.11	Aplikasi Sensor Kesegaran <i>edible</i> pada Sampel cabai hijau.....	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbedaan Letak Gugus Tersubstitusi dari Enam Antosianidin.....	11
Tabel 2.2 Sumber Antosianin.....	12
Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Metode Imobilisasi.....	25
Tabel 2.4 Kandungan Gizi dari berbagai macam cabai.....	30
Tabel 4.1 Hasil Penentuan Kadar Total Antosianin.....	41
Tabel 4.2 Hasil pengukuran tebal membran	42
Tabel 4.3 Hasil Analisis Intensitas Warna dengan ImageJ	44
Tabel 4.4 Hasil Optimasi Waktu Imobilisasi	45
Tabel 4.5 Hasil Optimasi Rasio Perbandingan Ekstrak	46
Tabel 4.6 Tingkat Kebocoran Membran	50
Tabel 4.7 Karakterisasi Sensor.....	51
Tabel 4.8 Perubahan Warna Sensor Kesegaran Edible pada suhu ruang.....	55
Tabel 4.9 Perubahan Warna sensor secara visual pada suhu chiller	55

DAFTAR RUMUS

	Halaman
Rumus 3.1 Penentuan Total Konsentrasi Antosianin.....	36
Rumus 3.2 Persentase susut bobot.....	40



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Absorbansi	71
Lampiran 2. Data Hasil Pengamatan pH Cabai Hijau Segar dan Busuk	72
Lampiran 3. Optimasi Sensor <i>Edible</i>	74
Lampiran 4. Perubahan Warna Sensor Kesegaran berdasarkan Image J	76
Lampiran 5. Karakterisasi sensor	78
Lampiran 6. Analisis penurunan mutu pada cabai hijau	84
Lampiran 7. Karakterisasi SEM	87
Lampiran 8. Dokumentasi Alat dan Bahan penelitian	88
Lampiran 9. Kuisisioner <i>sensory evaluation</i>	90
Lampiran 10. Desain kemasan sensor	93

BAB. 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sayuran dan buah segar sangat mudah rusak dan perlu penanganan dan penyimpanan yang sesuai untuk mempertahankan kualitas dan memperpanjang waktu simpan. Salah satu masalah utama produk sayuran adalah potensi kerusakan pada mikroba (Glowacz dan Rees, 2016). Kriteria kualitas berdasarkan mikrobiologi-kimia (Chen dkk., 2018) fisika (Benítez dkk., 2012) dan sensorik (Pablo dkk., 2011) adalah prosedur yang memakan waktu dan panjang. Dengan demikian, perlu disebutkan pentingnya peningkatan pemantauan waktu pembusukan atau kesegaran produk-produk tersebut yang dengan mudah mengevaluasi deteriorasi kualitas produk-produk yang baru dan memastikan keamanannya selama penyimpanan dan penjualan.

Produk sayuran seperti cabai hijau merupakan suatu komoditas sayuran yang tidak dapat ditinggalkan masyarakat dalam kehidupan sehari – hari. Selain untuk sayuran dan sebagai penyedap masakan, cabai juga mempunyai kegunaan yang lain biasanya juga tersedia dalam bentuk kemasan segar dan terjual di supermarket. Cabai dianggap penting untuk dijadikan bahan ramuan industri makanan, minuman maupun farmasi (Setiadi, 2001). Menyimpan cabai dengan cara pengemas dan lama penyimpanan yang tepat perlu dilakukan agar kualitasnya tidak menurun drastis. Walker (2010) menyatakan jika penggunaan ruang pendingin cocok untuk penyimpanan cabai karena dapat mempertahankan kesegaran produk untuk waktu yang lebih lama. Adanya kasus keracunan produk olahan cabai atau dikenal sebagai sambal karena kurangnya faktor pendukung untuk memonitoring kesegaran dari cabai hijau. Salah satu alternatif lain untuk mendukung masalah tersebut yaitu menggunakan kemasan cerdas (*smart packaging*).

Telah banyak dikembangkan kemasan pintar (*smart packaging*) yaitu kemasan yang mampu memantau kondisi makanan secara real time, kemungkinan meningkatkan atau memantau kualitas produk, melacak titik-titik

kritis, dan memberi lebih banyak informasi rinci contohnya antara lain kemasan indikator suhu waktu atau Time Temperature Integrators (TTI) (Giannakourou dkk., 2005).

Sebagai salah satu jenis kemasan pintar, indikator kesegaran merupakan perangkat kecil yang dicetak pada kemasan film atau dalam bentuk kemasan label. Jenis indikator kesegaran khas dapat menunjukkan kerusakan atau kesegaran barang yang dikemas melalui perubahan warna terdeteksi secara visual langsung. Hal ini didasarkan pada pengetahuan komprehensif metabolit terkait kualitas terkait erat dengan jenis produk, mikroba pertumbuhan, bahan kemasan dan kondisi penyimpanan (Fang dkk., 2017). Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk mengamati penurunan mutu melalui perubahan visual adalah indikator pH.

Indikator sensitif pH berwarna telah dilaporkan menjanjikan kemasan cerdas untuk penentuan mikroba metabolit untuk kesegaran ikan yang dikemas (Pacquit dkk., 2006), udang (Kuswandi dan Susanti, 2012), potongan ayam broiler (Kuswandi dkk., 2015) dan daging sapi (Kuswandi dan Nurfawaidi, 2017). Indikator ini adalah bromocresol green, pewarna alami kurkumin, metil merah, dan bromocresol yang bergeser dari bentuk asam ke basa bentuk karena peningkatan pH di dalam kemasan yang disebabkan oleh amina volatil yang diproduksi selama pembusukan produk daging, produk akuatik maupun sayuran. Indikator dapat didefinisikan sebagai zat yang menunjukkan ada atau tidak adanya zat lain atau tingkat reaksi antara dua atau lebih zat melalui perubahan karakteristik indikator, terutama perubahan warna. Deteksi perubahan kimia terkait dengan pertumbuhan mikroba oleh indikator dapat menawarkan alternatif lain untuk analisis sensorik dan mikrobiologi yang biayanya mahal dan memakan waktu (Dainty, 1996). Pengembangan dengan penambahan pewarna sintetik merupakan bentuk aplikasi yang paling banyak dilakukan. Tetapi, penggunaan pewarna sintetik memiliki kekurangan, yaitu adanya kemungkinan adanya efek toksisitas apabila tidak sengaja tertelan atau mengalami kontak dengan produk. Dimana pewarna sintesis bersifat karsinogenik atau mutagenik sehingga berpotensi bahaya (Srivastava dkk., 2004). Dalam rangka untuk memperbaiki

kekurangan pewarna sintetik tersebut, maka digunakan pewarna alami seperti antosianin yang berasal dari buah-buahan, contohnya buah bit, blueberry, kulit buah anggur, kulit buah naga, dan ubi jalar ungu. Pewarna alami yang penulis pilih disini adalah berasal dari ubi jalar ungu karena ubi jalar ungu sangat mudah ditemukan, harganya pun relatif murah dan preparasi ekstraknya juga lebih mudah. Sehingga penulis memilih antosianin yang berasal dari ubi jalar ungu.

Antosianin merupakan senyawa organik berwarna merah hingga ungu dapat mengalami perubahan warna dalam perubahan suhu asam dan basa. Pada pH tinggi antosianin berwarna biru atau tidak berwarna, sedangkan untuk pH rendah berwarna merah. Mayoritas antosianin menghasilkan warna merah keunguan pada pH kurang dari 4. Jumlah gugus 6 hidroksi atau metoksi pada struktur antosianidin yang akan mempengaruhi warna dari antosianin. Adanya gugus hidroksi yang dominan menyebabkan warna cenderung biru dan relatif tidak tabil, sedangkan jika gugus metoksi yang dominan pada struktur antosianidin, akan menyebabkan warna cenderung merah dan relatif stabil (Demam, 1997). Berdasarkan kemampuan berubah warna pada kondisi pH yang berbeda ini antosianin dianggap mampu untuk dijadikan indikator pH pada membran film.

Membran film yang berisikan indikator pH yang digunakan untuk mengamati kualitas pangan biasanya diimobilisasikan dengan indikator. Krochta (1994) mengatakan bahwa bahan dasar pembuatan film dikelompokkan menjadi tiga, yaitu hidrokoloid (protein dan polisakarida), lemak (asam lemak dan wax) dan campuran (hidrokoloid dan lemak). Film *edible* yang dibuat dari pati dikenal sebagai *edible film* hidrokoloid. Film *edible* yang dibuat dari hidrokoloid memiliki beberapa kelebihan, diantaranya baik untuk melindungi produk terhadap oksigen dan karbon dioksida, serta memiliki sifat mekanis yang baik (Yai, 2008). Film *edible* yang dibuat dari komposit pati singkong - kitosan dengan pemlastis gliserol dapat memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar kemasan yaitu memiliki sifat mekanik yang tinggi, bersifat lentur, memiliki ketahanan dalam air, tidak berpori, dan tidak mudah terdegradasi (Adiarto dkk., 2015)

Berdasarkan latar belakang di atas maka perlu dikembangkan kemasan cerdas dengan indikator film *edible* dari antosianin ubi ungu sebagai indikator dan campuran kitosan dan pati singkong sebagai film *edible*. Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi antosianin dan optimasi kondisi meliputi optimasi waktu imobilisasi indikator antosianin dan optimasi konsentrasi PVA sebagai pengikat dalam label sensor film *edible*. Kemasan yang ditambahkan label sensor film *edible* yang dikembangkan dalam penelitian ini, diharapkan mampu memberikan manfaat bagi konsumen terkait dalam hal menginformasikan kondisi dan kualitas serta monitoring kesegaran cabai hijau (*Capsicum annuum* L.)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu:

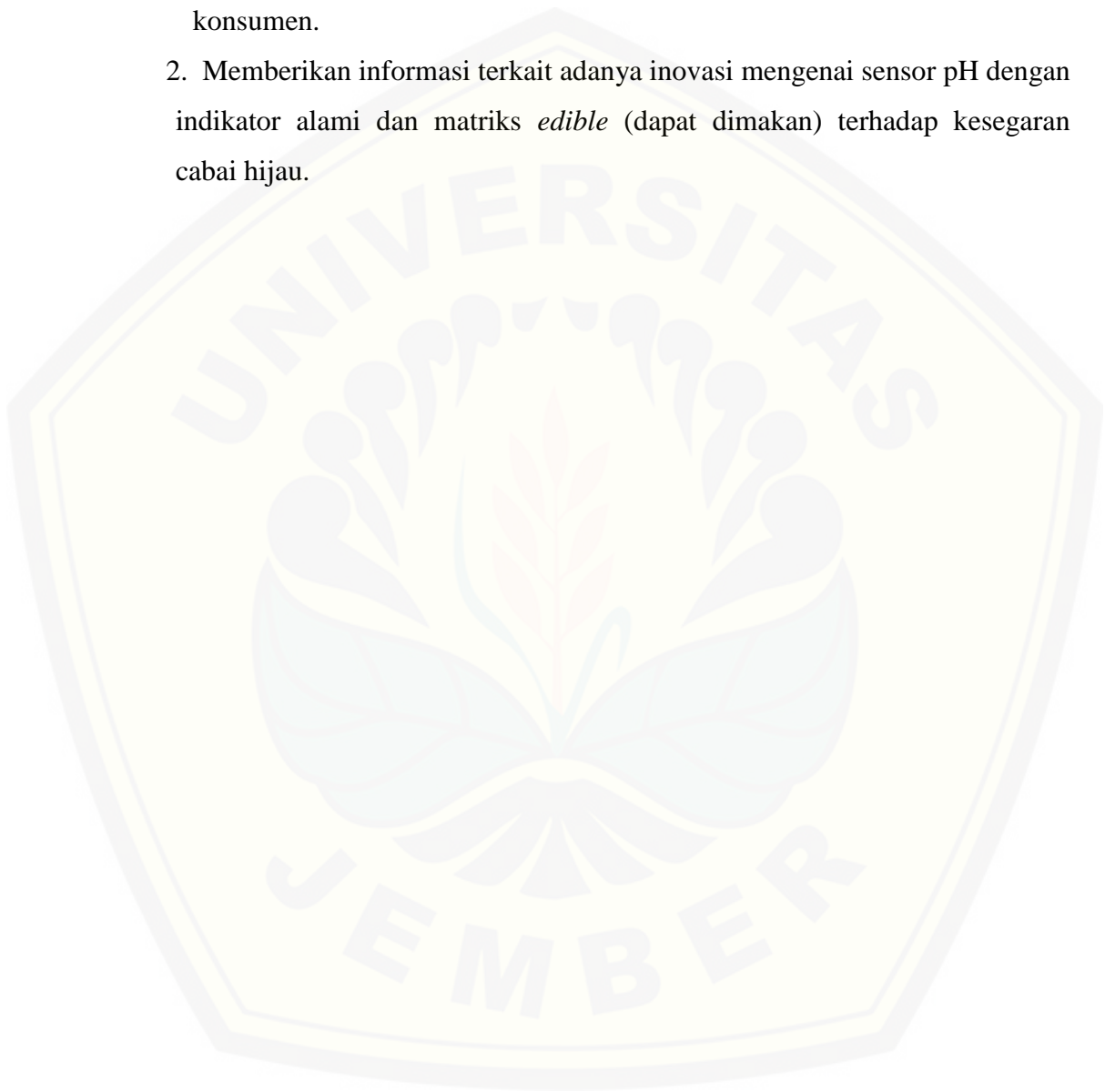
1. Bagaimana fabrikasi membran sensor edible, optimasi sensor meliputi waktu imobilisasi, perbandingan ekstrak dengan PVA dan konsentrasi bahan pengikat?
2. Bagaimana karakteristik label sensor edible yang meliputi reproduisibilitas, waktu respon dan waktu pakai ?
3. Apakah sensor edible dapat diaplikasikan sebagai sensor kesegaran pada sayuran cabai hijau (*Capsicum annuum* L.) ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui bagaimana optimasi fabrikasi dari sensor edible terhadap waktu imobilisasi, perbandingan ekstrak dengan PVA, konsentrasi bahan pengikat sensor edible berbasis indikator ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* L.poir) dengan membran film komposit kitosan-tepung tapioka.
2. Mengetahui bagaimana karakteristik sensor edible yang meliputi reproduisibilitas, waktu respon dan waktu pakai.
3. Mengetahui apakah sensor *edible* dapat digunakan sebagai sensor kesegaran pada sayuran cabai dalam kemasan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Sebagai dasar pengembangan sensor kimia berupa kemasan pintar yang berbasis sensor pH menggunakan indikator alami dan matriks *edible* (dapat dimakan) untuk meningkatkan jaminan mutu dan keamanan konsumen.
2. Memberikan informasi terkait adanya inovasi mengenai sensor pH dengan indikator alami dan matriks *edible* (dapat dimakan) terhadap kesegaran cabai hijau.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kemasan Pintar

Kemasan pintar adalah jenis kemasan, yang selain hanya melakukan empat fungsi dasar kemasan seperti perlindungan, komunikasi, kenyamanan dan penahanan, juga menawarkan sejumlah fungsi tambahan tergantung pada jenis produk. Beberapa fungsi tambahan seperti itu bisa dilakukan mempertahankan integritas suatu produk dan mencegah kebusukan makanan, meningkatkan atribut produk seperti tampilan, rasa, aroma, merespon secara aktif terhadap perubahan dalam produk dan kemasan maupun lingkungan, memberikan informasi produk, kondisi produk kepada pengguna, menunjukkan integritas originalitas, atau konfirmasi produk keaslian, selain itu memberikan respon waktu-suhu, menunjukkan pertumbuhan mikroba, kebocoran, pembusukan, dll. (Dawange dkk., 2010) Contoh kemasan cerdas adalah memonitor kondisi makanan yang dikemas dan memberi informasi tentang kualitas makanan yang dikemas selama transportasi dan penyimpanan. Ini pada dasarnya adalah sebuah metode integrasi yang berhubungan dengan mekanik, kimia, maupun fungsi fisika guna meningkatkan kegunaan atau efektivitas makanan produk dengan cara yang terbukti.

