



**PENGEMBANGAN SENSOR *EDIBLE* KESEGERAN UDANG DALAM
KEMASAN BERBASIS INDIKATOR ANTOSIANIN BUNGA SEPATU
(*Hibiscus rosa sinensis* L.)**

SKRIPSI

Oleh

**Asrin Rakhmaniyah Imami
NIM 152210101105**

**FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENGEMBANGAN SENSOR *EDIBLE* KESEGRAN UDANG DALAM
KEMASAN BERBASIS INDIKATOR ANTOSIANIN BUNGA SEPATU
(*Hibiscus rosa sinensis* L.)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan pendidikan di Fakultas Farmasi
dan mencapai gelar Sarjana Farmasi

Oleh

**Asrin Rakhmaniyah Imami
NIM 152210101105**

**FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT. yang memberi saya kesempatan, nikmat, petunjuk, dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Nabi Muhammad SAW. sebagai panutan terbesar dalam hidup saya;
3. Ayah Imam Syaroni, Ibu Sundari, Kakak Asrin Khoirin Nisa, Adik Akmal Fath, serta anggota keluarga besar yang telah memberi saya doa dan dukungan tiada henti;
4. Guru dan dosen yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya selama ini;
5. Almamater Fakultas Farmasi Universitas Jember.

MOTTO

"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelumkaum itu sendiri mengubah apa yang ada pada diri mereka"

(Terjemahan surat Ar'Ra'd ayat 13)¹



¹Departemen Agama Republik Indonesia. 2015. *Al-Quran Terjemahan*. Bandung : Darus Sunnah.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Asrin Rakhmaniyah Imami

NIM : 152210101105

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengembangan Sensor *Edible* Kesegaran Udara dalam Kemasan Berbasis Indikator Antosianin Bunga Sepatu (*Hibiscus rosa sinensis* L.)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, 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, 17 Juli 2019
Yang menyatakan,

(Asrin Rakhmaniyah Imami)
NIM 152210101105

SKRIPSI

**PENGEMBANGAN SENSOR *EDIBLE* KESEGRAN UDANG DALAM
KEMASAN BERBASIS INDIKATOR ANTOSIANIN BUNGA SEPATU
(*Hibiscus rosa sinensis* L.)**

Oleh

Asrin Rakhmaniyah Imami

NIM 152210101105

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dwi Koko Pratoko, S.Farm., M.Sc., Apt.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengembangan Sensor *Edible* Kesegaran Udang dalam Kemasan Berbasis Indikator Antosianin Bunga Sepatu (*Hibiscus rosa sinensis* L.)” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Rabu, 17 Juli 2019

tempat : Fakultas Farmasi Universitas Jember

Tim Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

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

Dwi Koko Pratoko, S.Farm., M.Sc., Apt.
NIP 198504282009121004

Tim Penguji :

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Indah Purnama Sary, S.Si., M.Farm., Apt.
NIP. 198304282008122004

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

Mengesahkan
Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Pengembangan Sensor *Edible* Kesegaran Udang dalam Kemasan Berbasis Indikator Antosianin Bunga Sepatu (*Hibiscus rosa sinensis* L.); Asrin Rakhmaniyah Imami; 152210101105; 2019; 101 halaman; Fakultas Farmasi Universitas Jember.

Udang merupakan bahan makanan yang cepat mengalami kemunduran mutu karena pembusukan (*perishable food*), sehingga kesegaran udang merupakan indikasi paling mendasar dalam penentuan kualitas udang sebelum dikonsumsi. Penentuan kesegaran udang dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu secara pengamatan subjektif berupa bau, warna, tekstur, dan organoleptis, juga dapat dilakukan secara analisis objektif berskala laboratorium. Kedua teknik tersebut memiliki kelemahan yaitu, pada pengamatan subjektif kesegaran udang akan menghasilkan hasil yang bervariasi sesuai dengan nilai subjektifitas panelis dan susah dilakukan apabila udang berada dalam kemasan. Di lain sisi, analisis objektif pada parameter kemunduran mutu udang membutuhkan biaya yang mahal dan waktu yang panjang serta keahlian tertentu. Berdasarkan hal tersebut konsumen membutuhkan metode yang sederhana dan mudah diaplikasikan sehari-hari guna mendeteksi kemunduran udang, salah satunya yaitu dengan menggunakan sensor.

Saat ini banyak dikembangkan teknologi pengemasan pintar (*Smart packaging*) dimana teknik ini menggabungkan nilai fungsi kemasan itu sendiri sebagai batas produk dengan lingkungan sekitarnya juga memasukkan fungsi tambahan berupa deteksi kemunduran mutu yang dideteksi melalui sensor/ label indikator. Pengembangan indikator ini saat ini secara luas telah mengarah pada penggunaan indikator pH alami berupa pigmen tumbuhan antosianin sebagai pengganti reagen sintetis dan pemilihan biopolimer yang bersifat *biodegradable* dan *edible* sebagai membran film. Pemilihan indikator pH karena secara umum, perubahan pH menunjukkan kemunduran mutu bahan pangan.

Pembuatan sensor kesegaran ini menggunakan bahan baku antosianin bunga sepatu dengan konsentrasi 0,016% dalam ekstrak dan menambahkan PVA 0,1% sebagai bahan pengikat yang paling optimal dalam memerangkap zat warna dan

meminimalisir kebocoran warna apabila kontak dengan air. Imobilisasi reagen indikator dilakukan dengan merendam membran selama 40 menit. Guna memverifikasi kerja sensor dalam mendeteksi kemunduran mutu udang dalam kemasan, dilakukan simulasi pengujian sensor pada 2 kondisi penyimpanan udang yaitu suhu ruang dan suhu rendah “*chiller*”. Pengamatan perubahan warna sensor dilakukan dengan menghitung secara kuantitatif nilai *mean blue* dan analisis kemunduran mutu udang dilakukan dengan uji pH, TVB, dan TPC selama masa penyimpanan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor kesegaran kemasan berbasis indikator antosianin bunga sepatu dapat digunakan untuk deteksi kemunduran mutu udang dalam penyimpanan suhu ruangan, namun kurang efektif apabila diaplikasikan pada suhu rendah. Perubahan sensor yaitu dari warna ungu pada saat udang segar, menjadi hijau apabila udang dalam kondisi masih segar, dan berubah kecoklatan saat udang busuk. Perubahan warna ini disebabkan peningkatan nilai parameter kesegaran udang menuju busuk yaitu pH, kadar gas basa yang menguap (TVB), dan total mikroba kontaminasi (TPC).

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan ridho-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengembangan Sensor *Edible* Kesegaran Udang dalam Kemasan Berbasis Indikator Antosianin Bunga Sepatu (*Hibiscus rosa sinensis* L.)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) Fakultas Farmasi Universitas Jember.

Penyusunan proposal skripsi ini tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai pihak baik secara lisan maupun tulisan, maka penulis berterima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan nikmat dan kesempatan luar biasa kepada penulis hingga skripsi ini selesai;
2. Ibu Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm selaku Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember;
3. Ibu Diana Holiday, S.F, M.Farm., Apt. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberi semangat selama penulis menempuh S1 Farmasi;
4. Bapak Prof. Drs. Bambang Kuswandi, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Dwi Koko Pratoko, S.Farm., M.Sc., Apt. selaku dosen pembimbing utama dan anggota yang telah memberikan bimbingan serta arahan sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan baik;
5. Ibu Indah Purnama Sary, S.Si., M.Farm., Apt. dan Ibu Lestyo Wulandari, S.Si., M.Farm., Apt. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan kritik, dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi ini;
6. Seluruh dosen Fakultas Farmasi Universitas Jember yang telah memberi ilmu, pengalaman, dan motivasi penulis;
7. Ayah Imam Syaroni, Ibu Sundari, Kakak Asrin Khoirin Nisa, Adik Akmal Fath, serta anggota keluarga besar, terimakasih atas doa dan semangat serta motivasi demi kelancaran dan keberhasilan dalam menempuh studi di Fakultas Farmasi Universitas Jember;

8. Ibu Wayan, Mbak Hani, Ibu Itus, Mbak Titin, Mbak Dinik dan Mbak Indri yang telah membantu penulis saat melakukan penelitian di laboratorium;
9. Sahabat Kkarib Halimatus Sa'diyah dan keropi yang selalu memberikan semangat dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan farmasi;
10. Sahabat Bunny, Minnie, Nemo, Nita yang selalu memberi dorongan untuk terus maju dan pengingat disetiap lelah selama kuliah maupun selama penyelesaian skripsi ini;
11. Rekan satu lab. penelitian sensor Aisyah, Enggar, Mita, Among yang telah banyak bekerja sama dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini;
12. Teman-teman Arini, Nuri, Ulfa, Resta, Nimas, Lanjar, Jumahwi yang telah memberikan semangat dan bantuan selama pengerjaan skripsi ini;
13. Teman-teman Fakultas Farmasi angkatan 2015 yang selalu memberikan bantuan, support, dan semangatnya dalam penyusunan proposal skripsi ini;
14. Semua pihak yang telah berperan membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih ada kelemahan dan kekurangan baik dalam segi materi ataupun teknik penulisan skripsi ini. Peneliti sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca agar proposal skripsi ini menjadi lebih baik.

Jember, 17 Juli 2019

Asrin Rakhmaniyah Imami

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	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 Tinjauan Terkait Undang	6

2.2.1	Klasifikasi dan Morfologi Udang Vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	6
2.2.2	Komposisi Kimia Udang Vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	8
2.2.3	Tinjauan Terkait Mutu dan Kemunduran Mutu Udang Vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	8
2.2	Tinjauan Terkait Sensor	10
2.2.1	Sensor Kimia	11
2.2.2	Sensor pH	11
2.2.3	Indikator pH.....	12
2.2.4	Metode Imobilisasi.....	12
2.3	Tinjauan Terkait Kemasan Pintar	13
2.4	Tinjauan Terkait Antosianin	14
2.4.1.	Struktur Antosianin	14
2.4.2.	Stabilitas dan Degradasi Antosianin	15
2.4.3.	Sumber Antosianin.....	17
2.4.4.	Antosianin Bunga Sepatu (<i>Hibiscus rosa sinensis L.</i>).....	18
2.5	Tinjauan Terkait Membran Selulosa Bakterial	19
2.6	Tinjauan Terkait Bahan Pengikat	21
2.6.1.	Polivinil Alkohol (PVA)	21
2.6.2.	<i>Carboxymethylcellulose Sodium</i> (CMC).....	21
2.6.3.	Polietilen Glikol (PEG)	22
2.7	<i>ImageJ</i>.....	22
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	24
3.1	Jenis Penelitian	24
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	24

3.3 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.3.1. Alat.....	24
3.3.2. Bahan.....	24
3.4 Identifikasi Variabel dan Definisi Oprasional.....	25
3.4.1. Identifikasi Variabel.....	25
3.5 Tahapan Penelitian.....	26
3.6 Prosedur Penelitian	28
3.6.1 Karakterisasi Bahan Baku	28
3.6.2 Optimasi Sensor <i>Edible</i>	29
3.6.2 Pembuatan Sensor <i>Edible</i>	30
3.6.3 Karakterisasi Sensor.....	31
3.6.4 Aplikasi Sensor Pada Sampel	32
3.6.6 Analisis Data.....	33
3.6.7 Desain Sensor Kesegaran	34
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Karakterisasi Bahan Baku	35
4.1.1 Pembuatan Ekstrak Bunga Sepatu (<i>Hibiscus rosa sinensis L.</i>) ...	35
4.1.2 Penetapan Konsentrasi Antosianin	35
4.1.3 Pembuatan Membran <i>Edible</i>	36
4.1.4 Struktur Morfologi Membran	37
4.2 Optimasi Sensor <i>Edible</i>	38
4.2.1 Pembuatan Reagen Antosianin	38
4.2.2 Optimasi Bahan Pengikat	38
4.2.3 Optimasi Konsentrasi Bahan Pengikat.....	40
4.2.4 Optimasi Waktu Imobilisasi	41

4.3 Pembuatan Sensor <i>Edible</i>	43
4.3.1 Pembuatan Indikator Bunga Sepatu	43
4.3.2 Imobilisasi Indikator pada Membran	43
4.4 Karakterisasi Sensor <i>Edible</i>	43
4.4.1 Waktu Respon	44
4.4.2 Waktu Pakai	45
4.4.3 Reprodusibilitas	46
4.5 Analisis Sensor Pada Sampel dan Analisis Data	47
4.5.1 Pengemasan dan Penyimpanan Sampel	47
4.5.2 Analisis Nilai pH	48
4.5.3 Analisis <i>Total Volatile Base</i> (TVBN) Pada Sampel	50
4.5.4 Analisis Total Bakteri Kontaminasi (TPC)	52
BAB 5. PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

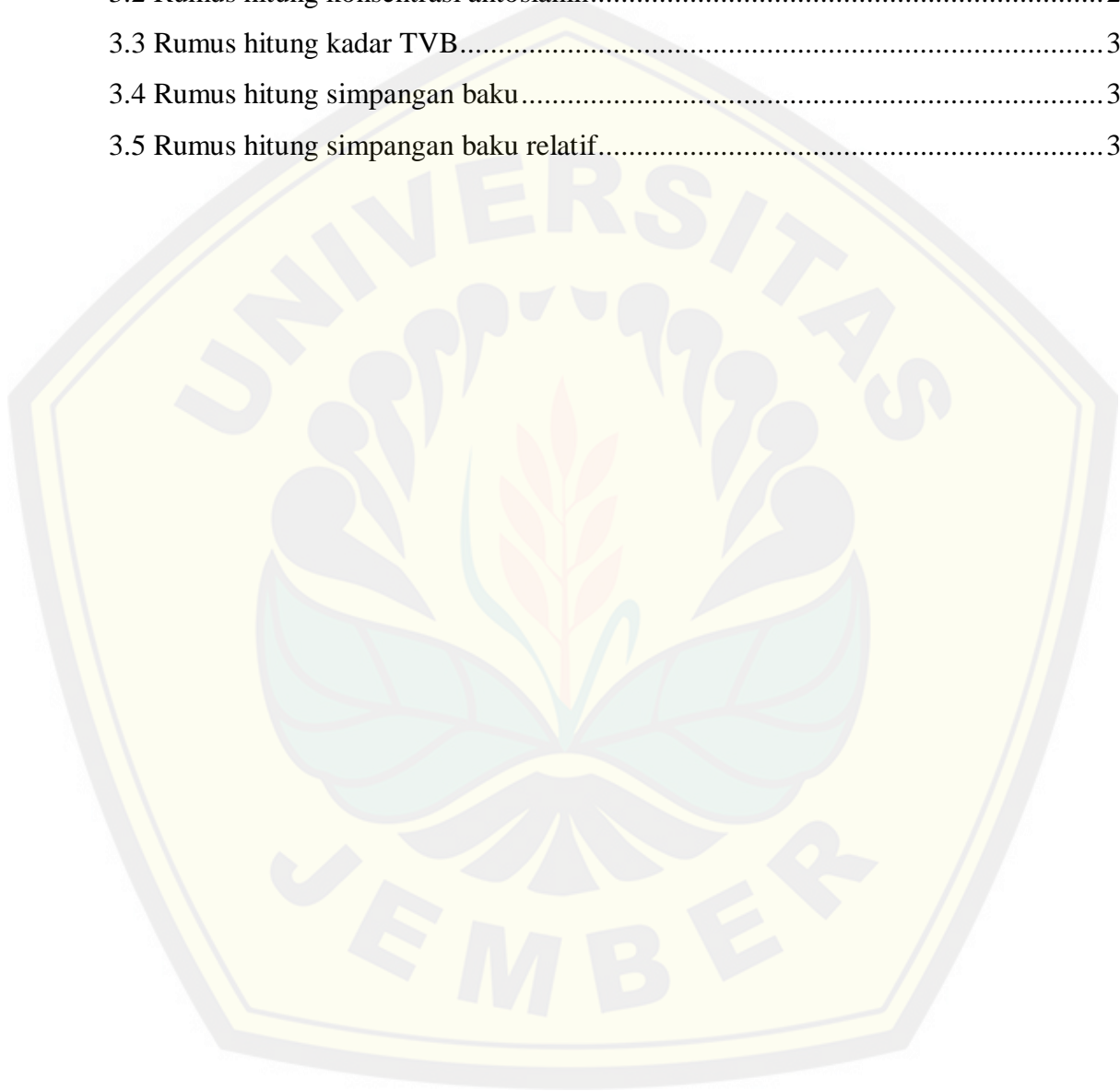
	Halaman
2.1 Udang vaname (sumber: dokumentasi pribadi)	7
2.2 Struktur kimia antosianin (sumber: Lee dkk. 2005)	16
2.3 Struktur antosianin pada pH yang berbeda (sumber: Lee dkk. 2015).....	17
2.4 Struktur kimia antosianin bunga sepatu (<i>Hibiscus rosa sinensis</i> L.)	19
2.5 Morfologi <i>nata de coco</i> menggunakan SEM.....	20
2.6 Struktur PVA (sumber: Tang dan Alavi, 2011).....	21
2.7 Perhitungan nilai RGB (Sumber: dokumentasi pribadi)	23
3.1 Diagram alur penelitian.....	27
3.2 Desain sensor kesegaran.....	34
4.1 Struktur morfologi (a) permukaan dan (b) sisi dalam membran menggunakan SEM	37
4.2 Membran selulosa bakterial.....	37
4.3 Waktu respon sensor <i>edible</i>	44
4.4 Persen kenaikan nilai <i>mean blue</i> pada penyimpanan suhu ruang dan suhu <i>chiller</i>	46
4.5 Pengemasansampel	48
4.6 Grafik hubungan <i>mean blue</i> dan pH pada penyimpanan (a) suhu ruangan dan (b) suhu <i>chiller</i>	50
4.7 Grafik hubungan antara <i>mean blue</i> dengan TVBN pada penyimpanan (a) suhu ruangan dan (b) suhu <i>chiller</i>	52
4.8 Grafik hubungan antara <i>mean blue</i> dengan TPC pada penyimpanan (a) suhu ruangan dan (b) suhu <i>chiller</i>	54
4.9 Penyimpanan udang pada suhu ruangan (a) segar,(b) batas akhir kelayaan konsumsi, dan (c) busuk.....	55
4.10 Penyimpanan udang pada suhu <i>chiller</i> (a) segar,(b) batas akhir kelayaan konsumsi, dan (c) busuk.....	55

DAFTAR TABEL

2.1 Komposisi kimia udang vaname	8
2.2 Identifikasi organoleptik kemunduran mutu udang	10
2.3 Aglikon pada antosianidin	16
2.4 Sumber antosianin dan warna indikator	17
4.1 Analisa konsentrasi antosianin	36
4.2 Nilai <i>mean blue</i> pada masing-masing bahan pengikat	39
4.3 Perbandingan sensor pada masing-masing konsentrasi PVA	41
4.4 Perbandingan sensor pada masing-masing waktu imobilisasi	42
4.5 Nilai % RSD pada masing-masing respon sensor	47

DAFTAR RUMUS

3.1 Rumus hitung kadar antosianin.....	28
3.2 Rumus hitung konsentrasi antosianin.....	28
3.3 Rumus hitung kadar TVB.....	33
3.4 Rumus hitung simpangan baku.....	34
3.5 Rumus hitung simpangan baku relatif.....	34



DAFTAR LAMPIRAN

4.1 Penentuan Konsentrasi Antosianin	65
4.2 Penentuan Bahan Pengikat	68
4.3 Penentuan konsentrasi PVA yang optimal	68
4.4 Penentuan waktu imobilisasi	68
4.5 Penentuan waktu respon sensor <i>edible</i>	69
4.6 Penentuan waktu pakai.....	70
4.7 Penentuan Reprodusibilitas	71
4.8 Perhitungan konsentrasi antosianian	72
4.9 Perhitungan nilai <i>mean blue</i> sensor	74
4.10 Perhitungan pH udang	75
4.11 Penentuan total kadar basa menguap (TVB)	76
4.12 Penentuan total kontaminasi bakteri (TPC).....	77
4.13 Gambar visualisasi sensor	79
4.14 Desain kemasan sensor.....	80
4.15 Gambar dokumentasi.....	81

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udang merupakan salah satu hasil komoditas unggulan perikanan Indonesia dan memiliki gizi tinggi. Penjualan udang di dalam negeri maupun ekspor udang setiap tahunnya selalu mengalami peningkatan. Rata-rata peningkatan ekspor udang tiap tahunnya mencapai 10,40% (KKP, 2018). Udang merupakan bahan makanan yang cepat mengalami kemunduran mutu karena pembusukan (*perishable food*), sehingga kesegaran udang harus tetap terjaga karena konsumsi udang busuk dapat menyebabkan masalah kesehatan dan berakibat pada penurunan permintaan konsumen (Listyarini dkk., 2018).

Kesegaran udang merupakan indikasi paling mendasar dalam penentuan kualitas udang sebelum dikonsumsi. Penentuan kualitas udang dapat dilakukan dengan dua metode yaitu secara objektif dan subjektif. Penentuan kualitas secara objektif dilakukan berdasarkan degradasi karakteristik kimia dan mikrobiologi, seperti peningkatan *total volatile base* (TVB) dan pH serta kontaminasi mikroorganisme. Kelemahan penentuan degradasi kimia dan perhitungan jumlah kontaminasi melalui tes mikrobiologi membutuhkan waktu lama dan harus dilakukan di laboratorium, sehingga kurang praktis untuk dilakukan konsumen sehari-hari (Listyarini dkk., 2018). Penentuan kualitas secara subjektif melalui pengamatan langsung merupakan cara paling sederhana namun menjadi kendala jika udang berada dalam kemasan, selain itu kelemahan pengamatan ini cenderung memberikan hasil yang bervariasi tergantung pada persepsi masing-masing individu. Penentuan kualitas secara subjektif dilakukan berdasarkan pengamatan sensoris yaitu organoleptik, warna, bau, dan tekstur (BSN, 2015). Berdasarkan hal tersebut konsumen membutuhkan metode yang sederhana, praktis, murah, dan mudah diaplikasikan sehari-hari, salah satunya yaitu dengan menggunakan sensor.

Sensor merupakan piranti yang dapat mendeteksi maupun mengukur suatu materi dari sinyal spesifik sampel yang diterima sensor (Kress-Rogers dan Brimelow, 2001). Sebagai upaya pemenuhan permintaan konsumen terhadap

bahan makanan yang segar, aman, dan berkualitas, mulai banyak dikembangkan sensor kimia melalui label indikator kolorimetri yang secara langsung terintegrasi dengan kemasan. pengembangan ini disebut dengan kemasan pintar (*smart packaging*). Konsep kemasan pintar pada dasarnya adalah semua jenis pengemas yang menyediakan fungsi tambahan diluar fungsi utamanya. Selain sebagai pembatas antara produk makanan dengan lingkungan sekitarnya, kemasan ini mampu menganalisa sistem, memproses informasi, serta mengetahui kualitas produk selama masa penyimpanan, distribusi, dan penjualan tanpa secara langsung terlibat dalam proses penurunan kualitas makanan. Sistem kemasan ini menambahkan indikator dalam memantau interaksi antara produk yang dikemas dengan lingkungan (Fuertes dkk., 2016). Indikator kolorimetri yang paling banyak dikembangkan, salah satunya adalah indikator pH. Pada indikator pH warna indikator secara fundamental akan berubah karena terjadi perubahan pH lingkungan. Pengembangan indikator pH telah dilakukan dengan beberapa pewarna sintesis seperti hijau bromkresol (Chun dkk., 2014) dan merah metil (Kuswandi dan Nurfawaidi, 2017). Penggunaan bahan sintesis tersebut memiliki beberapa kelemahan seperti menimbulkan polusi lingkungan dan mencemari makanan (Ahvenainen, 2003; Zhang dkk., 2014). Menurut Saati (2014) penggunaan pewarna sintesis pada makanan dapat membahayakan kesehatan konsumen karena bersifat karsinogenik dan beracun. Berdasarkan hal tersebut, maka dibutuhkan pengembangan indikator pH menggunakan pewarna alami yang ramah lingkungan dan aman untuk makanan. Salah satu pewarna alami yang banyak digunakan sebagai pewarna pada makanan adalah antosianin (Saati, 2014). Antosianin merupakan pigmen larut air yang berperan dalam memberi warna oranye, merah, hijau, dan ungu pada tumbuhan (Pujilestari dkk., 2015).