Monitoring kondisi produk dilakukan dengan menggunakan dua indikator, yaitu indikator eksternal dan internal. Indikator eksternal ialah indikator yang diletakkan di luar kemasan produk sedangkan indikator internal adalah indikator yang ditempatkan didalam kemasan produk dan diletakkan pada penutup kemasan. Contoh indikator eksternal yaitu indikator waktu, indikator suhu dan indikator pertumbuhan mikroba. Sementara contoh indikator internal adalah indikator pH, indikator oksigen, indikator karbon dioksida, indikator patogen dan indikator pertumbuhan mikroba.



Gambar 2.1. Model Fungsi Kemasan Pintar

Gambar 2. Model Fungsi Kemasan Pintar tersebut menunjukkan fungsi dari kemasan pintar sebagai peningkat komunikasi dari produk dan kemasan aktif sebagai peningkat perlindungan dari produk. Keduanya memiliki peran yang berbeda. Sebagai kemasan pintar, komponen ini bertanggung jawab terhadap pemantauan produk yang kemudian diolah menjadi informasi yang akan disampaikan kepada pengguna, sedangkan kemasan aktif berfungsi sebagai komponen yang bertanggungjawab terhadap perlindungan suatu produk (Ul, 2005)

2.2 Sensor

Sensor dianggap paling menjanjikan dan inovatif teknologi untuk sistem pengemasan cerdas masa depan (Bagchi, 2012). Sensor digunakan untuk mendeteksi, mencari, atau mengukur energi atau materi, dengan memberikan sinyal untuk deteksi atau pengukuran properti respon secara fisik atau kimia (Kress-Rogers, 2001). Dalam prakteknya, sebuah sensor menjawab sebuah kuantitas kimia atau fisik untuk membuat output terukur yang sebanding dengan ukuran. Sebagian besar sensor terdiri dari empat komponen utama. Yang pertama adalah reseptor, yaitu, merasakan bagian dari sensor, diwakili oleh area sampling (umumnya lapisan chemo-selektif) di mana permukaan kimia terjadi. Di sini, informasi analitis diperoleh dari adsorpsi analit target pada lapisan pengenalan. Variasi energi berhubungan dengan mendeteksi analit menginduksi perubahan dari sifat reseptor dalam suatu hal, misalnya potensi redoks, pH, suhu, atau cahaya. (ii) Yang kedua adalah elemen transduksi, yaitu, bagian pengukur sensor

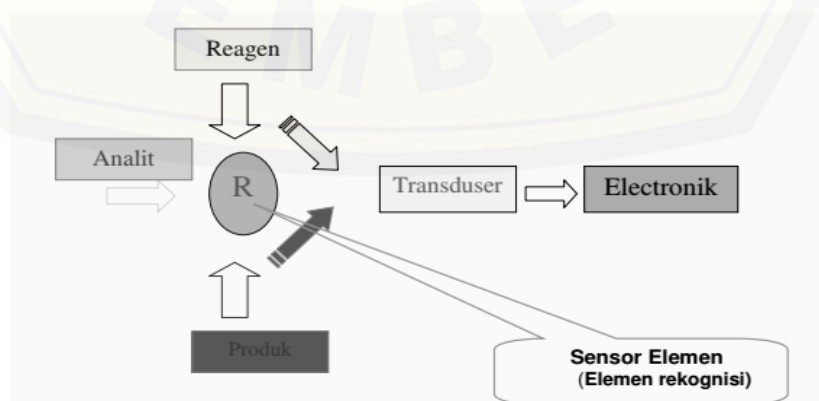
(misalnya elektroda), yang mampu mengubah variasi energi dan membawa informasi fisik atau kimia menjadi sinyal analitik yang berguna (misalnya, listrik, optik, termal, atau kimia). Selanjutnya adalah (iii) sinyal memproses elektronik, dan (iv) unit display sinyal (Neethirajan dkk., 2010)

2.2.1 Definisi Sensor Kimia

Sensor kimia adalah sensor yang mendeteksi jumlah suatu zat kimia dengan cara mengubah besaran kimia menjadi besaran listrik dimana di dalamnya melibatkan beberapa reaksi kimia, seperti misalnya pada sensor oksigen, sensor pH, sensor ledakan, serta sensor gas (Setiawan, 2011). Ada dua komponen penting pada sensor kimia:

1. Tempat reaksi kimia terjadi adalah elemen. Pada elemen ini reaksi yang terjadi diharapkan adalah reaksi yang selektif terhadap partikulat yang diinginkan. Reaksi kimia ini biasanya menghasilkan perubahan warna, cahaya fluoresen, perubahan potensial atau panas.
2. Transduser yang bertugas merubah respons tersebut menjadi sinyal dan menerjemahkan besaran sinyal tersebut ke dalam besaran yang terukur.

Sensor kimia banyak diaplikasikan untuk mendeteksi entitas kimiawi dengan menggunakan reaksi kimia dari reagen kimia yang sesuai. Entitas kimiawi yang dideteksi tersebut biasanya disebut analit. Secara garis besar sensor kimia secara skematis dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skematis struktur sensor kimia. (Kuswandi, 2010)

Dari Gambar 2.2 di atas dapat didefinisikan bahwa sensor kimia adalah suatu alat analisa (analytical device) yang berisi reagen kimia (chemical material/reagent) yang dapat bereaksi dengan analit tertentu dalam larutan atau gas sehingga menghasilkan perubahan fisika-kimiawi yang dapat dirubah (physicochemical transducer) menjadi sinyal elektrik yang proporsional dengan konsentrasi dari analit tersebut.

2.2.2 Sensor pH

Salah satu contoh sensor kimia yang kita kenal secara baik adalah kertas pH atau disebut juga kertas yang digunakan untuk menentukan asam basa suatu larutan. Kertas indikator universal ini memberikan indikasi secara kualitatif sifat asam basa suatu larutan berdasarkan perubahan warna yang terjadi pada kertas lakmus tersebut. Dalam sebuah sensor kimia semisal indikator pH, elemen sensor yang mampu memberikan respon terhadap suatu zat yang diukur adalah suatu reagen kimia. Reagen yang berfungsi sebagai indikator pH misalnya timol biru, bromtimol biru, metil merah dan fenftalein. Apabila kita ingin mengukur derajat pH suatu larutan secara kuantitatif menggunakan indikator pH, maka perubahan warna yang terjadi pada indikator pH tersebut dapat diamati menggunakan kolorimetri atau spektrofotometri.



Gambar 2.3. Indikator pH universal

2.2.3 Karakterisasi Sensor

Karakterisasi sensor pada kemasan pintar digunakan untuk mengetahui kemampuan membran dan reagen untuk mendeteksi analit. Contoh karakterisasi antara lain reproduibilitas, waktu respon dan waktu pakai. Reproduibilitas merupakan hasil keberulangan dari suatu pengukuran yang dilakukan satu laboratorium dengan sampel dan metode analisis yang sama analisis, peralatan, dan waktu yang sama atau berbeda; atau hasil keberulangan dari suatu pengukuran yang dilakukan oleh personil dan laboratorium yang berbeda (Rodiana dan Maulana, 2013).

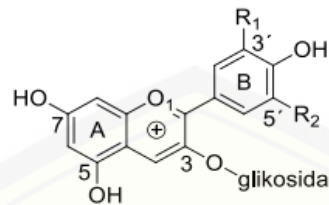
2.3 Antosianin

(Hidayat dan Saati, 2006) mengatakan bahwa antosianin merupakan salah satu pewarna alami karena merupakan zat berwarna merah, jingga, ungu, ataupun biru yang banyak terdapat pada bunga maupun buah-buahan). Antosianin dalam bentuk aglikon lebih aktif daripada bentuk glikosidanya (Santoso, 2008). Pigmen antosianin merupakan pigmen yang bersifat larut air, terdapat dalam bentuk aglikon sebagai antosianidin dan glikon sebagai gula yang diikat secara glikosidik. Sekitar 80% dari total antosianin tersebut berada dalam bentuk terasilasi. Antosianin yang terasilasi relatif lebih stabil jika dibandingkan dengan antosianin yang tidak terasilasi. Antosianin pada ubi jalar ungu berpotensi besar sebagai sumber pewarna alami dan berbagai jenis pelarut antosianin secara nyata mempengaruhi warna yang diekspresikannya.

2.3.1 Struktur Antosianin

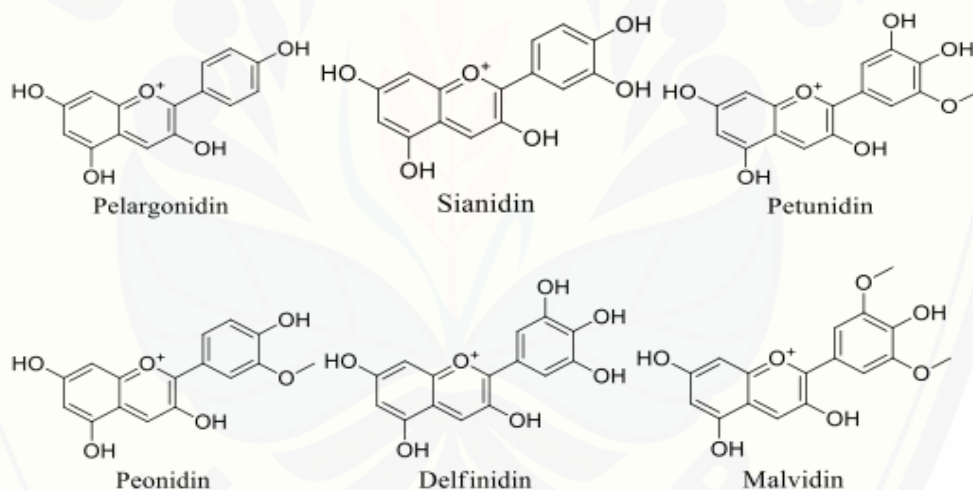
Antosianin adalah sub-jenis senyawa organik dari keluarga flavonoid dan merupakan anggota kelompok senyawa yang lebih besar yang disebut polifenol. Beberapa senyawa antosianin termasuk pelargonidin, peonidin, sianidin, malvidin,

petunidin, dan delphinidin. Dua komponen antosianin dari ubi jalar ungu adalah sianidin dan peonidin Berikut merupakan struktur gambar dari antosianin :



Gambar 2.4. Struktur Kimia Antosianin (Bueno dkk., 2012)

Ada 539 jenis antosianin di alam yang berhasil diisolasi tetapi hanya 6 jenis yang ada di bahan pangan seperti pelargonidin, cyanidin, peonidin, dephinidin, petunidin dan malvidin (Bueno dkk., 2012)



Pengaruh perbedaan letak dan jumlah gugus tersubstitusi pada antosianidin terhadap warna antosianin dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan Letak Gugus Tersubsitisi dari Enam Antosianidin (Stintzing dan Carle, 2004)

Antosianidin	Gugus yang tersubsitisi						Warna
	3	5	6	7	3'	5'	
Pelargonidin	OH	OH	H	OH	H	H	Orange
Cyanidin	OH	OH	H	OH	OH	H	Merah-Orange
Delphinidin	OH	OH	H	OH	OH	OH	Merah-Biru
Peonidin	OH	OH	H	OH	OMe	H	Merah-Orange
Petunidin	OH	OH	H	OH	OMe	OH	Merah-Biru
Malvidin	OH	OH	H	OH	Ome	Ome	Merah-Biru

2.3.2 Sumber Antosianin

Pigmen antosianin merupakan senyawa fitokimia yang termasuk ke dalam kelompok senyawa flavonoid, yaitu senyawa fenolik yang banyak terkandung di dalam bahan alami. Hal itu juga menyebabkan sayuran atau buah-buahan yang berwarna cerah (banyak mengandung antosianin) sering dianggap sebagai sumber antioksidan alami. Dari informasi itu dapat diketahui pigmen antosianin banyak terdapat pada bagian kulit dari buah atau sayuran. Contoh buah-buahan yang kaya akan kandungan pigmen antosianin adalah blueberry, anggur, ubi jalar ungu, delima, blackberry, ceri, raspberry dan stroberi. Ada juga buah-buahan yang sedikit mengandung antosianin, yaitu pisang dan pir. Sayur-sayuran yang mengandung pigmen antosianin adalah kacang ercis, adas, terung (bagian kulitnya), asparagus, serta kentang. Berikut tabel 2.2 data sumber antosianin dalam berbagai buah dan sayuran,

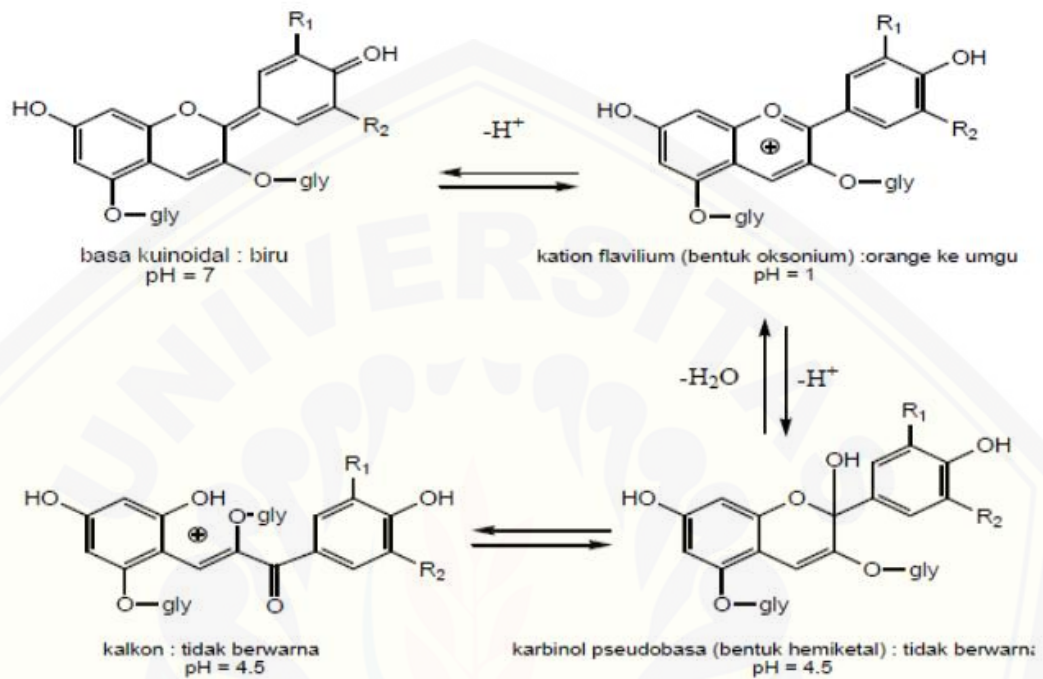
Tabel 2.2. Sumber Antosianin (Seafast Center, 2012)

Sumber	Kandungan pigmen (mg/100g berat basah)
Buah plum	2-25
Stroberi	15-35
Bawang Bombay merah	7-21
Lobak merah	11-60
Raspberry merah	20-60
Kol merah	25
Blueberry	25-495
Blackberry	83-326
Cranberry	60-200
Anggur	6-600
Ubi jalar ungu	84-600

2.3.3 Sifat dan Reaksi Antosianin

Antosianin merupakan senyawa berwarna yang bertanggung jawab untuk kebanyakan warna merah, biru, dan ungu pada buah, sayur, dan tanaman hias. Pewarna alami dari antosianin merupakan salah satu karena merupakan zat berwarna merah, jingga, ungu, ataupun biru yang banyak terdapat pada bunga dan buah-buahan (Hidayat dan Saati, 2006). Antosianin merupakan senyawa flavonoid yang memiliki kemampuan sebagai antioksidan dalam bentuk aglikon lebih aktif daripada bentuk glikosidanya (Santoso, 2008). Pigmen antosianin adalah pigmen yang bersifat larut air, terdapat dalam bentuk aglikon sebagai antosianidin dan glikon sebagai gula yang diikat secara glikosidik. Bersifat stabil pada pH asam, yaitu sekitar 1-4, dan menampilkan warna oranye, merah muda, merah, ungu hingga biru (Richard J. Lewis, 2007). Antosianin adalah zat warna yang bersifat polar dan akan larut pada pelarut non polar (Samsudin dan Khoirudin, 2011). Antosianin lebih larut dalam air daripada dalam pelarut non polar dan karakteristik ini membantu proses ekstraksi dan pemisahan (Xavier dkk., 2008).