Antosianin merupakan senyawa amfoterik yang berwarna merah pada media asam dan berwarna biru hingga ungu pada media basa (Samber, 2006). Berdasarkan kemampuan berubah warna akibat pengaruh pH, antosianin saat ini banyak dikembangkan sebagai indikator pH (Listyarini dkk., 2018). Beberapa tumbuhan yang mengandung antosianin antara lain daun jati (Khotima, 2018), kulit buah manggis (Kusumawati dkk., 2017), bunga rosella (Kusumah dan

Rahayu, 2016), kulit buah naga (Yulfriansyah, 2016), ubi ungu (Asngad dkk., 2018), kubis ungu (Pourjavaheer dkk., 2017), dan bunga sepatu (Anand dan Sarkar, 2017). Pengembangan antosianin sebagai indikator telah banyak dikembangkan, salah satunya yaitu penggunaan antosianin kelopak bunga sepatu merah (*Hibiscus rosa sinensis* L.) sebagai indikator asam-basa. Ekstrak bunga sepatu berwarna merah tua pada pH 6 kemudian akan berubah menjadi merah muda pada larutan asam kuat dan berubah menjadi kuning pucat pada larutan basa kuat (Okoduwa dkk., 2015). Menurut Fatimah dkk (2017) ekstrak bunga sepatu merah dapat digunakan sebagai indikator titrasi karena memiliki kemampuan berubah warna yang setara dengan indikator sintetis dalam menunjukkan titik ekuivalen titrasi. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka antosianin bunga sepatu dapat dikembangkan sebagai indikator pH pada sensor kesegaran.

Dalam pengembangannya sensor kesegaran membutuhkan media pembawa reagen berupa membran (Kuswandi, 2010), oleh karena itu bahan baku pembentuk membran juga harus berasal dari bahan alami yang tidak beracun dan tidak memiliki efek samping membahayakan apabila tertelan (Othman dkk., 2018). Salah satu inovasi yang dapat dipilih yaitu penggunaan membran biopolimer yang dapat dimakan (*edible*). Membran *edible* telah banyak dikembangkan sebagai film penyalut makanan pada kemasan aktif dan sebagai membran indikator pada sensor kesegaran (Otoni dkk., 2017). Salah satu biopolimer yang sering digunakan yaitu *nata de coco*. *Nata de coco* merupakan selulosa hasil fermentasi bakteri yang mudah dibuat dan sering digunakan sebagai bahan campuran *fruit cocktail* dan pencuci mulut (Keshk, 2014).

Berdasarkan dari latar belakang tersebut peneliti akan mengembangkan kemasan pintar sebagai sensor kesegaran udang kemasan dengan memanfaatkan indikator pH alami antosianin kelopak bunga sepatu merah sebagai alternatif reagen kimia dan menggunakan membran biopolimer *nata de coco*. Kemasan pintar ini sangat berguna sebagai kontrol kualitas dan menghindari pemborosan bagi konsumen, produsen, dan pihak yang diuntungkan lainnya. Kelebihan sensor ini yaitu murah, mudah digunakan karena bersifat *ready to use*, dan menggunakan

bahan yang aman untuk kesehatan serta ramah lingkungan, sehingga diharapkan mampu meningkatkan penerimaan penggunaan sensor ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, masalah yang dapat dirumuskan pada penelitian ini antara lain

1. Bagaimana karakterisasi bahan baku antosiani dan membran *edible nata de coco* yang digunakan dalam sensor *edible* ?
2. Manakah bahan pengikat yang cocok diantara PVA, CMC-Na, dan PEG 400 dan berapakah konsentrasi bahan pengikat yang terpilih serta waktu optimum imobilisasi antosiani bunga sepatu merah (*Hibiscus rosa sinensis* L) dengan membran selulosa bakterial (*nata de coco*)?
3. Bagaimana karakterisasi sensor *edible* yang meliputi, reproduibilitas, waktu respon, dan waktu pakai?
4. Apakah sensor *edible* tersebut dapat digunakan untuk monitoring kesegaran pada udang kemasan (*Litopenaeus vannamei*)?

1.3 Tujuan Penelitian

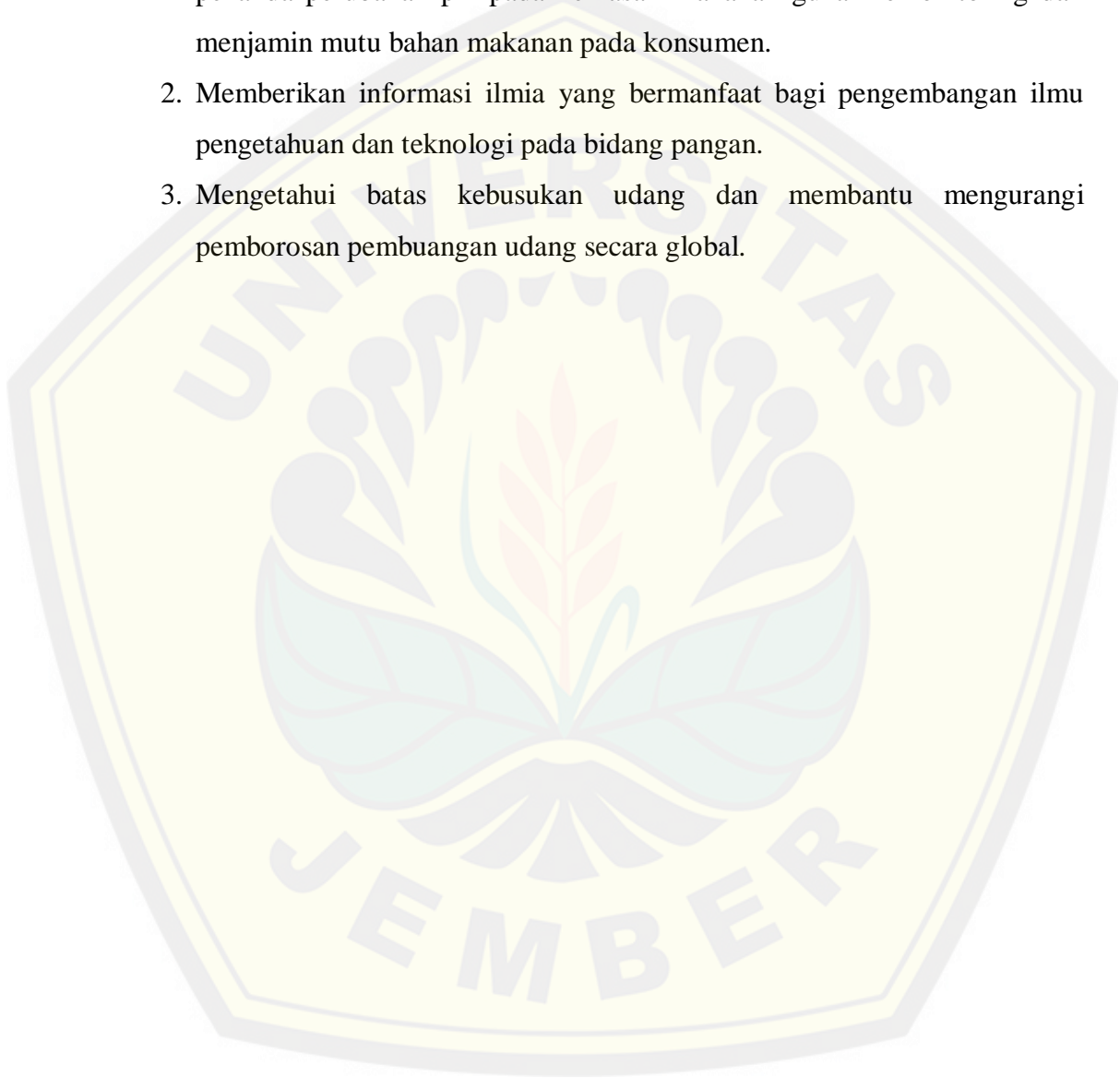
Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain

1. Mengetahui karakteristik bahan baku antosianin dan membran *edible nata de coco* yang digunakan.
2. Mengetahui bahan pengikat yang cocok diantara PVA, CMC-Na, dan PEG 400 dan konsentrasi optimum bahan pengikat yang terpilih untuk imobilisasi sensor *edible* serta mengetahui waktu optimum imobilisasi antosianin pada membran selulosa bakterial (*nata de coco*).
3. Mengetahui karakterisasi sensor *edible* yang meliputi waktu respon, waktu pakai, dan reproduibilitas.
4. Mengetahui apakah sensor *edible* tersebut dapat digunakan untuk monitoring kesegaran pada udang kemasan (*Litopenaeus vannamei*).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ingin didapatkan dari penelitian ini antara lain

1. Diharapkan mampu sebagai inovator sensor kimia berupa kemasan pintar berbasis indikator alami dan menggunakan biopolimer *edible* sebagai penanda perubahan pH pada kemasan makanan guna memonitoring dan menjamin mutu bahan makanan pada konsumen.
2. Memberikan informasi ilmiah yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang pangan.
3. Mengetahui batas kebusukan udang dan membantu mengurangi pemborosan pembuangan udang secara global.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Terkait Udang

Produksi udang berada pada urutan ketiga sebagai komoditas utama perikanan Indonesia, hal ini juga menjadikan Indonesia sebagai salah satu produsen udang di pasar global (KKP, 2015). Kandungan gizi udang yang tinggi menjadikan udang sebagai hasil perikanan yang diminati masyarakat. Konsumsi udang nasional hingga tahun 2017 mengalami peningkatan sebesar 10,38%, selain itu ekspor udang Indonesia hingga tahun 2017 mengalami peningkatan sebesar 11,31% (KKP, 2018). Hal ini juga didukung dengan kemudahan produksi udang melalui pembenihan dan budidaya, sehingga lebih ekonomis dan praktis. Salah satu jenis udang yang banyak dibudidayakan di Indonesia yaitu udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) (Nababan dkk., 2015).

Udang merupakan salah satu produk makanan segar dan bersifat mudah rusak (*perishable food*), kandungan protein pada udang dapat mempercepat kebusukan udang akibat aktivitas bakteri. Konsumsi udang yang tidak layak makan dapat menyebabkan masalah kesehatan. Salah satu bakteri yang mengkontaminasi udang yaitu *Salmonella* sp, bakteri tersebut dapat menyebabkan penyakit salmonellosis (Narumi dkk., 2009), oleh karena itu penentuan mutu udang sebelum dikonsumsi menjadi penting untuk menghindari masalah kesehatan (Othman dkk., 2018).

2.2.1 Klasifikasi dan Morfologi Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) umumnya berkulit putih sehingga biasa disebut udang putih. Udang ini terdistribusi di sepanjang Samudra Pasifik dan Amerika Selatan. Hingga saat ini udang vaname telah banyak dibudidayakan di berbagai Negara (Chang dkk., 2012; Li dkk., 2017). Klasifikasi udang vaname menurut Boone (1931) dalam *Integrated Taxonomic Information system* (ITIS) *North America* adalah sebagai berikut;

Kingdom : Animalia
filum : Arthropoda
Sub-filum : Crustacea
Kelas : Malacostraca
Ordo : Decapoda
Super famili : Penaeidae
Famili : Penaeidae
Genus : Litopenaeus
Spesies : *Litopenaeus vannamei*



Gambar 2.1 Udang vaname (sumber: dokumentasi pribadi)

Udang adalah salah satu biota laut kelompok crustacea dengan tubuh beruas-ruas dan dilindungi oleh cangkang. Kelompok crustacea biasanya terdiri dari bagian kepala dan dada yang menyatu atau disebut *chepalotorax* serta perut atau disebut abdomen (Yuliati, 2009). Paparan panas pada udang dapat menyebabkan terputusnya ikatan protein dengan asthaxanthin, sehingga warna udang menjadi merah kekuningan. Asthaxanthin merupakan karetenoid berwarna merah muda atau merah yang umumnya terkandung dalam kelompok crustaceae (Irawan, 2006).

2.2.2 Komposisi Kimia Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)

Kandungan protein pada udang menjadikannya sebagai kudapan kaya gizi yang diminati konsumen. Komposisi kandungan kimia pada masing-masing udang dapat berbeda tergantung pada kesamaan spesies, makanan yang diberikan, habitat, dan usia (Ogle, 1992). Komposisi kimia dari udang vaname dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia udang vaname

Kelompok Nutrisi	Komposisi Kimia	Kadar per 100g
Nutrisi Utama	Protein	13,64g
Lemak	Kolesterol	114 mg
Mineral	Kalsium (Ca)	73 mg
	Natrium (Na)	318 mg
	Kalium (K)	200 mg

Sumber : USDA, 2018

2.2.3 Tinjauan Terkait Mutu dan Kemunduran Mutu Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)

Secara fundamental udang dinyatakan segar apabila memenuhi spesifikasi tingkatan mutunya. Pengujian secara sensoris pada warna, bau, dan organoleptik udang merupakan cara yang mudah dilakukan dan dapat digunakan sebagai sortir awal penerimaan udang (BSN, 2015). Kelemahan dari pengujian ini yaitu bersifat subjektif dan tidak terukur, karena tergantung pada persepsi masing-masing penilai. Salah satu pedoman yang digunakan sebagai pengujian sensori pada udang telah diatur pemerintah dalam SNI 2346:2015 yaitu menggunakan *score shet*. *Score shet* dinyatakan dalam angka dan memiliki rentang 9-1, dimana semakin rendah penilaian sensori menandakan udang mengalami kemunduran mutu udang. Kemunduran mutu udang umumnya disebabkan oleh reaksi kimiawi dan kontaminasi mikroorganisme. Peningkatan pH dan kadar *Total Volatile Base* (TVB) pada udang disebabkan oleh proses perombakan protein oleh enzim pemetabolisme dan penguraian oleh bakteri pembusuk, sehingga pengujian pada parameter ini bersifat objektif karena secara korelatif menggambarkan kebusukan udang (Azizah, 2015). Selain parameter diatas, ciri-ciri kebusukan udang yang mudah diamati yaitu terbentuknya melanosis atau dikenal dengan istilah *black*

spot, fenomena ini disebabkan oleh polifenoloksida (PPO) yang mengubah fenol menjadi kuinon (Montero dkk., 2001; Mu dkk., 2012).

Menurut Suwetja (2011) terdapat 3 fase kemunduran mutu udang hingga busuk yaitu fase *prerigor*, *rigor mortis*, dan *postrigor*. Setelah mati, udang akan berada pada fase *prerigor*. Pada fase ini kerja enzim pemetabolisme menjadi tidak terkendali, sehingga menghasilkan akumulasi asam laktat dan menyebabkan penurunan pH udang. Berakhirnya fase ini ditandai dengan daging udang menjadi lebih kaku, kemudian udang memasuki fase *rigor mortis*. Penurunan pH udang akan menstimulasi kerja enzim pemetabolisme untuk merombak fosfat sehingga mengakibatkan kontraksi otot dan daging menjadi kaku, selain itu perombakan protein oleh enzim proteolitik menjadi asam amino mengakibatkan pH udang meningkat. Nilai pH udang yang tinggi menjadi tempat untuk pertumbuhan bakteri, pada fase ini udang memasuki fase *postrigor*. Kontaminasi bakteri pada udang akan menurunkan status kelayakan udang untuk dikonsumsi. Berdasarkan peraturan BPOM (2009), batas maksimum kontaminasi pada udang yaitu 5,6 log CFU/g. Adanya bakteri pembusuk pada udang akan menguraikan asam amino menjadi TVB. Goncalves dkk (2009) menyebutkan apabila nilai TVB > 30 mg N/100 g produk perikanan tersebut sudah tidak layak dikonsumsi.

Analisis kemunduran mutu udang selama masa penyimpanan pada suhu *chiller* oleh Azizah (2015) menyatakan, udang mengalami kebusukan setelah 11 hari masa penyimpanan. Pada penelitian tersebut dilakukan analisis terhadap parameter kemunduran mutu udang secara subjektif maupun objektif. Pengujian kemunduran mutu udang secara subjektif dapat dilihat pada Tabel 2.2. Data penelitian tersebut menunjukkan, pada hari ke 12 pH udang meningkat menjadi 7,73 dengan nilai TVB mencapai 29,22 mg N/100g, selain itu perhitungan total mikroba yang mengkontaminasi udang sebesar 7,14 Log CFU/g. Pada penelitian lain terkait kemunduran mutu udang pada suhu ruangan oleh Pacquit dkk. (2007) menyatakan ,udang mengalami kemunduran mutu setelah 10 jam masa penyimpanan. Berdasarkan data penelian tersebut, jumlah kontaminasi udang pada 10 jam pertama yaitu 4 Log CFU/g kemudian setelah 13 jam jumlah total mikroba meningkat menjadi 7 Log CFU/g, maka udang sudah tidak layak dikonsumsi.

Tabel 2.2 Identifikasi organoleptik kemunduran mutu udang

Fase	Nilai	Identifikasi Organoleptik	Lama simpan
<i>Prerigor</i>	9-8	Udang masih sangat segar, layak konsumsi, tekstur daging elastis, kompak, dan padat, udang berbau spesifik/ segar, kenampakan udang utuh, warna udang bening dan putih, kulit udang bening dan bercahaya warna seperti udang asli, segmen antar ruas kokoh, dan tidak ada <i>black spot</i> .	Hari ke 0-2
<i>Rigor mortis</i>	7-5	Batas akhir udang dapat dikonsumsi, tekstur daging kurang elastis, kompak, dan padat, bau udang antara segar hingga netral, kenampakan udang utuh, warna seperti udang asli, kulit udang kurang bening atau kusam, segmen antar ruas kurang kokoh, mulai muncul <i>black spot</i> pada <i>cephalothorax</i> .	Hari ke 3-11
<i>Postrigor</i>	5-3	Udang sudah tidak layak dikonsumsi, tekstur udang tidak elastis, kenampakan udang utuh, berbau netral hingga timbul bau amoniak, warna udang merah muda, kulit udang tidak bening, segmen antar ruas kurang kokoh, penyebaran <i>black spot</i> makin banyak.	Hari ke ≥ 12

Sumber : Azizah, 2015

2.2 Tinjauan Terkait Sensor

Sensor adalah suatu piranti yang mampu mendeteksi, mencari, dan mengukur energi dari suatu materi melalui sinyal spesifik yang diterima sensor (Kress-Rogers dan Brimelow, 2001). Terdapat dua komponen utama dalam analisis sensor yaitu reseptor dan transduser. Reseptor berperan dalam mengubah informasi sampel menjadi energi yang dapat diukur oleh transduser, sedangkan transduser adalah alat yang dapat mengubah energi sampel menjadi sinyal analitis yang berguna (Kerry dkk., 2006).

Dalam aplikasinya suatu sensor harus memiliki waktu respon cepat, praktis, berbiaya minimal, dan memiliki waktu pakai yang panjang, spesifik dan selektif terhadap sampel target, serta sensitif terhadap perubahan konsentrasi sampel (Hanrahan dkk., 2004).

2.2.1 Sensor Kimia

Sensor kimia adalah piranti yang dapat mentransformasi informasi kimia berupa konsentrasi analit hingga analisis komponen total dari sinyal analit yang dideteksi (Dalmoro dkk., 2017). Reseptor sensor kimia biasanya berupa lapisan kimia selektif yang dapat mendeteksi keberadaan, aktivitas, komposisi, maupun konsentrasi analit kimia spesifik melalui reaksi kimia yang terjadi pada proses adsorpsi analit di permukaan (Vanderroost dkk., 2014). Reaksi yang terjadi disesuaikan dengan kemampuan analit dalam menginduksi perubahan properti reseptor

Sensor kimia dapat diaplikasikan untuk mendeteksi komposisi kimia pada lingkungan baik dalam fase larutan maupun gas (Vanderroost dkk., 2014). Sensor gas merupakan piranti yang mampu mendeteksi analit berupa gas ataupun senyawa organik volatil kemudian mengubah parameter fisik sensor untuk diterjemahkan melalui perangkat eksternal. Contoh sensor ini yaitu sensor oksigen amperometer dan deteksi karbondioksida (Kerry dkk., 2006). Sensor kimia yang dapat mengenali sampel biologis disebut biosensor. Biosensor menggunakan reseptor elemen biologi (bioreseptor) seperti protein, enzim, amina, dan lain sebagainya, sehingga bioreseptor mampu mendeteksi materi biologis seperti cairan fisiologis tubuh guna analisis pada bidang kesehatan (Dalmoro dkk., 2017).

2.2.2 Sensor pH

Sensor pH merupakan salah satu contoh sensor kimia, sedangkan pH adalah suatu ukuran yang menggambarkan tingkat keasaman atau alkalinitas suatu larutan. Sensor pH dapat diartikan sebagai alat yang dapat mendeteksi maupun mengukur derajat keasamaan. Sensor ini dapat berupa pH meter dan kertas indikator pH/lakmus. Pengukuran menggunakan pH meter didasarkan pada kerja dari 2 elektroda yaitu elektroda kerja dan elektroda referensi, hasil pembacaan pH akan ditampilkan pada digital display. Berbeda dengan pH meter pengukuran pH menggunakan kertas lakmus didasarkan pada perubahan warna kertas yang dapat secara langsung diamati secara visual (Kuswandi, 2010). Upaya pengembangan

sensor pH optik atau visual banyak dilakukan karena memiliki keunggulan dalam keamanan, berukuran kecil dan murah. Kertas lakmus sebagian besar terdiri dari reagen kimia sebagai indikator pH yang kemudian diimobilisasi dalam suatu matriks (Choi dkk., 2017).

2.2.3 Indikator pH

Indikator diartikan sebagai petunjuk atau keterangan, sehingga sistem indikator dapat menunjukkan ada atau tidaknya zat lain dan/atau tingkat reaksi antara dua zat atau lebih berdasarkan perubahan karakteristik terutama reaksi perubahan warna yang langsung diamati secara visual (Kerry dkk., 2006). Dalam analisis kimia, indikator pH adalah informasi atau keterangan perubahan keasaman lingkungan yang ditunjukkan melalui perubahan warna zat indikator. Indikator dapat memerikan hasil secara kuantitatif seperti pada analisis *endpoint* titrasi dan kualitatif seperti pada analisis kolorimetri (Yoshida dkk., 2014).

2.2.4 Metode Imobilisasi

Guna meningkatkan stabilitas dan memberikan kepraktisan penggunaan, suatu reagen indikator membuahkan suatu media pembawa, langka ini dinamakan pengikatan reagen ke dalam membran atau imobilisasi. Teknik imobilisasi yang dipilih harus memungkinkan persebaran reagen secara merata dan homogen. Terdapat dua metode imobilisasi yaitu secara fisik dan kimia (Kuswandi, 2010).

Metode imobilisasi secara fisik diantaranya penyerapan reagen kimia pada permukaan matriks pendukung padat, pemerangkapan molekul reagen di dalam ruang antara matriks pendukung, pengkapsulan reagen kimia didalam membran semipermeabel pada permukaan sensor, dan interaksi elektrostatik antara reagen dan matriks pendukung yang memiliki muatan berkebalikan. Metode lainnya yaitu secara kimia, imobilisasi reagen dapat terjadi melalui reaksi pembentukan ikatan kovalen reagen kimia dengan matriks pendukung dan pembentukan ikatan kimia

antara reagen kimia dan matriks pada permukaan sensor melalui agen penghubung (Kuswandi, 2010).

2.3 Tinjauan Terkait Kemasan Pintar

Pengembangan dan penelitian dalam bidang kemasan makanan guna memberi jaminan keamanan dan kemudahan kontrol kualitas pada makanan telah banyak dikembangkan (Vanderroost dkk., 2014). Penelitian yang dilakukan merujuk pada peningkatan fungsi kemasan diluar fungsi utamanya seperti aktif, cerdas atau pintar, interaktif, diagnostik, hingga memodifikasi kemasan untuk mencegah kebocoran. Terdapat 2 kategori pada sistem pengemasan dibedakan berdasarkan peranannya yaitu pengemasan aktif dan kemasan pintar, keduanya memiliki tujuan dalam memberi jaminan keamanan makanan. Pengemasan aktif ialah memodifikasi makanan atau lingkungan dengan sengaja untuk meningkatkan keamanan dan kualitas. Berbeda dengan kemasan aktif, kemasan pintar dirancang dengan menambahkan material pendukung yang dapat membantu mendeteksi, merekam, dan berkomunikasi dengan konsumen tentang perubahan kualitas makanan atau lingkungan dalam kemasan (Yam dkk., 2005; Kerry dkk., 2006; Yucel dkk., 2016).