Senyawa antosianin pada ubi jalar ungu dapat berubah warna pada setiap perubahan nilai pH. Perubahan warna ini juga dipengaruhi oleh perubahan yang terjadi pada struktur antosianin, ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Struktur antosianin pada kondisi pH yang berbeda (Sumber : Wrolstad, 2001)

2.4 Ubi Jalar Ungu



Gambar 2.6. Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* L. poir)

(Sumber: Murtiningsih dan Suyati, 2011)

Ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.) atau yang biasa dikenal dengan ketela rambat atau “sweetpotato” berasal dari benua Amerika. Ahli Botani dan pertanian memperkirakan daerah asal tanaman ubi jalar adalah daerah Selandia Baru, Polinesia, dan Amerika bagian tengah. Penyebaran ubi jalar pertama kali terjadi ke Spanyol melalui Tahiti, Kepulauan Guam, Fiji, dan Selandia Baru. Orang-orang Spanyol dianggap berjasa menyebarkan ubi jalar ke kawasan Asia, terutama Filipina, Jepang dan Indonesia (Rukmana, 1997). Menurut Suprpti (2003), taksonomi tanaman ubi jalar dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom :Plantae
Subdivisi :Spermatophyta
Divisi :Magnoliophyta
Kelas :Magnoliopsida
Ordo :Solanales
Famili :Convolvulaceae
Genus :Ipomoea
Spesies : *Ipomoea batatas* L.

Antosianin pada ubi jalar ungu jika dibandingkan dengan tanaman-tanaman lain yang juga merupakan sumber antosianin tidak kalah banyak. Bentuk antosianidin yang banyak dikandung oleh ubi jalar ungu adalah bentuk sianidin dan peonidin.

Ubi jalar ungu merupakan salah satu jenis ubi jalar yang memiliki warna ungu pekat. Ubi jalar ungu menjadi sumber vitamin C dan betakaroten (provitamin A) yang sangat baik. Kandungan betakarotennya lebih tinggi dibandingkan ubi jalar kuning. Selain vitamin C, betakaroten, dan vitamin A komponen yang terpenting adalah kandungan antosianin (Widjanarko, 2008)

2.5 Ekstraksi

Ekstraksi adalah langkah pertama untuk memisahkan produk alami yang diinginkan dari bahan baku. Metode ekstraksi meliputi ekstraksi pelarut, metode distilasi, penekanan dan sublimasi sesuai dengan prinsip ekstraksi.

Ekstraksi pelarut adalah metode yang paling banyak digunakan. Ekstraksi produk alami berlangsung melalui tahap-tahap berikut: (1) pelarut menembus ke dalam matriks padat; (2) zat terlarut larut dalam pelarut; (3) zat terlarut keluar dari matriks padat; (4) solut yang diekstraksi dikumpulkan. Faktor yang meningkatkan difusivitas dan kelarutan dalam langkah-langkah di atas akan memfasilitasi ekstraksi. Sifat-sifat pelarut ekstraksi, ukuran partikel bahan baku, rasio pelarut-ke-padat, suhu ekstraksi dan lama ekstraksi akan mempengaruhi efisiensi ekstraksi. Pemilihan pelarut sangat penting untuk ekstraksi pelarut. Selektivitas, kelarutan, biaya dan keamanan harus dipertimbangkan dalam pemilihan pelarut. Berdasarkan hukum kesamaan dan intermisibilitas (seperti suka larut), pelarut dengan nilai polaritas dekat dengan polaritas zat terlarut cenderung berkinerja lebih baik dan sebaliknya. Alkohol (EtOH dan MeOH) adalah pelarut universal dalam ekstraksi pelarut untuk skrining fitokimia (Zhang dkk, 2018)

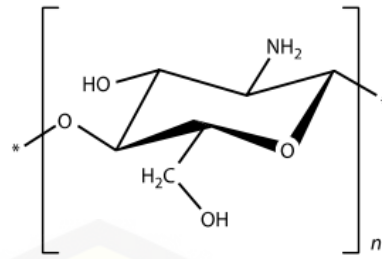
2.6 Film Edible

Film yang dapat dimakan adalah lapisan tipis dari bahan yang dapat dimakan yang diterapkan pada produk makanan yang memainkan peran penting pada konservasi, distribusi dan pemasaran. Beberapa fungsinya adalah melindungi produk dari kerusakan mekanis, aktivitas fisik, kimia dan mikrobiologi. Penggunaannya dalam aplikasi makanan dan terutama produk yang sangat mudah rusak seperti hortikultura, didasarkan pada beberapa properti tertentu seperti biaya, ketersediaan, atribut fungsional, sifat mekanik (fleksibilitas, tegangan), sifat optik (kecerahan dan opasitas), efek penghalang terhadap aliran gas, ketahanan struktural terhadap air dan mikroorganisme dan penerimaan sensorik. Karakteristik ini adalah oleh parameter seperti jenis material yang diimplementasikan sebagai matriks struktural (komposisi, distribusi berat molekul), kondisi-kondisi di mana film-film diformulasikan (jenis pelarut, pH, konsentrasi komponen dan suhu) dan jenis dan konsentrasi aditif (plasticizer, zat pengikat silang, antimikroba, antioksidan atau pengemulsi) (Milda E. Embuscado, 2009)

2.7 Bahan-Bahan Film *Edible*

a. Kitosan

Kitin atau poli ($\beta(1-4)$ -*N*-acetyl-*D*-glucosamine) adalah salah satu polisakarida paling melimpah ditemukan di alam. Ini dapat ditemukan dalam bahan skeletal krustasea, kutikula serangga, dan dinding sel berbagai jamur. Kitosan disiapkan oleh N-deasetilasi kimia kitin. Keduanya diamati memiliki fungsi biologis (Wongpanit dkk., 2005). Kitin dan turunannya memiliki banyak properti yang membuatnya menarik untuk berbagai macam aplikasi dari makanan, nutrisi dan kosmetik untuk biomedis, pertanian dan lingkungan (Life, 2014). Kitosan (CH) adalah biodegradable, biokompatibel dan karakteristik bioadhesive. Kopolimer dari glucosamine dan N-acetyl glucosamine yang dihubungkan oleh $\beta 1 \rightarrow 4$ ikatan glukosidik diperoleh dengan N-deasetilasi chitin. Kitosan membentuk film dan membran yang baik. Film kitosan memiliki potensi untuk digunakan kemasan, terutama sebagai kemasan yang dapat dimakan. Ini adalah karena oksigen dan karbondioksida yang sangat baik sifat penghalang dan antimikroba yang menarik properti. Misalnya, biodegradable dan edible film kitosan yang diproduksi untuk melindungi makanan dari pembusukan jamur dan memodifikasi atmosfer kesegaran buah (Bangyekan dkk., 2006). Sifat film dari kitosan bergantung padanya morfologi, yang dipengaruhi oleh berat molekul, derajat N-asetilasi, penguapan pelarut, dan pelepasan mekanisme pelepasan regenerasi amina (Casariego dkk, 2009) Untuk banyak aplikasi makanan, paling banyak karakteristik fungsional penting dari edible film adalah ketahanannya terhadap migrasi kelembaban. Ini karena tingkat kritis air aktivitas harus dijaga dalam banyak makanan jika produk, atau komponen tertentu dari makanan multifase, adalah untuk menunjukkan kualitas optimal dan keamanan yang dapat diterima (Suyatma dkk., 2015)



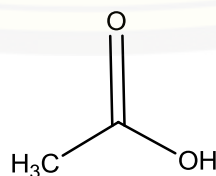
Gambar 2.7. Struktur Kitosan (Rowe, 2009)

b. Pati Singkong

Pati merupakan homopolimer glukosa dengan ikatan α -glikosidik. Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Pati merupakan salah satu bahan baku alternatif yang aman untuk pengemasan yang dapat dimakan (*edible*) dan mudah untuk diserap tubuh sehingga kemasan *edible* berbasis pati layak untuk dikembangkan. *Edible film* yang dibuat dari pati dikenal dengan *edible film* hidrokoloid. *Edible film* yang dibuat dari hidrokoloid memiliki beberapa kelebihan, diantaranya baik untuk melindungi produk terhadap oksigen dan karbon dioksida, serta memiliki sifat mekanis yang baik (Yai, 2008). Film berbasis pati memiliki sifat yang sangat baik karena transparansi serta ketahanan terhadap panas. Namun, aplikasi dari film pati singkong murni masih terbatas karena kerapuhan dan kelarutannya dalam air panas dan dingin (Wu dan Zhang, 2013) selain itu kekurangan yang terdapat pada plastik yaitu rendahnya sifat mekanik (kekuatan tarik, regangan dan modulus young) serta bersifat hidrofilik (Billmayer, 1971)

c. Asam Asetat

Rumus Struktur : CH_3COOH

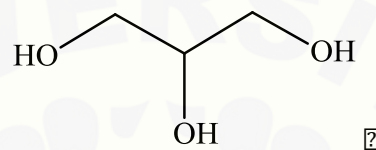


Gambar 2.8. Struktur Asam Asetat (Rowe dkk., 2006)

Asam asetat memiliki ciri-ciri berbentuk kristal atau jernih dalam bentuk larutan, bersifat mudah menguap (volatil), tidak berwarna dan berbau menyengat. Dalam pembuatan film *edible*, asam asetat 1% digunakan sebagai pelarut kitosan, karena kitosan larut dalam pH 4 dan pH kurang dari 6.5 (Rowe, 2009).

d. Gliserol

Rumus Struktur : $C_3H_8O_3$

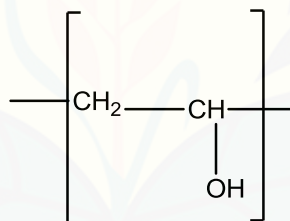


Gambar 2.9. Struktur Kimia Gliserol (Rowe, 2009)

Gliserol merupakan plasticizer dengan bobot molekul rendah yang ditambahkan dengan maksud memperlemah kekakuan suatu film (Gennadios, 2002). Penambahan plasticizer akan menghindarkan film dari keretakan selama penanganan dan penyimpanan, yang dapat mengurangi sifat-sifat barrier film (Gontard dkk., 1992). Menurut (Yai, 2008) plasticizer dapat meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan film terutama jika disimpan pada suhu rendah. Plasticizer yang umumnya digunakan dalam pembuatan edible coating adalah gliserol, polietilen glikol 400 (PEG), sorbitol, propilen glikol dan etilen glikol (EG). Salah satu plasticizer yang dapat digunakan dalam pembuatan edible coating adalah gliserol. Gliserol efektif digunakan sebagai plasticizer pada hidrofilik film. Penambahan gliserol akan menghasilkan film yang lebih fleksibel dan halus. Menurut (Gontard dkk., 1992) Gliserol dapat meningkatkan permeabilitas film terhadap uap air karena sifat gliserol yang hidrofilik. Rumus kimia gliserol adalah $C_3H_8O_3$ dengan nama kimia 1,2,3-propanatriol. Berat molekul gliserol adalah $92,10 \text{ g/cm}^3$ dan titik didih 204°C (Rowe, 2009) Gliserol mempunyai sifat mudah larut dalam air, meningkatkan kekentalan larutan, mengikat air dan menurunkan aw (Rowe, 2009)

2.8 Polivinil Alkohol

Polivinil alkohol memiliki sifat tidak berwarna, padatan termoplastik yang tidak larut pada sebagian besar pelarut organik dan minyak, tetapi larut dalam air bila jumlah dari gugus hidroksil dari polimer tersebut cukup tinggi. Polivinil alkohol memiliki permeabilitas uap air terendah dari semua polimer komersial tetapi sensitivitas airnya telah membatasi penggunaannya. Bentuk dari polivinil alkohol berupa serbuk (powder) berwarna putih dan memiliki densitas 1,2000-1,3020 g/cm serta dapat larut dalam air pada suhu 80°C (Victor O. Sheftel, 2002). Polivinil alkohol disini berfungsi sebagai coating agent atau pengikat larutan indikator pada membran film. Hal ini ditandai dengan kemampuannya dalam pengikat film, pengemulsi, dan sifat adesifnya. Polivinil alkohol memiliki kekuatan tarik yang tinggi, fleksibilitas yang baik, dan sifat penghalang oksigen yang baik (Rowe, 2009)



Gambar 2.10 Struktur PVA (Rowe, 2009)

2.9 Indikator Kesegaran

Perkembangan indikator kesegaran selama dua dekade terakhir berasal dari meningkatnya permintaan konsumen akan adanya produk segar. Indikator kesegaran dimaksudkan sebagai perangkat pintar yang untuk melakukan pemantauan kualitas produk makanan selama proses transportasi dan penyimpanan. Kerusakan kesegaran mungkin terjadi karena produk terpapar kondisi yang merugikan. Indikator kesegaran memberikan informasi langsung tentang kualitas produk mengenai pertumbuhan mikroba atau perubahan kimia dalam produk makanan (Siro, 2012). Ada dua macam indikator yang dapat

mendeteksi mutu makanan yang bersifat non-destruktif yakni *time-temperature integrators* (TTI) dan *food quality indicators* (FQI). Kedua indikator ini bekerja berdasarkan reaksi kimia yang menghasilkan perubahan warna dan berfungsi sebagai detektor adanya perubahan warna akibat perubahan mutu produk pangan di dalam kemasan, termasuk di dalamnya produk perikanan. Pada TTI perubahan warna disebabkan karena adanya perubahan suhu yang menyebabkan terjadinya reaksi kimia antara produk dan indikator perubahan warna. Namun, TTI masih belum dapat menginformasikan mutu produk yang dikemas, terlebih produk hasil perikanan yang proses kemunduran mutunya berjalan kompleks. Pada FQI, perubahan warna terjadi akibat reaksi kimiawi atau biologis yang terjadi di dalam kemasan yang mengindikasikan turunnya mutu atau rusaknya produk yang dikemas. Prinsip kerja FQI pada produk perikanan maupun produk sayuran sebagaimana indikator asam-basa berubah warnanya karena perubahan pH. Untuk produk pangan hortikultura, selama proses kemunduran mutu akan terjadi pembentukan senyawa amin yang mudah menguap seperti amonia (NH_3) hydrogen sulfide (H_2S) dan karbon dioksida (CO). Salah satu indikator yang dapat digunakan sebagai indikator kesegaran adalah indikator pH berbasis warna (Pacquit dkk., 2006).

2.10 Teknik Imobilisasi Reagen

Pembuatan sensor kimia yang didalamnya terdapat reagen kimia yang dihubungkan dengan baik pada transduser. Imobilisasi reagen didefinisikan sebagai pengikatan reagen pada fasa padat atau material pendukung secara merata, yang memungkinkan untuk terjadinya pertukaran dengan larutan sampel dimana terdapat analit untuk dideteksi (Kuswandi, 2010). Metode imobilisasi reagen ini digolongkan menjadi dua yaitu metode fisika dan metode kimia. Metode imobilisasi secara fisik meliputi proses penyerapan (adsorpsi), pemerangkapan (entrapmen), pengkapsulan (enkapsulasi) dan interaksi elektrostatis. Sedangkan metode kimia dengan pembentukan ikatan kovalendan *cross-linking*.