Sistem sensor pada kemasan pintar terbagi menjadi beberapa macam yaitu pembawa data seperti label barcode, identifikasi frekuensi radio (RFID) yang dapat menyimpan atau mengirimkan data, dan label indikator insiden yang memungkinkan mengontrol lingkungan dan produk dalam kemasan. Pemanfaatan label indikator dinilai lebih praktis dan efektif, karena dapat ditempatkan diluar kemasan maupun didalam kemasan, selain itu bersifat tidak merusak dan mempengaruhi mutu makanan (Fuertes dkk., 2016). Salah satu contoh pengembangan label indikator insiden ini yaitu sensor pendeteksi kesegaran (*Freshness indicator*), dan informasi terkait suhu dan waktu penyimpanan makanan (*Time Temperatur Indicator*). Sensor pendeteksi kesegara bekerja secara langsung menunjukkan kualitas produk, indikator yang digunakan umumnya berfokus pada perubahan keadaan pH dan gas, sedangkna guna memantau dan

memastikan kualitas produk makanan yang membutuhkan suhu tertentu, penting untuk memantau perubahan parameter suhu dan waktu mulai dari produksi hingga ke konsumen. Perubahan-perubahan ini dideteksi oleh label indikator pada wadah dan diubah menjadi respon, biasanya berupa perubahan warna yang dapat dengan mudah diukur dan dikorelasikan dengan kesegaran makanan. Penyesuaian peletakan label dapat dilakukan berdasarkan sistem penanda atau *marker*, dimana reaksi yang paling memungkinkan dan mewakili reaksi kerusakan produk dapat dengan mudah ditanggapi sensor (Fuertes dkk., 2016).

Pengembangan sensor kemasan pintar dapat didasarkan pada variabel penanda kemunduran mutu pangan seperti nilai TVB. Beberapa senyawa TVB seperti trimetilamin (TMA), ammonia (NH₃), dan dimetilamin (DMA) merupakan zat yang bertanggung jawab pada kebusukan udang setelah melewati fase awal kesegaran (Pacquit dkk., 2007). Nilai TVB meningkat sebagai hasil metabolisme bakteri selama penyimpanan. Penggunaan sensor pH dan peletakan pada suhu yang baik dapat membantu mengidentifikasi kondisi udang selama penyimpanan (Crowley dkk., 2005).

2.4 Tinjauan Terkait Antosianin

Nama antosianin diambil dari bahasa Yunani *anthos* yang berarti bunga dan *Kyanos* yang berarti biru (Curtright dkk., 1994). Antosianin merupakan pigmen berwarna merah, ungu, dan biru pada buah, sayur, dan biji-bijian, mudah larut dalam air, mudah diekstraksi dan tidak beracun. Warna antosianin tidak stabil pada pH, variasi pH dapat merubah struktur antosianin. (Yoshida dkk., 2014; Zhang dkk., 2014; Pourjavaher dkk., 2017).

2.4.1. Struktur Antosianin

Struktur dasar antosianin memiliki ciri-ciri terdiri dari cincin benzena dan substituen penentu warna yang mempengaruhi. Suatu molekul antosianin biasanya terdiri dari 1 atau lebih aglikon antosianidin, aglikon inilah yang bertanggung

jawab terhadap variasi warnanya. Antosianin dapat mengalami transformasi secara reversibel sebab pengaruh pH hal ini mengakibatkan perubahan terhadap warnanya, sehingga deteksi perubahan warna dapat dijadikan petunjuk nilai pH disekitarnya (Lee dkk., 2005). Antosianin pada larutan asam akan membentuk muatan positif yaitu kation flavilium atau bentuk oksinium berwarna. Transformasi struktur flavilium akan merubah pigmen dan intensitas warna. Substitusi pada ketiga cincin dengan $-OH$ atau $-OCH_3$ pada posisi 3' dan 5' akan merubah molekul sehingga menyebabkan pergeseran warna antosianin. Gugus substitusi dapat dilihat pada Tabel 2.3. Konjugasi ikatan dapat mengabsorpsi foton pada panjang gelombang sinar tampak dan visible (Francis dan Markakis, 1989; Curtright dkk., 1994; Wrolstad dkk., 2005).

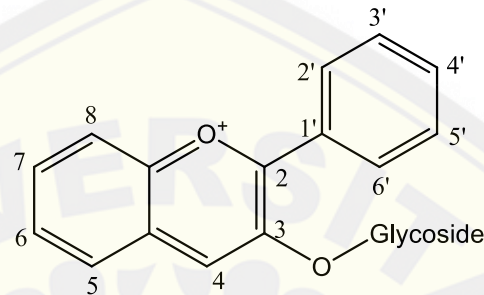
2.4.2. Stabilitas dan Degradasi Antosianin

Stabilitas molekul antosianin dipengaruhi oleh jenis pelarut, pH, suhu, cahaya, oksigen, asam askorbat, konsentrasi dan struktur antosianin. Degradasi dapat terjadi selama proses ekstraksi dan penyimpanan (Pratama, 2013). Degradasi antosianin ditandai dengan perubahan pigmen, polimerisasi pigmen, reaksi dengan komponen lain, penambahan zat non-enzimatik, dan reaksi lainnya yang tidak terkait dengan penambahan warna. (Francis dan Markakis, 1989; Wrolstad dkk., 2005).

Antosianin memiliki kesetimbangan berbeda-beda tergantung pada pH pelarutnya (Yoshida dkk., 2014). Dalam larutan buffer asam kuat akan terbentuk struktur kation flavilium berwarna merah, peningkatan pH akan mengubah struktur antosianin dalam bentuk pseudo-basa yaitu relatif tidak berwarna. Perubahan warna ini akan terjadi seiring peningkatan pH, pada pH 7 struktur antosianin berubah menjadi bentuk quinoidal dengan warna dominan biru. Pada pH yang semakin basa antosianin akan membentuk endapan berwarna coklat (Francis dan Markakis, 1989; Lee dkk., 2005; Choi dkk., 2017; Wu dkk., 2018).

Antosianin mudah terdegradasi karena pengaruh kalor dan paparan cahaya. Pemanasan pada suhu tinggi memicu pembukaan cincin antosianin sehingga

mendorong terbentuknya senyawa kalkon dan menyebabkan terbentuknya endapan coklat. Paparan cahaya akan meningkatkan destruksi pigmen antosianin. Penyimpanan antosianin dalam suhu rendah dan wadah gelap dapat membantu meningkatkan masa pakai antosianin (Francis dan Markakis, 1989; Wrolstad dkk., 2005).

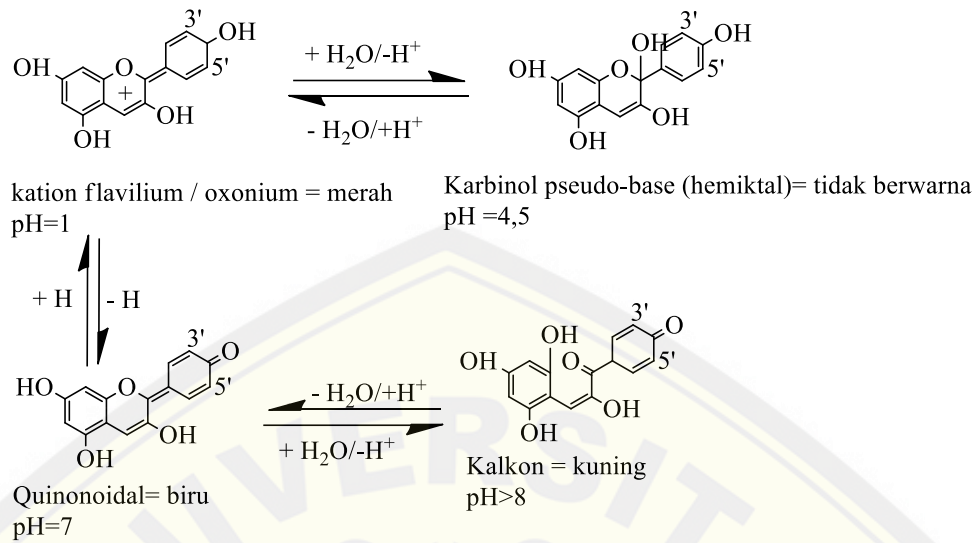


Gambar 2.2 Struktur kimia antosianin (sumber: Lee dkk. 2005)

Tabel 2.3 Aglikon pada antosianidin

Nama	Singkatan	Gugus substitusi						Warna
		5	6	7	3'	4'	5'	
Pelargonidin	Pg	OH	H	OH	H	OH	H	Oranye
Sianidin	Cy	OH	H	OH	OH	OH	H	Merah oranye
Peonidin	Pn	OH	H	OH	OCH ₃	OH	H	Merah
Delphinidin	Dp	OH	H	OH	OH	OH	OH	Merah kebiruan
Petunidin	Pt	OH	H	OH	OCH ₃	OH	OH	Merah kebiruan
Malvidin	Mv	OH	H	OH	OCH ₃	OH	OCH ₃	Merah kebiruan

Sumber : Curtrlight dkk. 1994



Gambar 2.3 Struktur antosianin pada pH yang berbeda (sumber: Lee dkk. 2015)

2.4.3. Sumber Antosianin

Antosianin merupakan pewarna alamikhas yang dimiliki oleh beberapa tumbuhan dan dapat tersebar pada berbagai bagian tanaman seperti daun, bunga, buah, kulit buah, dan akar. Kandungan antosianin pada setiap tumbuhan memiliki warna dan sifat yang bervariasi (Singh dkk., 2018). Pada Tabel 2.4 akan disebutkan beberapa sumber antosianin dari berbagai jenis tanaman.

Tabel 2.4 Sumber antosianin dan warna indikator

Bagian Tanaman	Nama Tanaman	Sifat Warna		
		Asam	Ekstrak	Basa
Bunga	Mawar merah	Merah muda	Merah	Kuning
	Kembang sepatu	Merah muda	Merah darah	Kuning pucat
	Bunga rosella	Merah muda	Merah muda	Kuning
Buah	Anggur	Merah muda	Ungu terang	Kuning kehijauan
	Delima	Oranye terang	Coklat gelap	Coklat terang
	Beri	Merah muda	Merah muda	Oranye
Sayuran	Kubis ungu	Merah	Biru	Kuning jingga
	Wortel ungu	Merah	Merah muda	Kuning jingga
	Ubi ungu	Merah muda	Merah muda	Hijau

Sumber: Singh dkk. 2018

Beberapa contoh penggunaan antosianin tanaman sebagai indikator yaitu penelitian terhadap penggunaan antosianin bunga mawar merah oleh Muflihah (2014), namun pengembangan antosianin bunga mawar sebagai label indikator

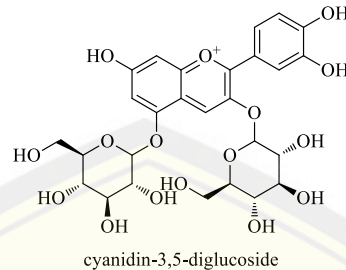
memiliki kendala karena larutan indikator memiliki masa simpan yang singkat yaitu < 1 hari. Hal ini menunjukkan antosianin bunga mawar sangat mudah terdegradasi pada masa penyimpanan. Kendala yang serupa terjadi pada penelitian antosianin daun jati oleh Khotimah (2018), yaitu larutan indikator memiliki stabilitas yang rendah. Penelitian selanjutnya oleh Ernawati dan Rahayu (2016) menggunakan kulit buah manggis. Pada pengembangan indikator antosianin kulit manggis banyak dipengaruhi oleh iklim dan tingkat kematangan buah manggis. Tempat tumbuh dan perawatan pasca panen sangat menentukan hasil ekstraksi buah manggis sehingga mempengaruhi kemampuan perubahan warna indikator. Sebagai pengembangan indikator pH dibutuhkan sumber antosianin lain yang stabil dan memungkinkan untuk dapat diproduksi berulang-ulang tanpa terikat iklim.

Salah satu alternatif pemilihan sumber antosianin ini yaitu antosianin tanaman yang diproduksi terus-menerus. Artinya pigmen antosianin ini akan diproduksi sepanjang masa hidupnya sehingga mudah didapat. Antosianin bunga sepatu menjadi pilihan karena bunga sepatu pada tanaman ini selalu berbunga sepanjang tahun dan tanaman ini mudah ditanam serta mudah dalam perawatannya.

2.4.4. Antosianin Bunga Sepatu (*Hibiscus rosa sinensis* L.)

Analisis tipe antosianin pada bunga sepatu didapatkan hasil bahwa kandungan tertinggi antosianin pada bunga sepatu merah ialah sianidin (Sarkar dkk., 2018). Ekstrak etanol 96% bunga sepatu merah memiliki kadar antosianin sebesar 158 mg/ 100 g serbuk kering (Anand dan Sarkar, 2017). Ekstrak etanol bunga sepatu memiliki warna khas merah terang dan kuning pucat pada kondisi asam basa kuat, sedangkan pada kondisi asam basa lemah berwarna merah gelap dan hijau (Nuryanti dkk., 2010; Okoduwa dkk., 2015). Hal ini menunjukkan antosianin bunga sepatu memiliki variasi pH yang luas, sehingga pengembangan indikator pH bunga sepatu diduga dapat membedakan asam-basa kuat dan asam-basa lemah berdasarkan perbedaan perubahan warna pada masing-masing kondisi. Aplikasi sebagai indikator titrasi memiliki kemampuan yang serupa seperti

indikator fenofthalin dan metil oranye, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dari indikator sintetis (Missoum, 2018).



Gambar 2.4 Struktur kimia antosianin bunga sepatu (*Hibiscus rosa sinensis* L.)

2.5 Tinjauan Terkait Membran Selulosa Bakterial

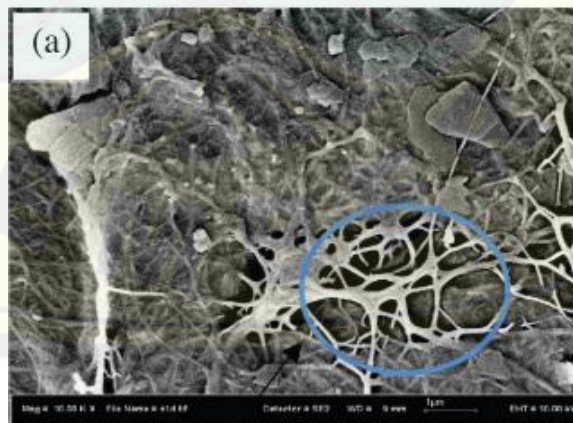
Seperti yang dijelaskan sebelumnya, selain reagen indikator fase pendukung merupakan bagian yang penting sebagai media pembawa indikator. Suatu media harus dapat dilalui reagen, sehingga memungkinkan terjadi mobilisasi reagen kedalam media. Media yang biasa digunakan adalah membran polimer semipermeable. Penggunaan membran yang tepat, menentukan parameter karakterisasi sensor dalam hal sensitifitas, reproduktivitas, waktu respon, dan fabrikasi keberhasilan sensor (Pourjavaher dkk., 2017). Pada membran memungkinkan terjadinya reaksi kimia sebagai fungsi dari reseptor, sehingga suatu membran tidak boleh mengganggu hasil analisis antara reagen dengan analit. Beberapa sifat membran yaitu tidak larut air, stabil, dapat mengikat reagen, konsistensinya tidak dipengaruhi suhu, dan memiliki masa guna yang panjang (Kuswandi, 2010).

Berbagai biopolimer selulosa banyak dikembangkan sebagai membran yang dapat dimakan (*edible*). Kelebihan penggunaannya dibanding polimer sintetis adalah praktis, mengurangi pencemaran lingkungan, aman, dan tidak toksik. Salah satu pengembangan biopolimer selulosa adalah selulosa bakteri (Shit dan Shah, 2014).

Selulosa bakteri dihasilkan dari media yang difermentasikan oleh kelas bakteri gram-negatif penghasil asam cuka seperti *Acetobacter xylinum* dan *Acetobacter hansenii*. Bakteri tersebut dapat mengubah glukosa, gula, gliserol,

dan substrat organik limbah nanas, air kelapa, tomat, dan lain sebagainya menjadi selulosa murni (Son dkk., 2001; Keshk, 2014). Bakteri membentuk lapisan selulosa tipis, transparan, dan agak berlendir pada permukaan media, lapisan ini dapat menebal setelah 10-15 hari. Lapisan selulosa yang diproduksi dari bakteri inilah disebut dengan *nata*, untuk selanjutnya jenis *nata* didasarkan pada substrak organik yang ditambahkan (Jagannath dkk., 2010). Penambahan substrat air kelapa pada media sintesis selulosa pada bakteri akan menghasilkan *nata de coco*.

Kelebihan yang dimiliki *nata de coco* yaitu bersifat *biodegradable*, memiliki kapasitas penyimpanan dan penyerapan air yang besar, hampir 97% dari masanya adalah air, permukaannya spesifik dengan gugus hidroksil, memiliki struktur jaringan yang sangat halus dengan pori yang luas dengan kisaran 120-160 nm, hal ini memudahkan molekul asing menyebar keseluruh bagian dengan rata, dan memiliki derajat kristalinitas polimer dan kekuatan mekanis yang baik (Ul-Islam dkk., 2012; Shah dkk., 2013; Pourjavaher dkk., 2017). *Nata de coco kering* lebih banyak digunakan sebagai membran *edible* karena lebih nyaman dan bersifat stabil. Metode pengeringan *nata de coco* ini dapat mempengaruhi morfologi, kristalinitas, dan kekuatan kuat tarik. Analisis morfologi *nata de coco* kering menggunakan SEM, menunjukkan permukaan yang terdiri dari serangkaian tali yang terkait dan menghasilkan struktur seperti jaring (Hamid dkk., 2014).

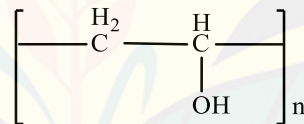


Gambar 2.5Morfologi *nata de coco* menggunakan SEM
(sumber: Hamid dkk., 2014)

2.6 Tinjauan Terkait Bahan Pengikat

2.6.1. Polivinil Alkohol (PVA)

PVA adalah polimer sintetis, bersifat hidrofilik dan *biodegradable*. Polivinil alkohol didapatkan dengan menghilangkan gugus asetat dari polivinil asetat dengan hidrolisis. Tingkat kristalinitas dan sifat fisik lainnya tergantung pada tingkat hidrolisis yang terjadi. Hidrolisis parsial dengan suhu 180-190°C akan menyisakan residu gugus asetat sehingga menurunkan tingkat kristalinitas. Hidrolisis sempurna PVA yaitu pada suhu 228°C PVA memiliki sifat larut dalam air pada suhu $\geq 80^\circ\text{C}$, sehingga mudah dalam pengerjaannya. PVA mudah terdegradasi pada suhu 180°C. PVA memiliki karakteristik tahan terhadap minyak dan lemak, tidak berbau, tidak beracun, dan memiliki kekuatan tarik-menarik atau fleksibilitas yang tinggi, oleh karena itu sering dimanfaatkan sebagai pembuat film, emulgator, perekat, serta pengikat yang baik. PVA merupakan zat polar karena memiliki gugus hidroksil (-OH) dalam struktur kimianya (Rowe dkk., 2009; Tang dan Alavi, 2011).



Gambar 2.6 Struktur PVA (sumber: Tang dan Alavi, 2011)

2.6.2. *Carboxymethylcellulose Sodium*(CMC)

Carboxymethylcellulose dalam bentuk murni disebut gum selulosa. Reaksi penambahan NaOH pada selulosa murni akan membentuk garam natrium (CMC-Na). CMC-Na dalam industri farmasi dikenal sebagai bahan tambahan yang digunakan sebagai *coating agent*, *stabilizing agent*, *suspending agent*, dan peningkat viskositas. CMC-Na praktis larut dalam air dan pelarut yang larut air seperti aseton dan etanol, namun tidak larut dalam pelarut organik. Kelarutan CMC-Na dalam konsentrasi tertentu dalam air panas dapat membentuk masa gel yang baik, selain itu kelarutannya juga dipengaruhi oleh pH, CMC-Na dapat mengendap pada pH rendah dan mengental hingga keras pada pH tinggi. CMC-Na

adalah senyawa higroskopis, yang dapat menyerap >50% air pada udara lembab. Titik leleh CMC-Na yaitu pada suhu 227⁰C (Rowe dkk., 2009).

2.6.3. Polietilen Glikol (PEG)

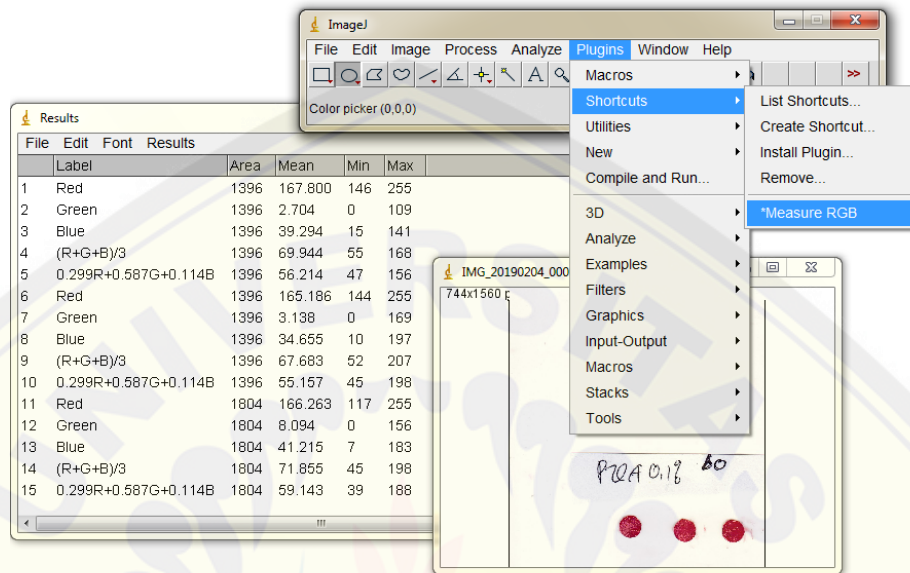
Polietilen glikol atau dapat disingkat dengan PEG memiliki 2 bentuk yaitu PEG>1000 dalam fase padat dan PEG<1000 dalam fase cair. PEG adalah senyawa polimer *biodegradable* bersifat hidrofilik dan tidak mudah menembus kulit. Biasanya digunakan sebagai humektan dan sebagai basis salep karena mudah dicuci. PEG cair dalam lapisan film dapat meningkatkan permeabilitas air karena bersifat higroskopik dan menurunkan perlindungan dalam pH rendah. Mudah larut dalam air dan memiliki titik leleh yang berbeda-beda, kenaikan suhu meleleh berbanding lurus dengan kenaikan tipe PEG. PEG 1000 memiliki titik leleh 37-40⁰C, sedangkan PEG 20000 yaitu 60-63⁰C (Rowe dkk., 2009).

2.7 ImageJ

Ferreira dan Rasband (2011) mendefinisikan *ImageJ* adalah *software* pemrosesan dan/atau analisis citra dominan. *Software* ini dapat menampilkan, mengedit, menganalisis, memproses, dan menyimpan gambar. *Software* ini dapat digunakan sebagai analisis kuantitatif gambar, analisis fluoresensi, dan data mikroskop dalam satu lapang pandang (Hartig, 2013). *ImageJ* juga dapat digunakan untuk gambar yang diperoleh dari *scanner*, *camera*, dan *computer display* (Abramoff dkk., 2004).

Terdapat beberapa *plugins* dalam *ImageJ* salah satunya adalah *Red Green Blue (RGB) measure*. Perhitungan nilai RGB adalah pengukuran intensitas warna cahaya yang dapat menghasilkan spektrum, yaitu terdiri dari 3 warna merah(R), hijau(G), dan biru(B). Pengukuran nilai masing-masing yang didapat menggambarkan warna domain yang ditangkap, merah= R255,G0,B0, hijau = R0,G255,B0; biru= R0,G0,B255. Apabila semua intensitas warna memiliki nilai yang tinggi (R255, G255, B255) maka akan diperoleh cahaya putih, sedangkan

apabila nilainya sama dengan nol (R0,B0,G0), maka akan menghasilkan warna hitam (Ross, 2007).



Gambar 2.7 Perhitungan nilai RGB (Sumber: dokumentasi pribadi)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian *eksperimental laboratories*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bio dan Kemosensor Fakultas Farmasi, Laboratorium Kimia Farmasi Fakultas Farmasi, Laboratorium Farmasetika Fakultas Farmasi, Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Farmasi, dan Laboratorium mikrobiologi Fakultas Teknologi Pertanian di Universitas Jember mulai bulan Februari 2019 hingga selesai.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi plat tetes, cetakan kaca, vial, corong, pipet tetes, pipet volum, alat-alat kaca, kuvet, *magnetic stirrer*, pH meter EUTECH, *hot plate*, timbangan analitik OHAUS PA214, *blender*, lemari pendingin, *Laminar Air Flow (LAF)*, autoklaf, inkubator, gunting, pinset, *scanner canon LiDE 110*, oven, *rotary evaporator*, destilator Kjehtdahl, spektrofotometri UV-Vis HITACHI, kamera, *ImageJ software*.

3.3.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kembang sepatu, udang putih, *nata de coco*, polivinil alkohol, *Carboxymethylcellulose sodium*, Polietilen glikol 400, metil merah-metil biru, NaCl, HCl, NaOH, HCl, KCl, CH₃COONa, *Plate Count Agar (PCA)*, kertas saring, plastik mika, *wrap plastic*, *Styrofoam*, foil aluminium, etanol 96%, dan akuades.