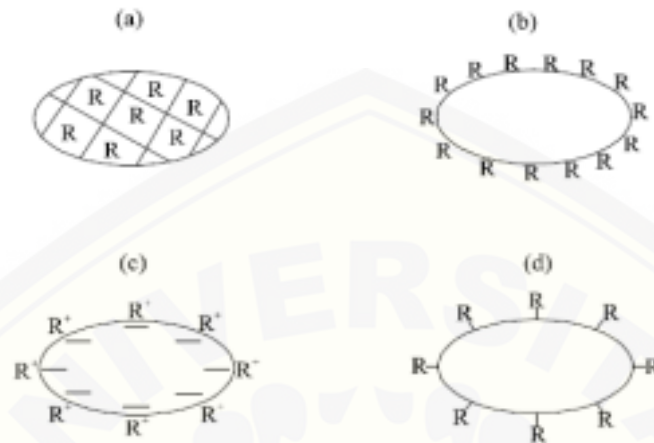
Faktor yang harus diperhatikan agar imobilisasi dapat berhasil adalah sebagai berikut,

- (a) Material pendukung (solid support material) harus hanya berinteraksi dengan gugus tertentu dari reagent tersebut, yang bukan gugus aktif yang diperlukan untuk mengikat analit.
- (b) Material tersebut cukup berpori untuk memfasilitasi terjadinya difusi analit ke dalam fasa reagen.
- (c) Reagen tersebut cukup stabil dalam kondisi (biasanya temperature dan pH) yang dibutuhkan selama proses immobilisasi berlangsung.
- (d) Proses pencucian yang digunakan untuk menghilangkan reagen yang tidak terikat dengan baik harus tidak berpengaruh pada reagen yang telah diimobilisasi.
- (e) Material pendukung tersebut harus tidak larut dalam air, stabil dan dapat mengikat reagen dengan cukup kuat pada permukaannya.
- (f) Karakter mekanis dari material pendukung tersebut harus diperhatikan, khususnya bila immobilisasi reagen dibuat dalam bentuk membran atau film. Misalnya, menggelembungnya film atau membran (swelling) (Kuswandi, 2010)

Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan metode imobilisasi (Sumber: Kuswandi, 2010)

Teknik Imobilisasi	Adsorpsi	Entrapmen	Ikatan Kovalen	Enkapsulasi
Kemudahan Prosedur	Mudah	Mudah/Sedang	Sedang/Sulit	Mudah/Sedang
Sifat reagen Mobilitas Partikel	Tetap Tinggi	Tetap Sedang	Bisa/berubah Rendah	Tetap Tinggi
Kapasitas pengikatan	Tinggi	Tinggi	Rendah	Tinggi
Lepasnya reagen	Tinggi	Sedang	Rendah	Tinggi
Stabilitas	Rendah	Sedang	Tinggi	Rendah
Waktu pakai	Pendek	Lama	Lama	Pendek
Biaya	Murah	Sedang	Mahal	Sedang

Pada tabel 2.3 dijelaskan masing-masing kelebihan dan kekurangan masing-masing metode imobilisasi.



Gambar 2.11 Berbagai metode imobilisasi dari reagen, R pada material pendukung

(Sumber: Kuswandi, 2010)

2.10.1 Teknik Imobilisasi Fisika

a. Adsorpsi

Adsorpsi adalah teknik yang paling mudah dalam imobilisasi reagen pada membran film. Teknik ini sangat luas digunakan, karena bisa digunakan untuk mengikat berbagai macam reagen dari material reagen organik hingga anorganik. Adhesi dari reagen pada fasa padat biasanya lebih lemah karena ikatan yang terbentuk selama proses adsorpsi tidak mudah untuk ditentukan. Dalam banyak kasus ikatan hydrogen dan ikatan “Van der Waals” mayoritas terlibat dalam imobilisasi secara adsorpsi.

Kelemahan material ini adalah warnanya yang hitam, sehingga menyebabkan perubahan warna pada indikator tidak bisa diamati dengan mudah bila digunakan transduser optic. Adsorpsi secara umum bisa dibagi kedalam dua golongan, yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Pada adsorpsi fisik (fisorpsi) biasanya ikatan yang terbentuk adalah ikatan van der Waals atau ikatan hidrogen sehingga ikatan ini biasanya cukup lemah. Sedangkan pada adsorpsi kimia (kemisorpsi) biasanya ikatan yang terbentuk lebih kuat, karena pada proses ini melibatkan ikatan kovalen.

b. Entrapmen

Teknik immobilisasi fisika yang cukup populer akhir-akhir ini adalah teknik entrapmen. Pada teknik ini reagen dicampur dengan sebuah larutan monomer, yang kemudian mengalami polimerisasi untuk membentuk membran baik berupa gel maupun lapisan tipis film, sehingga reagen tersebut dapat terperangkap didalamnya (Kuswandi, 2010)

c. Enkapsulasi

Teknik immobilisasi reagen secara fisika pada permukaan sensor yaitu dengan teknik encapsulasi atau sering pula disebut microencapsulasi. Pada teknik ini biasanya sebuah membran semipermeabel digunakan untuk memerangkap atau menjerat reagen kimia didalamnya pada permukaan sensor. Material membrane yang sering digunakan misalnya *PVC (polyvinylchloride)*, *cellulose acetate*, *polycarbonate*, dan *polytetrafluoroethylene (Teflon)*. Teknik immobilisasi dengan encapsulasi cukup stabil terhadap perubahan temperature, pH, kekuatan ion dan komposisi kimia. Sehingga teknik immobilisasi ini banyak digunakan dalam pengembangan sensor kimia, contohnya pada pengembangan sensor selektif ion dengan menggunakan PVC (Kuswandi, 2010)

2.11.2 Teknik Imobilisasi Kimia

a. *Crosslinking*

Teknik crosslinking biasanya menggunakan sebuah agen penghubung (a bifunctional agent) yang digunakan untuk membentuk ikatan kimia antara antara biomolekul tersebut dengan permukaan sensor/transduser. Cara ini sering digunakan bersama dengan cara lainnya seperti adsorpsi atau mikroenkapsulasi (Kuswandi, 2010)

b. Ikatan Kovalen

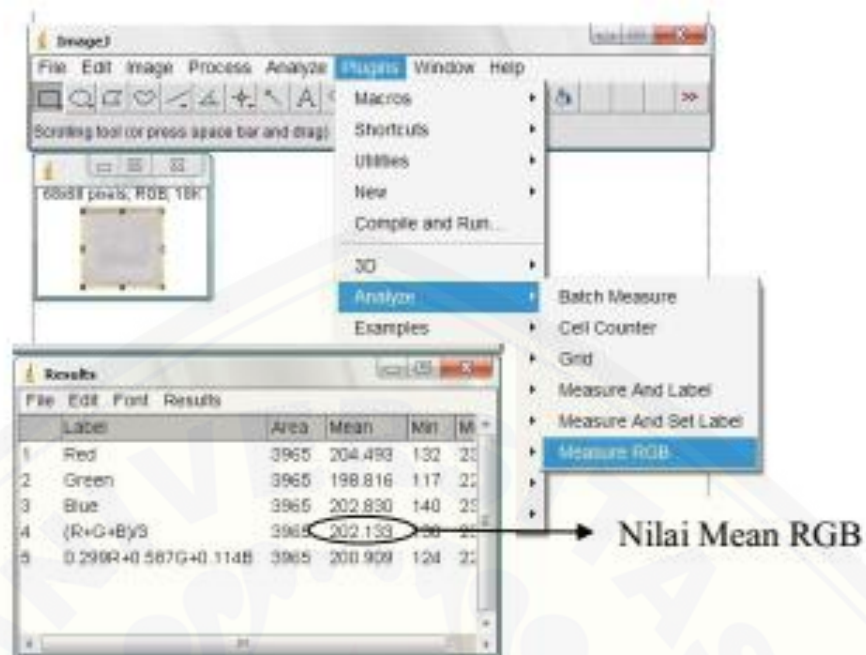
Metode immobilisasi secara kimiawi umumnya didasarkan pembentukan ikatan kovalen antara molekul reagen dengan gugus aktif atau gugus fungsi dari material pendukung, seperti polimer. Umumnya metode ini melalui beberapa langkah sintesis. Sehingga metode ini biasanya mampu menghasilkan

reagen yang stabil serta tahan terhadap *leaching*. Reaksi kimia yang biasa digunakan untuk immobilisasi adalah sililasi (silylation), dimana reagen diikatkan secara ikatan kovalen pada material pendukung secara langsung, misalnya untuk material bersilika, dan reaksi Mannich, dimana reagen dengan atom hidrogen aktif diikat secara kovalen pada resin gelas pendukung (Kuswandi, 2010)

2.11 ImageJ

ImageJ adalah program untuk melihat proses gambar berbasis Java yang dikembangkan National Institutes of Health dan Laboratorium untuk Optical and Computational Instrumentation (LOCI, University of Wisconsin). Umumnya memungkinkan untuk menyelesaikan banyak pengolahan gambar dan masalah analisis dari penampakan tiga dimensi sel hidup (Caroline A Schneider, 2014) ke pemrosesan secara radiologi (Barboriak, 2005) beberapa perbandingan data sistem (Rajwa dkk., 2004) untuk sistem hematologi otomatis (Gering dan Atkinson, 2004). Arsitektur plugin *ImageJ* dan lingkungan pengembangan bawaan membuatnya menjadi platform populer untuk mengajarkan pemrosesan gambar. Cara pengoperasian program *ImageJ* yaitu ketika kursor berada diatas gambar, maka akan ditampilkan nilai koordinat dan koordinat tersebut diukur dalam pixel/detik (Reinking, 2007).

Cara perhitungan nilai RGB dengan menggunakan program *imageJ* dapat didasarkan pada nilai perhitungan dari tiga warna yaitu merah, hijau, dan biru dengan satuan pixel/detik.



Gambar 2.12. Langkah Pengukuran nilai RGB dalam Program *ImageJ*

2.12 Tinjauan Sampel Cabai Hijau



Gambar 2.13 Cabai Hijau Besar (*Capsicum annuum* L.)

Menurut (Dalimartha, 2003) klasifikasi tanaman cabai hijau adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermathophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Sub kelas	: Sympetalae
Ordo	: Tubiflora
Famili	: <i>Solanaceae</i>
Genus	: <i>Capsicum</i>
Spesies	: <i>Capsicum annum</i> L.

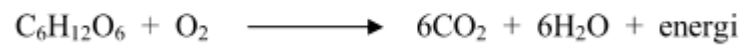
Cabai atau lombok tergolong dalam suku terong-terongan (*Solanaceae*) dan merupakan produk tanaman hortikultura yang mudah ditanam di dataran rendah maupun di dataran tinggi. Pendayagunaan cabai dalam kehidupan sehari-hari umumnya untuk keperluan bumbu dapur ataupun rempah-rempah penambah cita rasa makanan atau masakan (Rukmana, 1996). Hortikultura terbagi menjadi tiga jenis golongan tanaman yaitu tanaman sayuran, tanaman hias, dan tanaman buah-buahan. Cabai hijau besar (*Capsicum annuum* L.) termasuk tanaman buah – buahan sesudah dipanen mengalami perubahan fisiologis, enzimatis, dan kimiawi.

Perubahan fisiologis dapat mempengaruhi sifat dan kualitas produk setelah dipanen adalah fotosintesa, respirasi, tranpirasi dan proses menuanya produk. Proses-proses tersebut menyebabkan perubahan-perubahan kandungan berbagai macam zat dalam produk, ditandai dengan perubahan warna, tekstur, rasa dan bau (Hartarti dkk, 2009). Pengemasan merupakan kegiatan untuk melindungi kesegaran produk pertanian saat pengangkutan, pendistribusian dan penyimpanan agar mutu produk tetap terpelihara.

Tabel 4. Kandungan Gizi Buah Cabai segar per 100gram (Direktorat Gizi, Depkes RI 2001)

Kandungan Gizi	Jenis Cabai			
	Hijau besar	Merah keriting besar	Merah besar segar	Rawit segar
Kalori (kal)	23	311	31,0	103,0
Protein (g)	0,7	15,9	1,0	4,7
Lemak (g)	0,3	6,2	0,3	2,4
Karbohidrat (g)	50,2	61,8	7,3	19,9
Kalsium (g)	14	160	29,0	45,0
Fosfor (mg)	23	370	24,0	85,0
Zat besi (mg)	0,4	2,3	0,5	2,5
Vitamin A (S.I)	260	576	470,0	11.050
Vitamin B1 (mg)	0,1	0,4	0,1	0,2
Vitamin C (mg)	84	50	18,0	70,0
Air (g)	93,4	10	90,9	71,2

Tabel diatas menunjukkan kandungan gizi dari berbagai macam cabai. Cabai merupakan golongan sayuran hortikultura berasam rendah sekitar 5.9 – 6.2 (Susanto, 1997). Masalah utama dalam penyimpanan buah cabai besar pada suhu kamar adalah penurunan kualitas yang meliputi susut bobot, tekstur dan pH. Hal ini disebabkan oleh proses transpirasi dan respirasi yang berlangsung cepat dan terus menerus.



Gambar 2.12 menunjukkan proses respirasi atau aktivitas metabolisme dengan cara menggunakan oksigen dalam pembakaran senyawa makromolekul seperti untuk merombak karbohidrat, protein dan lemak yang akan menghasilkan karbondioksida, uap air, sejumlah besar ATP atau energi.

Penyimpanan pada suhu rendah dapat memperpanjang masa hidup dari jaringan-jaringan di dalam bahan pangan tersebut. Hal ini tidak hanya disebabkan proses respirasi yang menurun, tetapi juga karena terhambatnya pertumbuhan mikroba penyebab kebusukan dan kerusakan (Winarno, 1989).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian *experimental laboratories*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan dilaboratorium Sensor Kimia dan Biosensor Fakultas Farmasi Universitas Jember mulai bulan Desember sampai selesai.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain timbangan analitik OHAUS PA214, vial, gelas kimia, gelas ukur, pipet volume, pinset, pipet tetes, pipet volume, plat tetes, batang pengaduk, kuvet, mikropipet *socorex*, spektroskopi UV-Vis, pH meter EUTECH, indikator pH universal MERCK, blender, *press* kaca, oven, kamera, scanner, *imageJ*.

3.3.2 Bahan

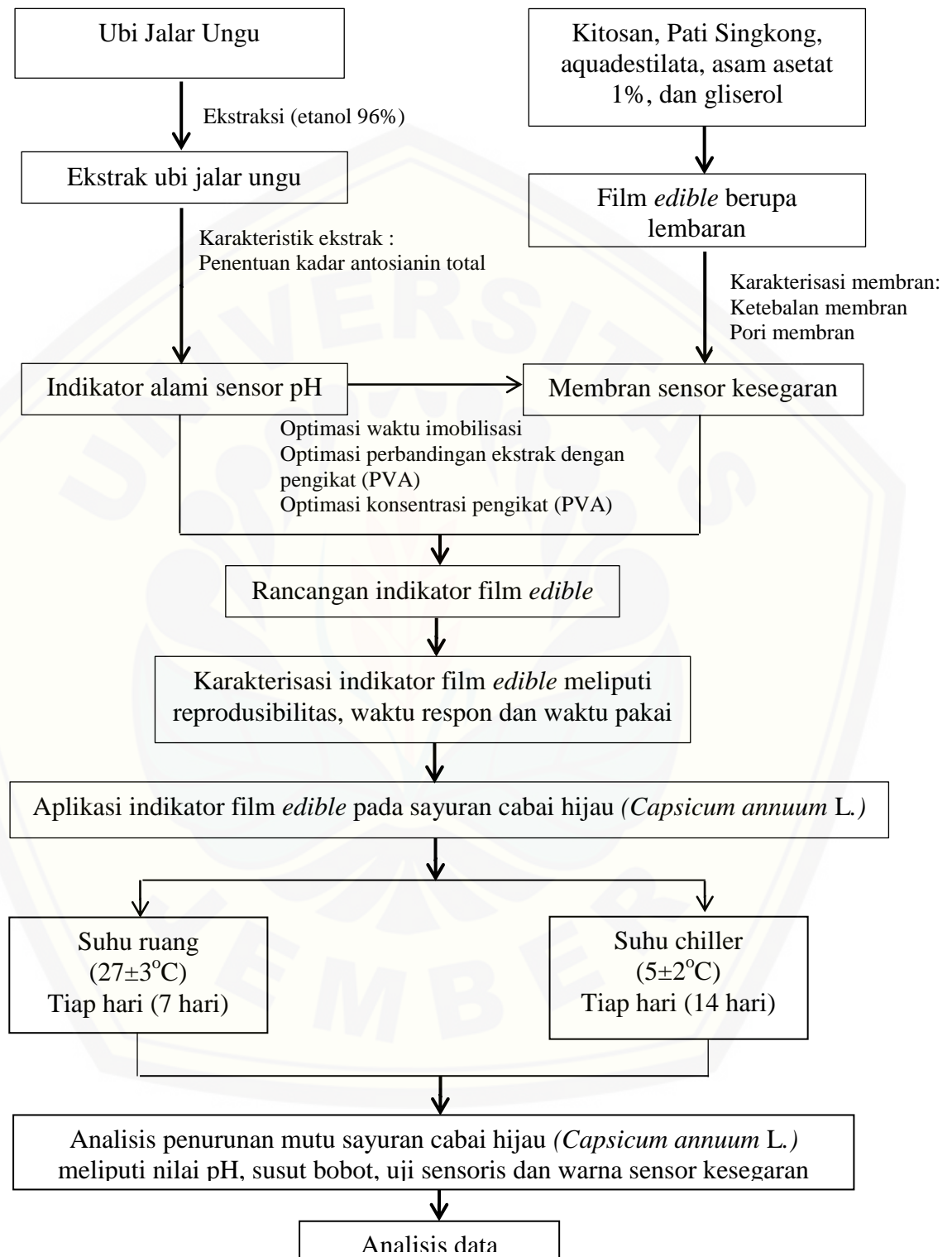
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ubi jalar ungu (*Ipamoea batatas* L.) yang dibeli di “Pasar Tanjung” Jember, kitosan, pati kentang, etanol 96%, aquadestilata, Polivinil Alkohol (PVA)

3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Tahap Percobaan

1. Pembuatan ekstrak ubi jalar ungu (*Ipamoea batatas* L.poir)
2. Penentuan konsentrasi antosianin total ekstrak ubi jalar ungu (*Ipamoea batatas* L.poir)
3. Pembuatan membran film *edible* campuran kitosan dan pati singkong
4. Karakterisasi membran film *edible* meliputi ketebalan membran dan pori membran.
5. Optimasi sensor film *edible* meliputi waktu imobilisasi, perbandingan ekstrak dengan pengikat (PVA) dan.konsentrasi bahan pengikat (PVA)
6. Fabrikasi sensor film *edible* dari kitosan dan pati singkong yang akan diimobilisasi dengan indikator ekstrak ubi jalar ungu (*Ipamoea batatas* L.poir)
7. Karakterisasi sensor film *edible* meliputi waktu respon dan waktu pakai.
8. Aplikasi sensor film *edible* pada sampel cabai hijau (*Capsicum annum* L.)