3.4 Identifikasi Variabel dan Definisi Oprasional

3.4.1. Identifikasi Variabel

a. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini ialah perubahan pH udang.

b. Variabel Terkendali

1. Suhu penyimpanan udang yang diletakkan pada suhu ruang ($29 \pm 2^{\circ}\text{C}$) dan dianalisis tiap 2 jam selama 24 jam.
2. Suhu penyimpanan dalam *chiller* / lemari pendingin ($4 \pm 1^{\circ}\text{C}$) dan dianalisis setiap hari selama 10 hari.

c. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah perubahan intensitas *mean blue* sensor indikator.

3.4.2. Definisi Operasional

a. Kelopak Bunga Sepatu

Bunga sepatu yang digunakan dalam penelitian ini adalah berjenis warna merah yang dikumpulkan secara kolektif. Lokasi pengumpulan yaitu di Kec. Pungging Kab. Mojokerto dengan letak koordinat $7^{\circ}31'42''\text{LS}$ $112^{\circ}33'06''\text{BT}$ 36,8 KM.

b. Sampel Udang

Sebagai sampel digunakan udang putih yang didapatkan dari Desa Karangrejo, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember.

c. Bahan Baku *Nata de Coco*

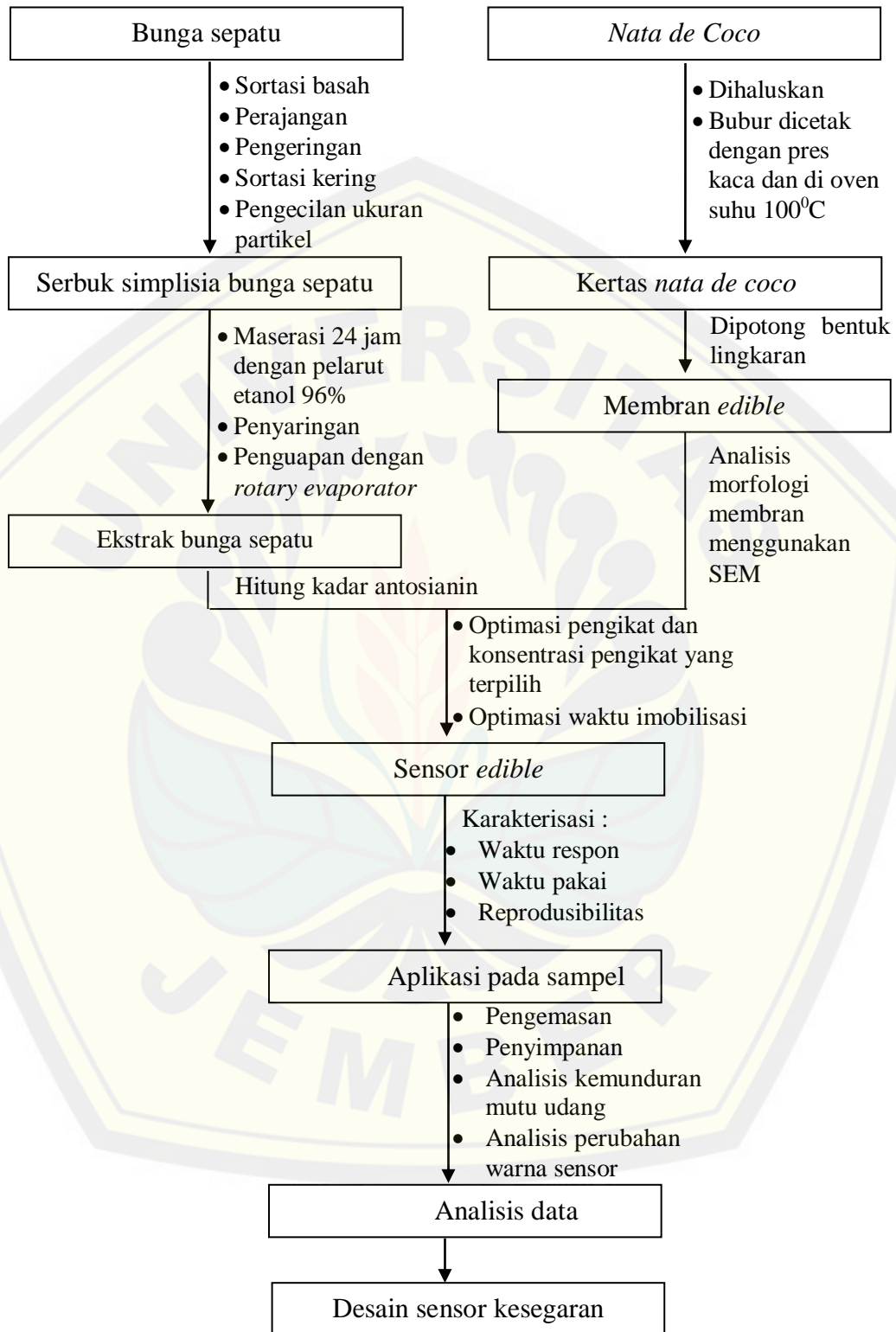
Bahan baku yang digunakan adalah *nata de coco* mentah dan tanpa pemanis. Bahan ini dibeli dari pasar tradisional Tanjung Kabupaten Jember.

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Tahapan Percobaan

1. Karakterisasi bahan baku meliputi :
 - Analisis kadar antosianin dalam ekstrak.
 - Analisis struktur morfologi membran *edible* dengan menggunakan SEM.
2. Optimasi sensor *edible* meliputi:
 - Pemilihan bahan pengikat yang sesuai diantara yang telah ditentukan PVA, PEG 400, dan CMC-Na.
 - Optimasi konsentrasi bahan pengikat yang terpilih.
 - Optimasi waktu imobilisasi campuran ekstrak dan bahan pengikat ke dalam membran *edible*.
3. Fabrikasi sensor *edible* dan imobilisasi indikator kedalam membran nata de coco.
4. Pengujian karakteristik sensor *edible*, meliputi waktu respon, waktu pakai, dan reproduibilitas.
5. Aplikasi sensor *edible* pada sampel udang kemasan.

3.5.2 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Karakterisasi Bahan Baku

a. Pembuatan Ekstrak Bunga Sepatu

Sejumlah bunga sepatu merah diambil kelopak bunganya dan dikeringkan pada suhu 40°C selama \pm 3 jam. Kulit kering dihaluskan dengan *blender* hingga menjadi serbuk. Serbuk bunga sepatu dimasukkan dalam toples dan direndam dalam etanol 96% dengan perbandingan 1:10 (b/v) selama 24 jam dalam wadah tertutup dan pada suhu ruangan kemudian di saring dengan corong *buchner*. Uapkan sisa etanol dengan *rotary evaporator* pada suhu 40°C selama 2-3 jam atau hentikan penguapan sebelum larutan mengental. Simpan larutan ekstrak dalam botol kaca gelap dalam lemari pendingin atau dapat segera digunakan (Agustin dan Ismiyati, 2015).

b. Analisis Kadar Antosianin dengan Metode pH *Differential* (Wrolstad dkk., 2005)

Prinsip perhitungan antosianin dengan metode ini adalah perubahan warna antosianin secara *reversible* dikarenakan perbedaan pH. Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Fuleki dan Francis (1968). Pada pH 1,0 antosianin dalam bentuk oksonium berwarna dan pada pH 4,5 berbentuk karbinol tidak berwarna. Dibuat alikuot pada tabung reaksi larutan antosianin sampel dengan masing-masing dapar kalium klorida pH 1,0 dan natrium asetat pH 4,5 dengan perbandingan 1:4. Diamkan 20-50 menit sebelum diukur absorbansinya. Pengukuran absorbansi masing-masing larutan dilakukan pada panjang gelombang 520 dan 700 nm (Jusoh dkk., 2018). Kemudian perhitungan total antosianin menggunakan berat molekul dan *molecular extinction coefficients* yang telah ditetapkan. Besar nilai berat molekul dan *molecular extinction coefficients* sianidin-3-glikosida berturut-turut yaitu 26900 Lmol⁻¹cm⁻¹ dan 449,2 g/mol. Perhitungan total antosianin (b/v) yaitu dengan Rumus :

$$\text{Total antosianin (mg/100g)} \frac{A \times BM \times FP \times 10^3}{\epsilon \times l} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH1,0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4,5} \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

A = Absorbansi sampel yang telah dilarutkan

BM = Bobot Molekul

FP = Faktor pengenceran

ε = molar extinction coefficient, $L \times mol^{-1} \times cm^{-1}$

L = lebar kuvet 1 cm

c. Pembuatan Membran *Edible* Selulosa Bakterial

Ditimbang sebanyak 500 gram *nata de coco* tanpa pemanis lalu dicuci dengan air mengalir dan direndam menggunakan akuades selama ± 30 menit. *Nata de coco* dihaluskan hingga membentuk bubur kertas kemudian disaring menggunakan corong buchner. Bubur dicetak menjadi kertas dengan ketebalan 0,20 mm dengan menggunakan cetakan kaca ketebalan 3 mm dan ditumpuh dengan penutup. Letakkan cetakan kaca dalam oven pada suhu $100^{\circ}C$ selama 18-24 jam hingga membentuk kertas kering (Asih, 2018).

d. Analisis Struktur Morfologi Membran *Edible* dengan Menggunakan SEM.

Analisis struktur morfologi membran *edible* menggunakan SEM dilakukan pada 2 sisi, yaitu permukaan atas dan permukaan samping. Analisis dilakukan dengan menembakkan sejumlah elektron kemudian dipantulkan oleh sample dan diterima dalam bentuk citra SEM.

3.6.2 Optimasi Sensor *Edible*

a. Preparasi Reagen Antosianin

Dibuat ekstrak kelopak bunga sepatu merah kemudian dilakukan penetapan kadar antosianin menggunakan pH *differential* hingga didapatkan konsentrasi antosianin 160 mg/100g serbuk atau setara dengan 0,016% dalam ekstrak.

b. Optimasi Bahan Pengikat

Optimasi bahan pengikat bertujuan untuk membandingkan bahan pengikat yang paling baik diantara PVA, PEG 400, dan CMC-Na dalam memerangkap zat

warna kedalam membran *edible* sekaligus dapat menghindari dari kebocoran “*leaching*”. Konsentrasi masing-masing bahan pengikat yang digunakan adalah 1 % (b/v) (Hasnedi, 2009; Sabularse dkk., 2009). Bahan pengikat dikatakan baik apabila tidak ikut bereaksi terhadap parameter yang diukur, tidak membentuk selaput pada permukaan membran sehingga tidak menghalangi respon sensor, tidak mengental atau bermasa seperti gel, karena akan susah untuk diserap membran, dan mudah dalam pengeringannya. Pemilihan bahan pengikat yang optimum didasarkan pada pengukuran nilai *mean blue*.

c. Optimasi Konsentrasi Bahan Pengikat yang Terpilih dan Waktu Imobilisasi

Optimasi konsentrasi bahan pengikat yang terpilih bertujuan untuk memilih konsentrasi yang dapat menghasilkan warna yang intensif dengan konsentrasi yang paling minimal. Adanya bahan pengikat tidak boleh mempengaruhi waktu respon sensor atau sebagai penghalang reaksi sinyal analit dengan reseptor sensor. Dibuat beberapa larutan campuran ekstrak dan PVA dengan konsentrasi optimasi $PVA \leq 1\%$ dalam masing-masing campuran, konsentrasi PVA yang digunakan adalah 0,1%, 0,5%, dan 1%. Pemilihan konsentrasi PVA yang optimum didasarkan pada pengukuran nilai *mean blue*.

Optimasi waktu imobilisasi dilakukan guna mengetahui lama waktu yang dibutuhkan dalam penyerapan indikator kedalam membran. Waktu imobilisasi dinyatakan yang paling optimal apabila dapat menghasilkan warna stabil dan memberikan perubahan warna yang paling kentara. Waktu imobilisasi yang digunakan adalah 0, 20, 40, dan 60 (Kusumah dan Rahayu, 2016). Sebagai evaluasi dilakukan pengukuran indeks warna *mean blue* sebagai pemilihan warna yang optimal.

3.6.3 Pembuatan Sensor *Edible*

a. Pembuatan Indikator Bunga Sepatu

1. Pembuatan Reagen Antosianin

Dibuat ekstrak antosianin seperti yang dijelaskan sebelumnya. Kemudian menetapkan kadar antosianin yang digunakan sesuai hasil karakterisasi. Dibuat

konsentrasi antosianin dalam ekstrak hingga didapat konsentrasi antosianin 0,016% dalam ekstrak.