3.4.2 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pembuatan Indikator Ubi Jalar Ungu

1) Pembuatan Ekstrak Ubi Jalar Ungu

Ekstraksi ubi jalar ungu ini dibuat dengan metode ekstraksi maserasi. Ditimbang 25 g ubi jalar ungu yang sudah dipotong kotak-kotak kecil kemudian diblender dan hasil blender dimasukkan ke toples kaca gelap lalu dilarutkan dengan 100mL etanol 96% lalu ditutup rapat dan disimpan di tempat gelap dibiarkan selama 24jam, esoknya di peras dan di saring dengan kain hasil filtrate dimasukkan ke botol.

2) Penentuan Konsentrasi Antosianin Total

Antosianin yang didapat dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Pengukuran absorbansi di mulai pada daerah serapan 510 nm – 700 nm. Panjang gelombang maksimum antosianin ditentukan dari nilai absorbansi optimumnya. Panjang gelombang maksimum tersebut yang kemudian akan digunakan dalam proses analisis total konsentrasi antosianin menggunakan metode pH diferensial spektrofotometri. Tabung reaksi disiapkan sebanyak dua buah, tabung reaksi pertama dimasukkan larutan dapar kalium klorida pH 1 sebanyak 3 mL kemudian tabung reaksi kedua dimasukkan larutan dapar natrium asetat pH 4,5 sebanyak 3 mL. Masing-masing tabung reaksi ditambahkan sampel yang akan ditentukan kadar antosianin sebanyak 0,5 mL dan didiamkan selama 15 menit. Pengukuran absorbansi dari kedua perlakuan pH tersebut diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 510 nm untuk pH 1 dan 700 nm untuk pH 4.5. Penentuan rumus total konsentrasi antosianin ubi jalar ungu dapat ditentukan berdasarkan persamaan (3.1) dan (3.2) berikut :

$$A = A_{520} - A_{700 \text{ pH } 1,0} - (A_{520} - A_{700 \text{ pH } 4,5}) \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\text{Konsentrasi antosianin (mg/L)} = \frac{A \times BM \times FP \times 1000}{\epsilon \times l} \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan :

A = absorbansi

A_{520} = absorbansi pada panjang gelombang 520 nm

A_{700} = absorbansi pada panjang gelombang 700 nm

BM = berat molekul (449,2 g/mol)

FP = faktor pengenceran

ϵ = ekstingsi molar (26900 L/cm)

l = tebal kuvet (cm)

3.5.2 Pembuatan Membran Sensor Edible Pati Singkong – Kitosan

Ditimbang pati singkong sebanyak 6g dilarutkan dengan 30mL aquades dipanaskan pada suhu 70°C disertai pengadukan hingga terbentuk larutan agak kental dan putih. Kitosan ditimbang sebanyak 4g dilarutkan bersama asam asetat 1% ad larut sebanyak 25mL hingga terbentuk adonan kental dan berwarna coklat bening. Pati dan Kitosan dicampur dan diaduk hingga homogen. Setelah homogen di tambahkan gliserol sebanyak 5mL hingga terbentuk larutan edible film berwarna krem. Edible film dibuat dengan menuangkan campuran ke dalam plat kaca, lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 50°C hingga kering (± 24 jam). Setelah kering film dikeluarkan dari cetakan lalu di bentuk bulat (diplong), setelah itu film siap digunakan untuk membran sensor.

3.5.3 Karakterisasi Membran Film *Edible*

1) Karakterisasi Ketebalan Membran

Optimasi ketebalan membran dilakukan untuk mendapatkan membran dengan konsistensi yang baik ditandai dengan kemampuan mengikat indikator dengan baik, agar warna yang didapatkan merata serta tidak mudah sobek ketika ditempatkan dalam kemasan. Ketebalan membran yang baik yaitu berada pada rentang 0,10-0,50mm (Murni,dkk).

2) Karakterisasi Pori Membran

Pori membran dilihat menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Diambil gambar permukaan membran untuk melihat pori membran pada *voltage* 10 kV dan magnifikasi 100 sampai 1200x. Pori membran yang baik akan memberikan intensitas warna dan homogenitas warna yang tersebar merata pada membran.

3.5.3 Optimasi Film *Edible*

1) Optimasi Konsentrasi PVA

Optimasi konsentrasi PVA dilakukan untuk pengikatan warna indikator ubi ungu yang baik pada membran poliblend kitosan dan pati singkong dan agar tidak mengalami kebocoran jika kontak dengan sampel sayuran. Menurut literatur, konsentrasi PVA yang digunakan sebagai pengikat adalah adalah 1%. Tetapi dibuat tiga seri konsentrasi yaitu 0,1 %, 1,5% dan 1 %. Konsentrasi PVA yang optimum akan menghasilkan respon paling baik dan tidak meninggalkan bekas warna setelah dilakukan uji.

2) Perbandingan Ekstrak dengan Pengikat

Bahan pengikat ditambahkan pada sensor *edible* untuk mengikat indikator warna antosianin ubi jalar ungu pada film *edible*. Optimasi perbandingan ekstrak dengan pengikat dilakukan untuk mengetahui perbandingan ekstrak dengan pengikat yang memberikan perubahan warna paling intensif. Perbandingan ekstrak dengan pengikat yang digunakan adalah 1:1, 1:2, dan 1:3.

3) Optimasi Waktu Imobilisasi

Tujuan dilakukannya optimasi waktu imobilisasi adalah untuk mendapatkan sensor *edible* yang kinerjanya optimum dan untuk mendapatkan warna yang stabil karena pengaruh jumlah indikator ubi jalar

ungu yang terikat pada membrane film. Waktu imobilisasi yang digunakan adalah 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150menit.

3.5.4 Fabrikasi Sensor *Edible*

1) Penambahan Bahan Pengikat Pada Ekstrak Ubi Jalar Ungu

PVA ditambahkan ke ekstrak ubi jalar ungu yang telah ditempatkan pada plat tetes, campuran tersebut di aduk hingga homogen.

2) Pengimobilisasian Indikator Pada Membran Film Edible

Membran dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 7 mm direndam sesuai dengan waktu pengoptimasian yang paling baik dalam indikator yang telah ditambahkan PVA, kemudian dikeringkan dengan cara diangin-anginkan.

3.5.5 Karakterisasi Sensor *Edible*

1) Waktu Respon

Penentuan waktu respon dilakukan untuk mengetahui kecepatan perubahan warna sensor yang dilakukan pada pH 6,2 dan 8,2. Penelitian dilakukan dengan mengamati secara visual mulai saat terjadinya perubahan warna sampai warna menjadi homogen. Secara kuantitatif waktu respon ditentukan dengan nilai *mean green*.

2) Waktu Pakai

Pengujian waktu pakai ini dilakukan dengan pengamatan secara visual kestabilan warna sensor *edible* setelah kontak dengan pH 6,2 dan 8,2 terhadap waktu pada hari ke-1, hari ke-7, hari ke-14 dan seterusnya sampai warnanya berangsur pudar. Pengamatan waktu pakai dilakukan dengan pengamatan secara visual dan melihat nilai *mean green*.

3) Reprodusibilitas Sensor

Reprodusibilitas dapat dinyatakan sebagai kepresisian respon sensor terhadap analit yang diukur pada waktu yang berbeda dan kondisi yang relatif sama. Pada penelitian ini, reprodusibilitas sensor ditentukan dengan menghitung standar deviasi relatif (RSD) dari 6 kali replikasi terhadap sensor yang berbeda dengan 3 hari yang berbeda. Data diukur menggunakan nilai *mean Blue* dan dihitung nilai RSD. Reprodusibilitas sensor terhadap analit dapat digolongkan baik bila kesesuaian respon tersebut antara respon yang satu dengan yang lainnya yang dinyatakan dengan $RSD < 5\%$.

3.5.6 Aplikasi Sensor *Edible* Pada Sampel Sayuran Cabai Hijau

Indikator film *edible* ditempatkan didalam kemasan cabai hijau. Perubahan warna diamati secara visual untuk memantau pH dan kualitas dari cabai hijau. Perubahan warna diamati secara visual untuk memantau pH dari sampel dengan 3 indikator yaitu segar, masih segar, busuk.

FRESHNESS SIGN



Gambar 3.2 Desain sensor kesegaran

3.5.7 Analisis Data

Pengolahan data penelitian dengan cara deskriptif. Data hasil pengamatan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi data. Data yang dihasilkan akan dikelompokkan menjadi kategori segar dan tidak segar. Dilakukan perhitungan standar deviasi (SD) dan relative standar deviasi (RSD) terhadap data hasil pengamatan. Standar deviasi berfungsi mengukur seberapa luas penyimpangan data tersebut dari nilai rata-ratanya (Soewarno, 1995). Koefisien variasi merupakan nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Semakin besar nilai RSD, berarti datanya kurang merata (heterogen). Sebaliknya, jika nilai RSD semakin kecil maka data yang dihitung semakin merata (homogen) (Soewarno, 1995). Standar deviasi dan koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum |x_d - \bar{x}_d|^2}{n-1}}$$
$$RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\%$$

Keterangan :

- SD = Standar Deviasi
RSD = Relatif Standar Deviasi
X = Rata-rata hitung
N = Jumlah Data

3.5.8 Analisis Mutu dan Evaluasi Sampel Cabai Hijau

1) Nilai pH

Pengukuran pH pada cabai hijau dilakukan selama 7 hari dan 14 hari. Karena cabai hijau termasuk komoditi sayuran yang memiliki umur simpan panjang maka pH di cek 24 jam sekali selama 7 hari pada suhu ruang dan 14hari pada suhu chiller. Preparasi dilakukan dengan

melarutkan 1g cabai hijau yang telah digerus halus, lalu ditambahkan dengan aquadest 10mL aduk ad homogen, lalu di ukur pH dengan menggunakan pH meter.

2) Susut bobot

Uji susut bobot dilakukan selama penyimpanan hari ke-1 sampai hari ke-7 berturut turut pada suhu ruang yaitu 28-32°C. Parameter ini dilakukan untuk melihat perbandingan bobot awal cabai hijau sampai bobot awal hari akhir yang dapat menentukan kualitas cabai. Perhitungan bobot dilakukan dengan menghitung selisih berat awal dan berat akhir dibandingkan berat awal dikali persen dengan menggunakan timbangan analitik. Perhitungan susut bobot berdasarkan persamaan (3.2) :

$$\text{Persentase susut bobot (\%)} = \frac{\text{bobot awal} - \text{bobot akhir}}{\text{bobot awal}} \times 100\% \dots (3.2)$$

3) Uji *sensory evaluation*

Pengamatan ini dilakukan dari hari ke-1 sampai hari ke-15 dalam suhu ruang maupun suhu chiller. Pengamatan secara sensoris ini menggunakan parameter perubahan warna dan perubahan aroma pada sampel sayuran cabai hijau. Pengamatan ini membutuhkan 10 panelis yang nantinya akan menilai tingkat kesegaran sayuran cabai hijau dengan 3 poin yaitu 1 untuk kategori busuk, 2 untuk kategori masih segar dan 3 untuk kategori sangat segar.

4) Uji Tekstur

Tekstur juga merupakan komponen organoleptik yang penting dalam menentukan bahan pangan tersebut layak dikonsumsi atau tidak. Karena dengan pengujian tekstur ini kita dapat mengetahui bahan pangan tersebut sangat segar atau sebaliknya. Tekstur juga erat kaitannya dengan kadar air karena kadar air yang terkandung dalam bahan pangan

menentukan kepadatan dari suatu bahan. Hal ini sesuai dengan Apandi (1984) yang menyatakan kekerasan, kekohesifan dan kadar air. Uji tekstur disini menggunakan alat yaitu Rheotex. Hasil analisis uji rheotex ini menyatakan kekerasan atau kepadatan dari sampel sayuran cabai hijau pada 3 titik lalu dianalisis data tersebut.



BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, serta mengacu pada perumusan masalah, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Fabrikasi sensor kesegaran edible dimulai dengan pembuatan ekstrak ubi jalar ungu yang ditambahkan PVA sebagai bahan pengikat pada membran film pati singkong dan kitosan. Waktu imobilisasi optimum pada fabrikasi sensor kesegaran *edible* yaitu 90 menit dengan perbandingan ekstrak dengan PVA 1:3 dan konsentrasi PVA 1%.
2. Karakterisasi waktu respon sensor kesegaran *edible* telah menunjukkan keadaan *steady state* pada menit ke-8. Reprodusibilitas berdasarkan intensitas warna atau nilai *mean green* menunjukkan bahwa perubahan warna dengan 3 kali pengulangan selama 3 hari memiliki RSD <5%. Sensor kesegaran *edible* dapat bertahan 13 hari pada penyimpanan suhu ruang dan 17 hari dalam penyimpanan suhu *chiller* dengan kenaikan *mean green* <15%.
3. Indikator pH dapat diaplikasikan sebagai label pintar untuk kesegaran cabai hijau dipasaran dengan cara meletakkan sensor pada bagian dalam kemasan cabai hijau, kemudian dapat dilihat perubahan warna yang terjadi dengan membandingkan warna yang terdapat pada label.

3.2 Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, perlu dilakukan penelitian lanjut dengan menguji sensor kesegaran *edible* berbasis indikator alami ekstrak antosianin ubi jalar ungu untuk menguji kesegaran produk makanan lain.
2. Disarankan juga menggunakan membran *edible* lain selain membran *edible* berbahan kitosan, pati dan *nata de coco* dengan tambahan pengawet untuk menghasilkan membran *edible* yang lebih stabil dalam penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andarwulan, Sutrisno, 1992. Kimia Vitamin. Rajawali Pers. Jakarta. Hal 28–31
- Adiarto, T., S. Wafiroh, dan A. J. Permana. 2015. Pengaruh komposisi kitosan, dan pemlastis gliserol terhadap sifat edible film dari pati singkong (manihot utilisima). (December)
- Arlene, A. 2012. Isolasi zat warna ungu pada ipomoea batatas poir dengan pelarut air. 1–31.
- Bagchi, A. 2012. Intelligent sensing and packaging of foods for enhancement of shelf life : concepts and applications. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 3(10):1–13.
- Bangyekan, C., D. Aht-ong, dan K. Srikulkit. 2006. Preparation and properties evaluation of chitosan-coated cassava starch films. 63:61–71.
- Benítez, S., M. Chiumenti, F. Sepulcre, I. Achaerandio, dan M. Pujolá. 2012. Modeling the effect of storage temperature on the respiration rate and texture of fresh cut pineapple. 113:527–533.
- Bueno, J. M., P. Sáez-plaza, dan F. Ramos-escudero. 2012. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments . part ii : chemical structure , color , and intake of anthocyanins. (January 2016)
- Caroline A Schneider, W. S. R. & K. W. E. 2014. NIH image to imagej: 25 years of image analysis. *FoCus on BIoImaGe InFormatICs*. 44(3):93–102.
- Chen, H. zhi, M. Zhang, B. Bhandari, dan Z. Guo. 2018. Applicability of a colorimetric indicator label for monitoring freshness of fresh-cut green bell

pepper. *Postharvest Biology and Technology*. 140(November 2017):85–92.

Dainty R.H. 1996. Chemical ~ biochemical detection of spoilage. *Journal, International Microbiology, Food*. 33

Dalimartha S., 2003, Atlas Tumbuhan Obat Indonesia Jilid 3, Puspa Swara,. Jakarta

Dawange, S. P., S. K. Dash, dan S. B. Patil. 2010. Smart packaging and food industry. 29(5):31–37.

Direktorat Jenderal Bina Gizi Masyarakat. Buku Saku Pemantauan Status Gizi dan Indikator Kinerja Gizi Tahun 2001. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI;

E. Kress-Rogers, ALSTOM, R. 2001. Instrumentation and sensors for the food industry. *Instrumentation and Sensors for the Food Industry*. 403–422.

Fang, Z., Y. Zhao, R. D. Warner, dan S. K. Johnson. 2017. Trends in food science & technology active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*. 61(2):60–71.

Fatimah, D. 2003. Preservasi kesegaran cabai merah (hot beauty & keriting) dengan zeolit alam teraktivasi. 2(1):24–30.

Gennadios, A. 2002. *Protein-Based Films and Coating*. Boca Raton, FL 33487-2742: CRC Press.

Gering, E. dan C. T. Atkinson. 2004. A rapid method for counting nucleated erythrocytes on stained blood smears by digital image analysis. *Journal of Parasitology*. 90(4):879–881.

- Giannakourou, M. C., K. Koutsoumanis, G. J. E. Nychas, dan P. S. Taoukis. 2005. Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain. *International Journal of Food Microbiology*. 102(3):323–336.
- Glowacz, M. dan D. Rees. 2016. Exposure to ozone reduces postharvest quality loss in red and green chilli peppers. *Food Chemistry*. 210:305–310.
- Gontard, N., S. Guilbert, dan J. Cuq. 1992. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film
- Hartarti, U., Sadli., Detris, P. 2009. Peningkatan Kualitas Lombok Merah Melalui Proses Pengelolaan Secara Kimia di desa Sambo. Palu: PKMM Universitas Tadulako (Tidak diterbitkan).
- Harborne, J. B. 1980. *Phytochemical Methods*. New York NY 10017: British Library Cataloguing in Publication Data.
- Hashmi, M. H. 1986. Assay of vitamins in pharmaceutical preparations. London : John Wiley and Sons. Lakitan, B, 1995. Teori Hortikultura.
- Hidayat, N., dan Saati, E.A. (2006). Membuat Pewarna Alami. Surabaya: Penerbit. Trubus Agrisarana. Hal. 35.
- Kuswandi, B. 2010. Sensor kimia teori, praktek, dan aplikasi. *Jember University Press*. 16–30.
- Kuswandi, B., U. Jember, J. Jayus, dan U. Jember. 2015. Simple and low-cost on-package sticker sensor based on litmus paper for real-time monitoring of beef freshness simple and low-cost on-package sticker sensor based on litmus

paper for real-time monitoring of beef freshness. (December)

Kuswandi, B. dan A. Nurfawaidi. 2017. On-package dual sensors label based on ph indicators for real-time monitoring of beef freshness on-package dual sensors label based on ph indicators for real-time monitoring of beef freshness. *Food Control*. 82(October):e123–e123.

Kuswandi, B. dan T. Susanti. 2012. Real-time monitoring of shrimp spoilage using on-package sticker sensor based on natural dye of curcumin. (January)

Life, D. 2014. *Isolation and Characterization of Chitin and Chitosan from Marine Origin*. Edisi 1. Elsevier Inc. *Marine Carbohydrates: Fundamentals and Applications, Part A*.

Milda E. Embuscado, K. C. H. 2009. *Edible Film and Coatings For Applications*

Murtiningsih dan Suyanti. 2011. *Membuat Tepung Umbi dan Variasi Olahannya*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.

Neethirajan, S., M. S. Freund, D. S. Jayas, C. Shafai, D. J. Thomson, dan N. D. G. White. 2010. Development of carbon dioxide (co₂) sensor for grain quality monitoring. *Biosystems Engineering*. 106(4):395–404.

Pablo, J., A. Jim, dan A. Ibarz. 2011. Edible films and coatings : structures , active functions and trends in their use. 22:292–303.

Pacquit, A., K. Tong, H. Mclaughlin, J. Frisby, B. Quilty, dan D. Diamond. 2006. Development of a volatile amine sensor for the monitoring of fish spoilage. 69:515–520.

Rajwa, B., H. A. McNally, P. Varadharajan, J. Sturgis, dan J. P. Robinson. 2004.

AFM/clsm data visualization and comparison using an open-source toolkit. *Microscopy Research and Technique*. 64(2):176–184.

Reinking, L. 2007. ImageJ basics. *Word Journal Of The International Linguistic Association*. (June):1–22.

Richard J. Lewis, S. J. W. & S. 2007. Hawley's condensed chemical dictionary, 15th ed. 5296–5297.

Rodiana, Y. dan H. Maulana. 2013. Pengkajian Metode Untuk Analisis Total 66 Logam Berat Dalam Sedimen Menggunakan Microwave Digestion Method Assessment For Heavy Metal Analysis In Sediment. *Journal of Biota*. 7(2):71–80.

Rowe, R. C. 2009. *Handbook Of Pharmaceutical Excipients*,. Edisi Sitxth Edi. Pharmaceutical Press.

Rukmana, R.H. 2008. Ubi Jalar Budi Daya dan Pascapanen. Yogyakarta: Kanisius

Santoso, B. dan E. Wahyu. 2008. Penapisan zat warna alam golongan anthocyanin dari tanaman sekitar sebagai indikator asan basa. 1–8.

Seafast Center. 2012. Merah-Ungu antosianin. Bogor. IPB Press. Hal 23–43.

Setiawan, Iwan , S.T., M. T. 2011. Buku ajar sensor dan tranduser. *Semarang, Universitas Diponegoro*. 1–49.

Soewarno. 1995. Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data. Penerbit Nova. Bandung.

Stintzing, F. C. dan R. Carle. 2004. Functional properties of anthocyanins and

betalains in plants , food , and in human nutrition. 15:19–38.

Suprapti, L. 2003. Tepung Ubi Jalar, Pembuatan dan Pemanfaatannya. Yogyakarta: Kanisius. Hal: 2-15

Suyatma, N. E., A. Copinet, L. Tighzert, dan V. Coma. 2015. Mechanical and barrier properties of biodegradable films made from chitosan and poly (lactic acid) blends. (June):2–4.

Trenggono, Z. Noor, D. Wibowo, M. Gardjito dan M. Astuti. 1990 Kimia, Nutrisi Pangan Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi UGM. Yogyakarta.

Ul, A. 2005. R : concise reviews / hypotheses in food science intelligent packaging : t package devices. 70(1):1–10.

Victor O. Sheftel. 2002. Indirect food additives and polymers: migration and toxicology. 356(43):10742.

Widjanarko, S. 2008. Efek Pengolahan terhadap Komposisi Kimia & Fisik Ubi Jalar Ungu dan Kuning. Gramedia. Jakarta.

Winarno, F.G. 2008. Kimia Pangan dan Gizi. PT. Gramedia. Jakarta.

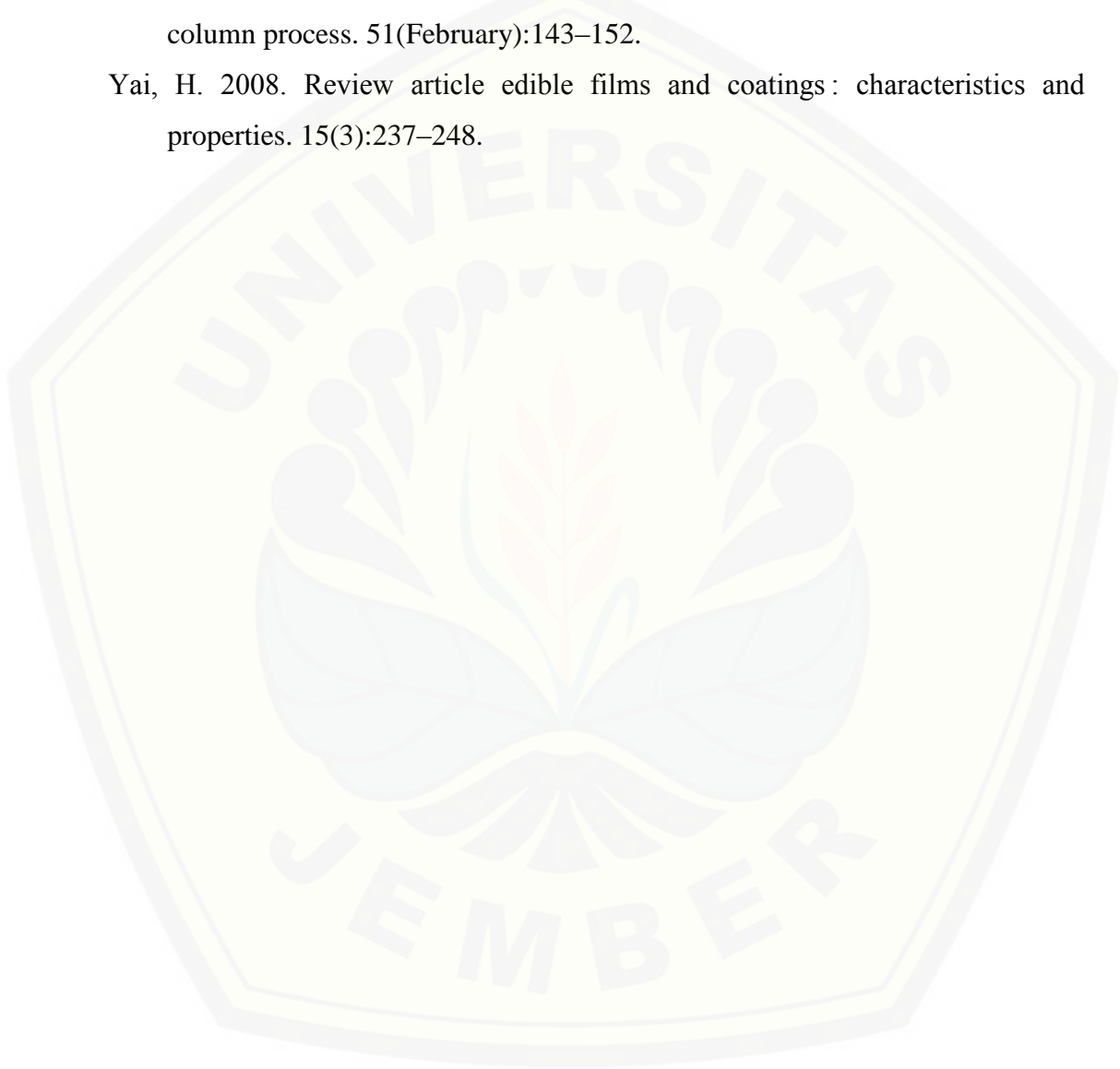
Wongpanit, P., N. Sanchavanakit, P. Pavasant, P. Supaphol, S. Tokura, dan R. Rujiravanit. 2005. Preparation and characterization of microwave-treated carboxymethyl chitin and carboxymethyl chitosan films for potential use in wound care application. (Dd):1001–1012.

Wrolstad, R. E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by uv-visible spectroscopy. 1–13.

Wu, Q. dan L. Zhang. 2013. Structure and properties of casting films blended with starch and waterborne polyurethane. (May 2000):2006–2013.

Xavier, M. F., T. J. Lopes, M. Gabriela, dan N. Quadri. 2008. Extraction of red cabbage anthocyanins: optimization of the operation conditions of the column process. 51(February):143–152.

Yai, H. 2008. Review article edible films and coatings: characteristics and properties. 15(3):237–248.



LAMPIRAN

Lampiran 1.

Data Absorbansi

pH 1					
Absorbansi	R1	R2	R3	R4	R5
$\lambda 510 \text{ nm} =$	0,430	0,423	0,423	0,467	0,472
$\lambda 700 \text{ nm} =$	0,016	0,014	0,014	0,029	0,032

pH 4,5					
Absorbansi	R1	R2	R3	R4	R5
$\lambda 510 \text{ nm} =$	0,132	0,133	0,144	0,148	0,151
$\lambda 700 \text{ nm} =$	0,017	0,014	0,022	0,020	0,015

Perhitungan :

$$A = A_{510} - A_{700} \text{ pH } 1,0 - (A_{510} - A_{700} \text{ pH } 4,5)$$

$$\text{Konsentrasi antosianin (C)} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A \times \text{BM} \times \text{FP} \times 1000}{\epsilon \times l}$$

- **Replikasi 1**

$$\begin{aligned} A1 &= 0,430 - 0,016 - 0,132 - 0,017 \\ &= 0,414 - 0,115 \\ &= 0,299 \end{aligned}$$

$$C1 = \frac{0,299 \times 449,2 \times 7 \times 1000}{26900 \times 1} = 34,951 \text{ mg/L}$$

Kadar dalam %b/b

$$34,951 \text{ mg/L} \sim 1000\text{mL}$$

$$X \text{ mg} \sim 400\text{mL}$$

$$X = 34,951 \text{ mg/L} \times 400 / 1000$$

$$= 13,980 \text{ mg} = 13,98 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$\% \text{b/b} = \frac{13,98 \times 10^{-3}}{100 \text{ g}} \times 100\% = 0,014\%$$

Lampiran 2.

A. Data Hasil Pengamatan pH Cabai Hijau Segar dan Busuk

Sampel	Hari Ke	Nilai pH			Rata-Rata	SD	RSD
		Rep 1	Rep 2	Rep 3			
Sampel 1	1	6,11	6,15	6,17	6,14	0,031	0,505%
	2	6,45	6,40	6,38	6,41	0,036	0,562%
	3	6,51	6,49	6,55	6,50	0,010	0,154%
	4	6,87	6,90	6,95	6,91	0,040	0,579%
	5	7,17	7,28	7,33	7,26	0,082	1,129%
	6	7,70	7,89	7,65	7,75	0,127	1,639%
	7	8,22	8,25	8,18	8,22	0,035	0,426%
Sampel 2	1	6,16	6,15	6,10	6,14	0,015	0,244%
	2	6,40	6,39	6,37	6,34	0,031	0,489%
	3	6,51	6,49	6,55	6,52	0,040	0,613%
	4	6,87	6,90	6,95	6,91	0,082	1,187%
	5	7,17	7,28	7,33	7,26	0,127	1,749%
	6	7,70	7,89	7,65	7,75	0,035	0,452%
	7	8,22	8,25	8,18	8,22	0,038	0,462%
Sampel 3	1	6,11	6,10	6,17	6,14	0,036	0,586%
	2	6,45	6,40	6,38	6,41	0,032	0,499%
	3	6,50	6,49	6,55	6,51	0,020	0,307%
	4	6,87	6,91	6,89	6,89	0,045	0,653%
	5	7,27	7,18	7,23	7,23	0,085	1,176%
	6	7,72	7,85	7,69	7,75	0,045	0,581%
	7	8,21	8,25	8,16	8,21	0,032	0,390%
Sampel 4	1	6,16	6,10	6,15	6,14	0,036	0,586%
	2	6,40	6,45	6,38	6,41	0,025	0,390%
	3	6,51	6,49	6,54	6,51	0,078	1,198%
	4	6,80	6,91	6,95	6,89	0,032	0,464%
	5	7,27	7,28	7,33	7,29	0,098	1,344%
	6	7,70	7,84	7,65	7,73	0,035	0,453%
	7	8,19	8,19	8,25	8,21	0,036	0,438%
Sampel 5	1	6,10	6,12	6,17	6,13	0,036	0,587%
	2	6,45	6,43	6,38	6,42	0,035	0,545%
	3	6,51	6,48	6,55	6,51	0,025	0,384%
	4	6,87	6,92	6,90	6,90	0,068	0,986%
	5	7,17	7,27	7,30	7,25	0,091	1,255%
	6	7,72	7,89	7,75	7,79	0,049	0,629%
	7	8,22	8,25	8,18	8,22	0,036	0,438%
Sampel 6	1	6,10	6,15	6,17	6,14	0,031	0,505%

	2	6,44	6,40	6,38	6,41	0,035	0,546%
	3	6,51	6,48	6,55	6,51	0,035	0,538%
	4	6,87	6,90	6,94	6,90	0,070	1,014%
	5	7,17	7,28	7,30	7,25	0,071	0,979%
	6	7,70	7,79	7,65	7,71	0,025	0,324%
	7	8,22	8,25	8,20	8,22	0,025	0,304%
Sampel	1	6,12	6,15	6,17	6,15	0,031	0,504%
7	2	6,44	6,40	6,38	6,41	0,015	0,234%
	3	6,51	6,49	6,52	6,51	0,030	0,461%
	4	6,87	6,90	6,93	6,90	0,075	1,087%
	5	7,20	7,28	7,35	7,28	0,070	0,962%
	6	7,71	7,79	7,65	7,72	0,029	0,376%
	7	8,20	8,25	8,20	8,22	0,015	0,182%

Cara menghitung SD dan % RSD :

$$SD = [=STDEV(\text{nilai pH rep1,rep2,rep3})]$$

$$\%RSD = [=SD/\text{rata-rata} \times 100\%]$$


Sampel	Rata- Rata nilai pH						
	Cabai	Hari ke	Hari ke	Hari ke	Hari ke	Hari ke	Hari ke
Ke-	1	2	3	4	5	6	7
1	6,14	6,41	6,52	6,91	7,52	7,65	8,21
2	6,14	6,41	6,51	6,91	7,49	7,75	8,22
3	6,14	6,34	6,50	6,89	7,74	7,92	8,22
4	6,14	6,41	6,51	6,90	7,63	7,73	8,21
5	6,13	6,42	6,51	6,90	7,55	7,78	8,20
6	6,14	6,41	6,51	6,90	7,48	7,81	8,22
7	6,15	6,41	6,51	6,90	7,52	7,72	8,22
Rata-Rata	6,14	6,40	6,51	6,90	7,56	7,84	8,22
SD	0,006	0,027	0,006	0,007	0,093	0,026	0,004

$$\text{pH cabai hijau segar} = (6,14 - 0,006) - (6,14 + 0,006) = 6,13 - 6,14$$

$$\text{pH cabai hijau busuk} = (7,61 - 0,093) - (7,61 + 0,093) = 7,56 - 7,65$$

Lampiran 3. Optimasi Sensor *Edible*

3.1 RGB Membran

Membran	<i>Mean Red</i>	<i>Mean Green</i>	<i>Mean Blue</i>	<i>Mean RGB</i>
	227,395	213,058	185,158	208.539
	227,372	213,076	185,601	209.902
	228,423	214,259	187,040	208.675
	227,730 ±	213,464 ±	185,933 ±	208.539 ±
	0,600	0,688	0,984	0,750

3.2 Optimasi Waktu Imobilisasi

Menit ke-	Nilai Green			Mean Green	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3			
30	141,026	142,854	142,865	141,347	2,766	1,957%
60	141,275	138,618	144,148	130,843	2,886	2,207%
90	127,645	133,252	131,633	119,260	2,841	2,382%
120	122,084	129,860	127,036	119,700	1,191	0,995%
150	120,663	119,542	119,234	119,313	2,053	1,721%

3.3 Rasio Intensitas Warna

PVA 0,1% : Ekstrak	Nilai Green			<i>Mean Green</i>	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3			
1 : 1	156,312	159,761	158,324	158,323	1,732	1,094%
1 : 2	137,522	137,238	135,344	136,368	1,184	0,868%
1 : 3	111,902	109,829	107,017	109,583	2,452	2,238%

3.4 Optimasi Konsentrasi PVA










Lampiran 4.










4.1 Data Hasil Pengamatan Perubahan Warna Sensor Kesegaran berdasarkan







Image J

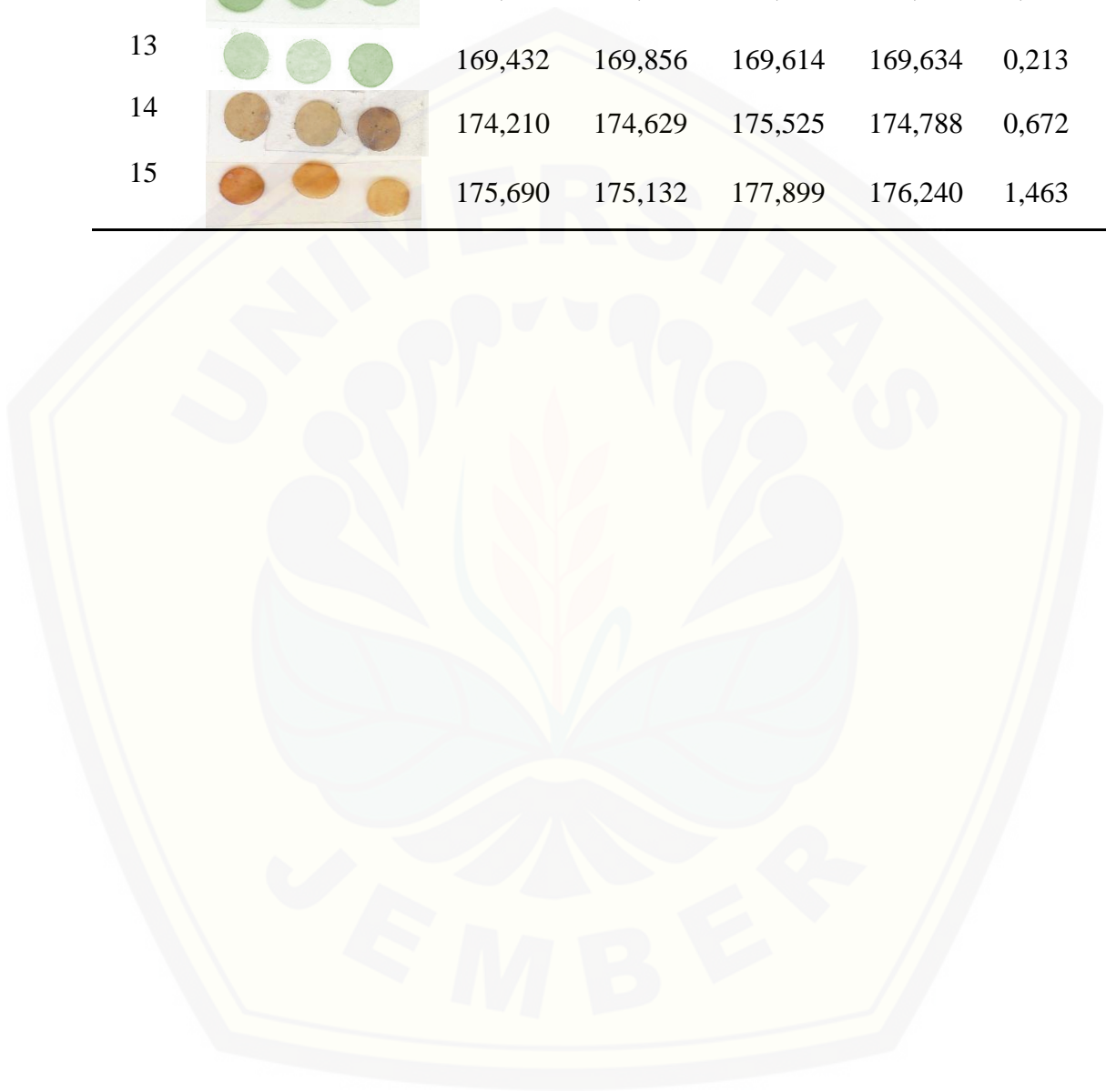
a. Perubahan Warna Sensor Kesegaran Pada suhu ruang

Hari	Membran	<i>Nilai Green</i>			<i>Mean Green</i>	<i>SD</i>	<i>%RSD</i>
		Rep 1	Rep 2	Rep 3			
1		84,076	84,125	85,517	84,577	0,818	0,967%
2		104,370	99,699	98,749	100,939	3,008	2,980%
3		130,044	129,168	130,312	130,588	2,176	1,548%
4		137,112	142,168	141,312	141,912	3,290	2,276%
5		148,677	149,832	149,221	149,243	0,578	0,387%
6		156,938	150,996	149,916	152,617	3,781	2,477%
7		157,788	159,794	164,606	157,329	2,063	1,311%

b. Perubahan warna sensor kesegaran pada suhu chiller

Hari	Membran	<i>Nilai Green</i>			<i>Mean Green</i>	<i>SD</i>	<i>%RSD</i>
		Rep 1	Rep 2	Rep 3			
1		97,440	95,954	99,374	97,589	1,715	1,757%
2		100,256	97,948	100,620	99,608	1,449	1,455%
3		104,490	105,769	108,610	106,290	2,109	1,984%
4		105,527	108,053	109,101	107,560	1,837	1,708%
5		134,206	136,718	138,168	136,364	2,005	1,470%
6		136,622	139,292	140,752	138,889	2,094	1,508%
7		137,757	139,908	141,299	139,655	1,785	1,278%
8		147,288	147,027	147,720	147,345	0,350	0,238%
9		149,849	150,692	152,047	150,863	1,109	0,735%

10		161,773	160,443	160,213	160,810	0,842	0,524%
11		165,882	164,535	164,675	165,031	0,741	0,449%
12		168,637	167,870	167,019	167,842	0,809	0,482%
13		169,432	169,856	169,614	169,634	0,213	0,125%
14		174,210	174,629	175,525	174,788	0,672	0,384%
15		175,690	175,132	177,899	176,240	1,463	0,830%



Lampiran 5. Karakterisasi sensor *edible*

a. Waktu Respon

1. Waktu respon sensor pada pH segar (6,2)

Menit ke	Nilai Green			Mean Green	SD	%RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3			
1	99,681	98,211	99,001	98,964	0,736	0,743%
2	101,598	102,945	103,345	102,629	0,915	0,892%
3	105,056	105,856	104,965	105,292	0,490	0,466%
4	106,024	106,233	107,549	106,602	0,827	0,776%
5	106,207	109,342	109,633	108,394	1,900	1,752%
6	107,959	110,606	113,900	110,822	2,976	2,686%
7	112,250	113,810	116,490	114,183	2,145	1,878%
8	125,516	125,773	124,202	125,030	0,831	0,688%
9	125,229	124,982	125,101	125,104	0,124	0,099%
10	126,062	125,152	126,121	125,778	0,543	0,432%

2. Waktu respon sensor pada pH busuk (8,2)

Menit ke	Nilai Green			Mean Green	SD	%RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3			
1	98,989	96,133	97,420	97,514	1,430	1,467%
2	99,202	98,342	99,436	98,993	0,576	0,582%
3	100,213	101,675	101,942	101,277	0,931	0,919%
4	103,032	103,600	102,981	103,204	0,344	0,333%
5	106,248	108,979	107,637	107,621	1,366	1,269%
6	110,123	112,589	109,664	110,792	1,573	1,420%
7	118,086	119,892	120,112	119,363	1,112	0,931%
8	140,732	139,266	140,889	140,629	2,637	2,133%
9	135,040	140,372	144,660	140,024	3,510	2,525%
10	141,453	140,667	140,712	140,944	0,441	0,313%

b. Waktu pakai sensor

1. Pada suhu ruang pH sangat segar (6,2)

Hari ke	Nilai green			Mean green	SD	%RSD	% kenaikan mean green
	Rep 1	Rep 2	Rep 3				
1	94,667	95,423	94,785	94,958	0,407	0,428%	0,000%
2	97,341	94,121	95,562	95,675	1,613	1,686%	0,755%
3	98,990	96,452	97,886	97,776	1,273	1,302%	2,968%
4	99,672	98,600	99,554	99,275	0,588	0,592%	4,349%
5	99,971	102,156	102,900	101,676	1,522	1,497%	7,343%
6	100,554	102,252	102,987	101,931	1,248	1,224%	7,344%
7	101,662	104,782	103,910	103,451	1,610	1,556%	8,210%
8	103,332	104,901	104,221	104,151	0,787	0,755%	9,681%
9	105,773	104,991	104,555	105,106	0,617	0,587%	10,689%
10	106,980	106,491	105,011	106,161	1,025	0,966%	11,798%
11	106,992	108,880	106,800	107,557	1,149	1,069%	13,268%
12	108,012	108,945	107,992	108,316	0,545	0,503%	14,067%
13	108,931	110,771	108,441	108,381	1,228	1,123%	14,136%
14	109,881	112,821	110,255	109,165	1,600	1,442%	14,961%
15	110,775	115,002	110,981	109,253	2,383	2,123%	15,054%
16	112,098	115,587	110,772	112,819	2,487	2,205%	18,809%
17	112,523	115,021	113,095	113,546	1,309	1,153%	19,574%
18	115,991	116,090	115,933	116,005	0,079	0,068%	22,165%
19	116,023	115,662	118,652	116,779	1,632	1,398%	22,980%
20	117,773	117,532	119,044	118,116	0,812	0,688%	24,388%

%kenaikan mean green = (nilai mean green akhir – nilai mean green awal) / nilai mean green awal x 100%

2. Pada suhu ruang pH busuk (8,2)

Hari ke	Nilai green			Mean green	SD	%RSD	% kenaikan mean green
	Rep 1	Rep 2	Rep 3				
1	108,975	109,871	108,461	109,101	0,721	0,661%	0,000%
2	109,781	112,921	110,255	110,986	1,693	1,525%	1,728%
3	110,012	111,643	111,780	111,145	0,984	0,885%	2,460%
4	111,745	113,012	111,793	112,183	0,718	0,640%	2,825%
5	112,981	113,972	112,309	113,087	0,837	0,740%	3,653%
6	111,991	114,881	113,979	113,617	1,479	1,301%	4,139%
7	115,198	115,987	114,782	115,322	0,612	0,531%	5,702%
8	116,201	115,331	115,571	115,701	0,449	0,388%	6,049%
9	117,913	118,021	115,995	117,310	1,140	0,972%	7,524%
10	118,834	119,981	116,001	118,272	2,049	1,732%	8,406%
11	118,931	120,551	117,505	118,996	1,524	1,281%	9,066%
12	119,991	121,094	118,343	119,809	1,384	1,156%	9,815%
13	120,823	121,15	119,652	120,542	0,788	0,653%	10,487%
14	121,773	122,532	120,044	121,450	1,275	1,050%	10,203%
15	125,783	125,792	124,014	125,657	1,024	0,818%	15,175%
16	125,181	125,989	125,292	125,787	0,438	0,349%	15,239%
17	128,651	126,631	126,119	127,134	1,339	1,053%	16,529%
18	127,752	127,901	128,989	128,214	0,675	0,527%	17,518%
19	128,158	129,691	127,327	128,392	1,199	0,934%	17,682%
20	131,861	130,923	129,502	130,762	1,188	0,908%	19,854%

3. Waktu pakai pada suhu *chiller* pH sangat segar (6,2)

Hari ke	Nilai green			Mean green	SD	%RSD	% kenaikan mean green
	Rep 1	Rep 2	Rep 3				
1	97,990	96,452	97,896	97,446	0,862	0,885%	0,000%
2	99,652	98,610	99,534	99,265	0,571	0,575%	1,866%
3	99,971	102,156	102,990	101,676	1,522	1,497%	4,341%
4	100,544	102,272	102,987	101,934	1,256	1,232%	4,605%
5	101,672	104,792	103,910	103,458	1,608	1,555%	6,169%
6	103,332	104,911	104,251	104,165	0,793	0,761%	6,895%
7	105,783	104,991	104,557	105,110	0,622	0,591%	7,864%
8	106,980	106,491	105,011	106,161	1,025	0,966%	8,943%
9	106,972	108,880	106,800	107,551	1,154	1,073%	10,369%
10	108,032	108,945	107,892	108,290	0,572	0,528%	11,128%
11	108,931	110,771	108,441	109,381	1,228	1,123%	12,247%
12	109,881	112,821	110,255	110,986	1,600	1,442%	13,894%
13	109,921	112,975	110,358	111,085	2,389	2,128%	13,996%
14	110,152	112,981	110,596	111,243	2,437	2,159%	14,156%
15	110,964	112,907	111,912	111,928	1,258	1,107%	14,480%
16	111,162	112,900	112,063	112,042	0,156	0,134%	14,861%
17	110,775	115,012	110,981	112,256	1,617	1,384%	14,978%
18	112,198	115,597	110,872	112,889	0,843	0,713%	15,847%
19	112,623	115,031	113,195	113,616	1,258	1,107%	16,593%
20	115,891	116,195	115,983	116,023	0,156	0,134%	19,061%

4. Waktu pakai sensor suhu chiller pH busuk (8,2)

Hari ke	Nilai green			Mean green	SD	%RSD	% kenaikan mean green
	Rep 1	Rep 2	Rep 3				
1	108,991	110,871	108,441	109,768	1,230	1,121%	0,000%
2	109,881	112,921	110,205	110,669	1,096	0,991%	0,821%
3	109,991	111,022	111,984	110,999	0,997	0,898%	1,121%
4	110,745	111,012	110,981	111,246	0,650	0,585%	1,347%
5	110,981	111,751	111,812	111,515	0,463	0,415%	1,591%
6	111,991	112,881	112,979	112,617	0,544	0,483%	2,595%
7	112,198	113,287	112,782	112,756	0,545	0,483%	2,722%
8	112,201	112,331	112,551	112,780	0,141	0,125%	2,743%
9	112,913	115,021	113,095	113,710	1,226	1,078%	3,591%
10	113,834	113,981	113,001	113,909	0,074	0,065%	3,772%
11	114,013	114,551	114,105	114,223	0,288	0,252%	4,058%
12	115,991	116,094	115,943	116,009	0,077	0,067%	5,685%
13	116,023	115,692	118,652	116,789	1,622	1,389%	6,396%
14	117,773	117,532	119,044	118,116	0,812	0,688%	7,605%
15	117,783	117,502	119,014	118,500	0,804	0,681%	7,954%
16	118,112	118,009	118,212	118,790	0,812	0,688%	8,219%
17	118,651	119,631	120,119	119,467	0,748	0,626%	8,836%
18	119,752	119,901	120,989	120,214	0,675	0,562%	9,516%
19	128,058	129,691	125,327	129,692	0,635	0,526%	16,328%
20	131,861	130,823	129,562	130,749	1,486	1,204%	19,113%

c. Reprodusibilitas

1. Reprodusibilitas pada pH sangat segar

Hari ke	Nilai green			Mean Green	SD	%RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3			
1	98,343	97,911	98,067	98,107	0,219	0,223%
2	100,652	101,536	100,949	101,046	0,450	0,445%
3	101,665	101,221	100,425	101,104	0,628	0,621%

2. Reprodusibilitas pada pH busuk

Hari ke	Nilai green			Mean Green	SD	%RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3			
1	119,552	118,772	118,526	118,950	0,536	0,450%
2	120,123	120,541	119,881	120,182	0,334	0,278%
3	120,881	120,114	121,990	120,995	0,943	0,780%

Lampiran 6. Analisis penurunan mutu pada cabai hijau

6.1 Susut bobot

a. Susut bobot pada suhu ruang

Hari ke	Bobot sampel (g)			Mean	SD	% Susut bobot
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3			
0	68,901	68,752	68,679	68,777	0,113	0,000%
1	67,885	67,657	67,753	67,765	0,114	1,417%
2	66,448	66,521	66,653	66,541	0,104	3,251%
3	64,605	64,787	63,657	64,350	0,607	6,437%
4	61,798	61,126	61,002	61,309	0,428	10,858%
5	58,199	58,458	58,343	58,333	0,130	15,185%
6	54,241	54,856	54,370	54,549	0,435	20,687%
7	47,415	48,876	48,524	47,938	0,557	30,343%

b. Susut bobot pada suhu chiller

Hari ke	Bobot sampel			Mean	SD	% susut bobot
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3			
0	52,019	52,732	52,618	52,456	0,383	0,000%
1	51,761	52,741	51,327	51,943	0,724	0,978%
2	50,429	50,825	50,417	50,557	0,232	3,620%
3	49,828	49,336	49,835	49,666	0,286	5,319%
4	49,048	48,321	49,257	48,875	0,491	6,278%
5	48,189	47,425	48,108	47,907	0,420	8,672%
6	47,543	46,589	47,269	47,134	0,491	10,146%
7	46,247	46,091	46,271	46,203	0,098	11,920%
8	45,001	45,291	45,647	45,313	0,324	13,617%
9	43,121	44,001	44,119	43,747	0,545	16,602%
10	42,916	42,827	43,101	42,948	0,140	18,127%
11	41,011	41,291	41,510	41,271	0,250	21,323%
12	40,176	40,158	40,691	40,342	0,303	23,094%
13	49,800	39,160	39,001	39,598	0,061	24,512%
14	38,667	38,778	38,901	38,782	0,117	26,068%
15	38,510	38,521	38,666	38,566	0,087	26,479%

5.1 Uji Tekstur

a. Uji tekstur pada suhu ruang

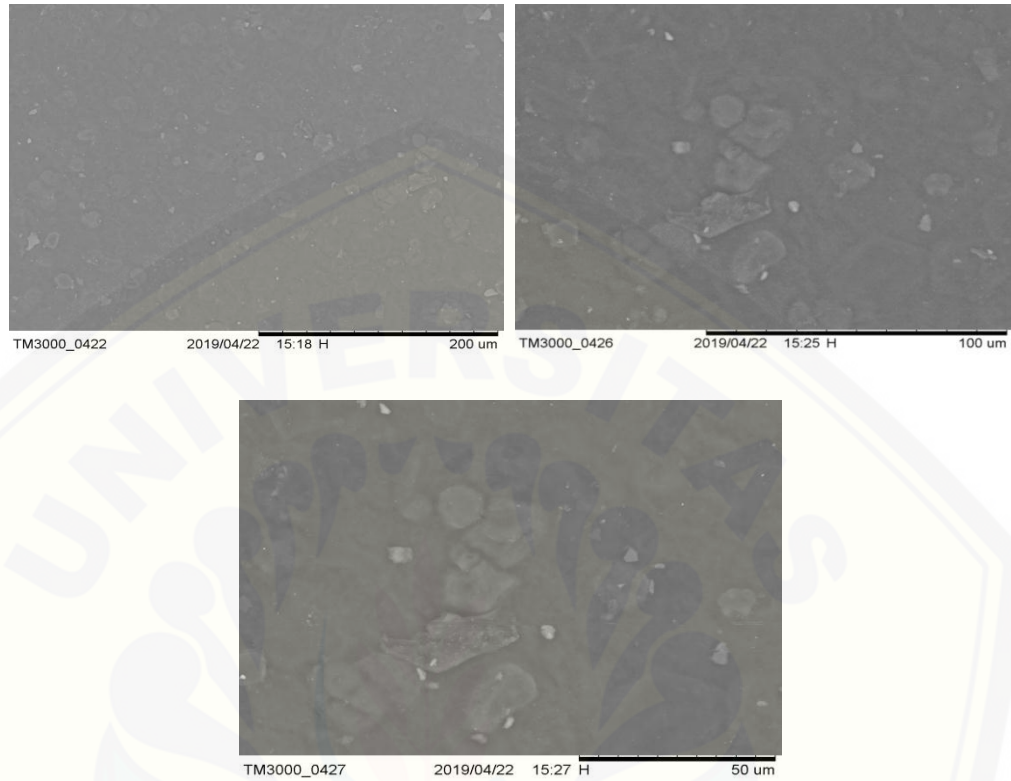
Hari ke	Nilai Tekstur (g/0,3 mm)			Nilai mean tekstur	SD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3		
1	293	320	280	298/3	5,132
2	215	215	229	220/3	5,508
3	190	180	189	186/3	8,083
4	76	62	59	66/3	9,074
5	45	40	36	40/3	4,509
6	35	30	28	31/3	3,606
7	18	22	18	19/3	2,000

b. Uji Tekstur suhu chiller

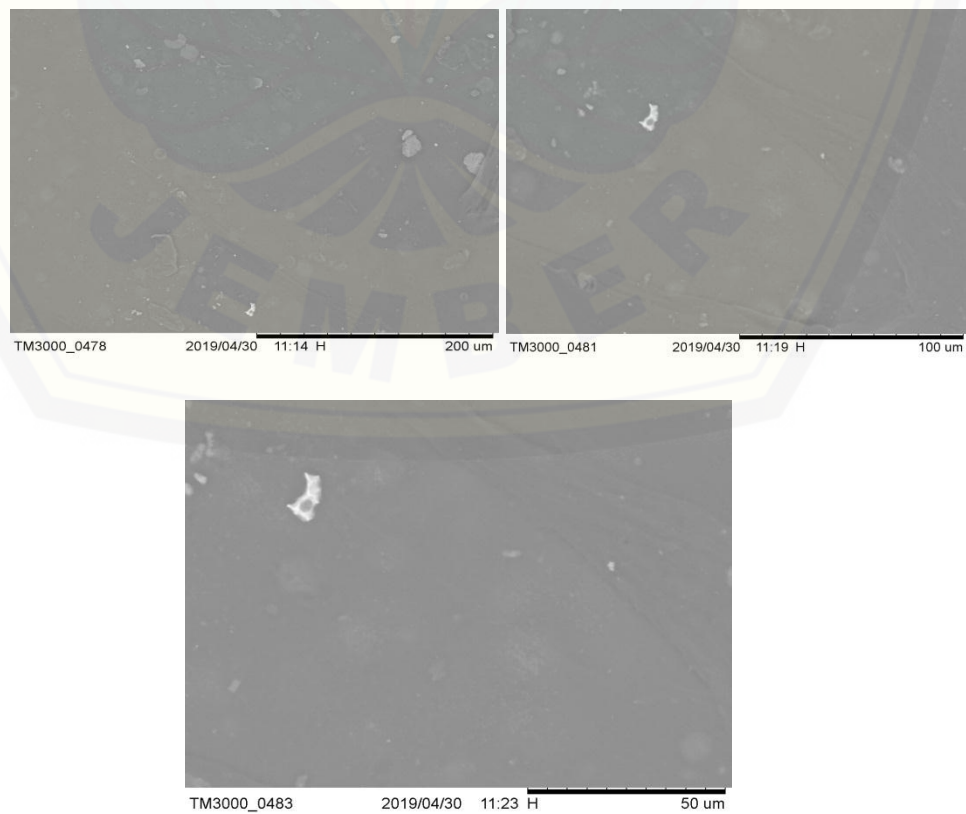
Hari ke	Nilai tekstur (g/3mm)			Nilai mean tekstur	%RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3		
1	229	245	236	237/3	8,021
2	188	185	175	183/3	4,041
3	141	146	149	145/3	6,807
4	98	97	98	98/3	0,577
5	90	90	80	90/3	5,774
6	87	81	80	83/3	3,786
7	81	77	70	76/3	5,568
8	65	63	69	66/3	3,055
9	58	57	59	58/3	1,000
10	48	42	42	44/3	3,464
11	40	39	35	38/3	2,646
12	35	39	32	35/3	3,512
13	30	32	28	30/3	2,000
14	25	28	21	25/3	3,512

Lampiran 7. Karakterisasi SEM

1) Membran setelah diimobilisasi



2) Membran awal sebelum diimobilisasi



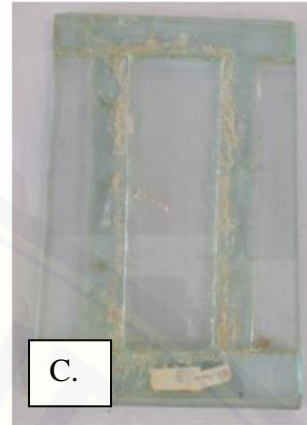
Lampiran 8. Dokumentasi
Alat penelitian



A.



B.



C.



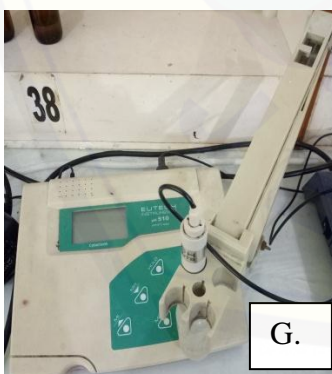
D.



E.



F.



G.

Keterangan :

- | | |
|----------------|------------------------|
| A = Scanner | D = Rheotex |
| B = Gelas ukur | E = Press Kaca |
| C = Oven | F = Hotplate (Stirrer) |
| G = pH meter | |

Bahan penelitian



Keterangan :

A = Ekstrak ubi jalar ungu

D = Gliserol

B = Ubi jalar ungu

E = Pati Singkong (Tepung Tapioka)

C = Kitosan

F = Polivinil Alkohol (PVA)

Lampiran 9.

Kuesioner *Sensory evaluation*

Nama panelis :

Instruksi :

Dihadapan anda terdapat 2 sampel cabai hijau dengan tempat penyimpanan yang berbeda yaitu suhu ruang dan suhu *chiller*, nilailah dengan memberi skor 1-5 pada pernyataan dibawah ini dalam hal warna dan bau cabai hijau.

Penyimpanan suhu ruang :

Penilaian	Hari						
	1	2	3	4	5	6	7
Warna							
Bau							

Penyimpanan suhu *chiller* :

Penilaian	Hari													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Warna														
Bau														

Keterangan :

1 = busuk

2 = masih segar

3 = sangat segar

a. Suhu ruang Parameter Warna

Panelis	Hari ke						
	1	2	3	4	5	6	7
1	3	3	3	3	2	1	1
2	3	3	3	2	2	2	2
3	3	3	3	3	2	2	1
4	3	3	3	3	2	2	1
5	3	3	3	3	2	2	1
6	3	3	3	3	2	2	1
7	3	3	3	3	2	2	1
8	3	3	3	3	2	1	1
9	3	3	3	2	2	1	1
10	3	3	3	3	2	1	1
Rata – Rata	3	3	3	3	2	2	1

b. Parameter Bau

Panelis	Hari ke						
	1	2	3	4	5	6	7
1	3	3	3	3	2	2	2
2	3	3	3	3	2	1	1
3	3	3	3	3	2	1	1
4	3	3	3	3	2	1	1
5	3	3	3	3	2	2	1
6	3	3	3	3	2	1	1
7	3	3	3	3	2	1	1
8	3	3	3	2	2	2	1
9	3	3	3	3	2	1	1
10	3	3	3	3	2	2	1
Rata- Rata	3	3	3	3	3	2	1

a. Suhu chiller parameter warna

Panelis	Hari ke														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1
2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1
5	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
6	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
7	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1
8	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
9	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
10	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
Rata – Rata	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1

b. Suhu chiller parameter bau

Panelis	Hari ke														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1
2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1
5	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
6	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
7	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1
8	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
9	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
10	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1
Rata – Rata	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1

Lampiran 10.

Desain kemasan sensor

a. Label



b. Kotak kemasan