2. Penambahan Bahan Pengikat

PVA ditambahkan dengan konsentrasi 0,1 % ke dalam ekstrak lalu dilarutkan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 55 ± 5 °C hingga homogen

b. Imobilisasi Indikator Pada Membran *Edible*

Membran dipotong menjadi bentuk lingkaran dengan diameter 0,45 mm. Imobilisasi indikator menggunakan metode absorpsi, sehingga terjadi peresapan larutan indikator ke dalam membran. Membran indikator direndam dalam larutan indikator selama ± 40 menit dalam suhu ruangan dan keringkan dengan diangin-anginkan.

3.6.4 Karakterisasi Sensor

a. Waktu Respon

Penentuan waktu respon dilakukan guna mengetahui lama waktu yang diperlukan membran indikator untuk merubah warna karena pengaruh pH. Penentuan ini dilakukan pada pH 6, 7, dan 8. Pengamatan perubahan warna dilakukan setiap 1 menit hingga perubahan warna menjadi homogen, waktu respon ditentukan dengan nilai indeks warna *mean blue*.

b. Waktu Pakai

Penentuan waktu pakai dilakukan untuk mengetahui lama kemampuan sensor dapat mempertahankan kestabilan warnanya hingga mengalami penurunan sebanyak 15% (Kuswandi, 2010). Pengamatan dilakukan dengan perhitungan indeks warna *mean blue* sensor setiap hari.

c. Reprodusibilitas Sensor

Reprodusibilitas diartikan sebagai kedekatan hasil pada pengulangan pengukuran spesimen pada pengamatan yang sama di laboratorium yang sama dalam jangka waktu yang lebih panjang. Reprodusibilitas dinyatakan sebagai nilai standar deviasi relatif (RSD), semakin kecil nilai RSD <5 % maka variasi penyimpangan nilai dari masing-masing pengujian semakin kecil. Pengujian

dilakukan dengan menghitung nilai indeks *mean blue* dari 6 series pengukuran/determinasi pada 3 hari yang berbeda. Kemudian dihitung nilai RSD.

3.6.5 Aplikasi Sensor Pada Sampel

a. Pengemasan Sampel

Udang segar dikemas dalam *Styrofoam* kemudian ditutup dengan *plastic wrap* yang telah diberi sensor.

b. Penyimpanan

Kemampuan sensor dalam memberi informasi kelayakan sampel berdasarkan perubahan pH dilakukan pada 2 kondisi penyimpanan yaitu suhu ruangan ($27\pm 3^{\circ}\text{C}$) dan suhu *chiller* ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$). Pada tiap-tiap kondisi penyimpanan dilakukan pengujian terhadap kemunduran mutu udang dan perubahan nilai *mean blue* pada sensor.

c. Analisis Kemunduran Mutu Udang

1. Pengujian Nilai pH

Pengujian nilai pH dilakukan dengan menambahkan 1 gram udang yang telah dihaluskan kedalam 10 mL akuades kemudian diukur menggunakan pH meter.

2. Pengujian Kadar TVB (BSN, 2013)

Pengujian kadar TVB menurut SNI 4146:2013 dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat destilasi *kjeldahl*. Menimbang 1 gram udang yang dihaluskan lalu tambahkan 7,5 gram garam *kjeldahl* kemudian dilakukan proses destruksi. Setelah campuran bahan dingin, dilakukan destilasi dengan menambahkan NaOH 30% kedalam campuran dan uap hasil destilasi ditampung dengan asam borat 2% yang telah ditambahkan indikator campuran MMB. Kadar TVB dihitung dengan persamaan :

$$\text{TVB (mg N/100g)} = \frac{V(\text{sampel} - \text{blanko}) \times 14,007 \times N \text{ HCl}}{M} \times \frac{100}{M} \dots\dots(3.3)$$

V= Volume HCl yang dibutuhkan untuk titrasi (mL)

M= Berat sampel (g)

3. Pengujian Jumlah Total Mikroba

Pengujian total mikroba menurut SNI 2332.3:2015 dilakukan dengan metode angka lempeng total (ALT) dengan teknik aseptis. Dibuat campuran larutan pengenceran 10^{-1} dengan menimbang sebanyak 1 gram udang yang telah dihaluskan kemudian tambahkan dengan 9 mL akuades, campur hingga rata. Diambil 1 mL larutan 10^{-1} masukkan dalam tabung reaksi berisi 9 mL akuades kemudian dikocok, sehingga diperoleh pengenceran 10^{-2} . Lakukan pengenceran bertingkat hingga didapatkan kadar 10^{-5} . Diambil 1 mL dari masing-masing pengenceran kemudian tuang ke dalam cawan petri dan tambahkan 12-15 mL media PCA steril diamkan hingga mengeras kemudian diinkubasi pada suhu $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ selama 48 jam.

4. Analisis Perubahan Warna Sensor

Analisis perubahan warna sensor dilakukan dengan 2 cara yaitu pengamatan perubahan warna sensor secara visual oleh panelis dan pengukuran nilai *mean blue* menggunakan *software ImageJ*.

3.6.6 Analisis Data

Metode pengolahan data dalam analisis ini adalah deskriptif. Hasil penilaian panelis akan disajikan melalui diagram balok dan pengolahan data hasil pengamatan berupa nilai *mean blue* ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik guna mempermudah interpretasi data. Penyimpangan data dari nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai standart deviasi (SD) dan nilai perbandingan antara SD dengan nilai rata-rata hitung dinyatakan sebagai nilai koefisien korelasi (RSD). Semakin besar variasi menandakan persebaran data kurang homogen dan sebaliknya. Standart deviasi dan koefisien variasi dihitung dengan persamaan :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum[\chi d - \bar{\chi d}]^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

X : rata-rata hitung

N : jumlah data

3.6.7 Desain Sensor Kesegaran

Desain diaplikasikan pada penutup kemasan udang sebagai penanda status kelayakan udang selama penyimpanan. Penanda status udang mencakup segar “*eat me*”, masih segar “*consume immediately*”, dan tidak segar “*throw me*”. Setelah sensor kesegaran terpapar senyawa volatil basa dari pembusukan udang akan merubah warna sensor dari ungu menjadi coklat kekuningan.



Gambar 3.2 Desain sensor kesegaran

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil yaitu sebagai berikut:

1. Bahan baku yang digunakan pada pembuatan sensor ini memiliki karakterisasi kadar antosianin sebesar 0,016% dalam ekstrak bunga sepatu. Membran *edible nata de coco* yang digunakan yaitu memiliki struktur permukaan yang halus dan terbentuk dari *web* menyerupai jaring yang membentuk lubang pada bagian dalam membran.
2. Fabrikasi sensor *edible* dilakukan sesuai dengan karakterisasi bahan baku dan mengikuti hasil optimasi bahan pengikat serta waktu imobilisasi yang telah dilakukan. Pemilihan bahan pengikat dan konsentrasi yang optimal dalam mencegah kebocoran serta menghasilkan warna *mean blue* yang baik dapat dicapai dengan penambahan bahan pengikat PVA sebesar 0,1%. Selain itu, waktu optimum yang dibutuhkan untuk imobilisasi larutan indikator ke dalam membran, sehingga menghasilkan warna sensor yang intensif dan merata yaitu selama 40 menit dengan nilai *mean blue* sebesar $72,15 \pm 0,25$.
3. Karakterisasi waktu respon sensor *edible* dapat memberikan kestabilan warna setelah 3 menit bereaksi atau kontak dengan pH terkait. Pada penyimpanan suhu ruang maupun suhu rendah sensor *edible* memiliki stabilitas yang baik hingga hari ke-26 pada masing-masing kondisi penyimpanan. Reprodusibilitas sensor berdasarkan besar nilai penyimpanan pada tiap-tiap pengujian terhadap nilai rata-ratanya pada pengukuran 6 replikasi selama 3 hari berturut-turut memiliki $RSD < 5\%$, sehingga disimpulkan bahwa metode yang digunakan presisi.
4. Pada suhu ruang setelah jam ke-10 sensor berwarna kecoklatan hal ini sesuai dengan parameter kebusukan udang dimana, menunjukkan nilai pH sebesar 7,58, memiliki kadar TVBN 30 mg N/100g, dan jumlah TPC sebanyak 7,18 CFU/g. Pada suhu *chiller* udang telah menunjukkan kebusukan setelah hari

ke-7 dimana sensor berwarna hijau keabu-abuan dengan parameter kebusukan antara lain nilai pH 7,44, memiliki kadar TVB sebesar 30,26 mg N/100g, serta jumlah koloni bakteri sebesar 5,71 CFU/g. Dapat bahwa penggunaan sensor ini dalam memonitoring kemunduran mutu udang, namun pada suhu *chiller* kurang efektif.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian pendukung penambahan bahan pengawet alami seperti vit.c, vit E, dan lain sebagainya guna meningkatkan waktu penyimpanan sensor.
2. Perlu dilakukan penemuan sumber antosiani lain yang memiliki stabilitas tidak dipengaruhi oleh suhu guna monitoring pada suhu rendah dan meningkatkan stabilitas penyimpanan sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramoff, M. D., P. J. Magalhães, dan S. J. Ram. 2004. Image processing with imagej. *Biophotonics international*. 11(7):36–42.
- Agustin, D. dan Ismiyati. 2015. Pengaruh konsentrasi pelarut pada proses ekstraksi antosianin dari bunga kembang sepatu. *Chemistry*. 4(2):9–16.
- Ahvenainen, R. 2003. *Book review novel food packaging techniques*. Cambridge England: Woodhead Publishing Ltd, Abinton Hall, Abington,.
- Anand, A. dan B. Sarkar. 2017. Phytochemical screening and antioxidant property of anthocyanins extracts from hibiscus rosa-sinensis. *Applications of Biotechnology for Sustainable Development*. 139–147.
- Asih, N. P. N. 2018. *Karakterisasi Sensor Edible Berbasis Indikator Alami Kubis Merah (Brassica oleracea var. capitata L.)*. Edisi Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Asngad, A., Nurhidayati, dan Dyahayu. 2018. *Pemanfaatan Ekstrak Kulit Ubi Ungu sebagai Indikator Asam-Basa Alternatif Berupa Kertas Berdasarkan Pengaruh Variasi Jenis Pelarut dan Jenis Kertas*. Edisi Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Azizah, L. H. 2015. *Analisis Kemunduran Mutu Udang Vaname (Litopenaeus vannamei) Secara Kimiawi dan Mikrobiologis*. Edisi skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- BSN. 2013. Cara uji kadar nitrogen total sedimen dengan distilasi kjeldahl secara titrasi. ICS 93.025
- BSN. 2015. Pedoman pengujian sensori pada produk perikanan. Jakarta. 2015.
- Chang, Y. P., C. H. Liu, C. C. Wu, C. M. Chiang, J. L. Lian, dan S. L. Hsieh. 2012. Dietary administration of zingerone to enhance growth, non-specific immune response, and resistance to vibrio alginolyticus in pacific white shrimp (litopenaeus vannamei) juveniles. *Fish and Shellfish Immunology*. 32(2):284–290.
- Choi, I., J. Y. Lee, M. Lacroix, dan J. Han. 2017. Intelligent ph indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. *Food Chemistry*. 218:122–128.
- Chun, H. N., B. Kim, dan H. S. Shin. 2014. Evaluation of a freshness indicator for quality of fish products during storage. *Food Science and Biotechnology*.

23(5):1719–1725.

- Crowley, K., A. Pacquit, J. Hayes, K. T. Lau, dan D. Diamond. 2005. A gas-phase colorimetric sensor for the detection of amine spoilage products in packaged fish. *Proceedings of IEEE Sensors*. 2005. The Printing House, Inc: 754–757.
- Curtlright, R. D., J. A. Rynearson, dan J. Markwell. 1994. Colorful sensors of molecular milieu. *Journal of Chemical Education*. 71(8):682–684.
- Dalmoro, V., J. H. Z. dos Santos, M. Pires, A. Simanke, G. B. Baldino, dan L. Oliveira. 2017. *4 – Encapsulation of sensors for intelligent packaging*. Brazil: Institute of Chemistry, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil; Braskem, Polymer Technology Center, Triunfo, Brazil; Elsevier Inc. *Food Packaging*.
- Francis, F. J. dan P. C. Markakis. 1989. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition Food colorants : Anthocyanins*. 4. *Food Science and Nutrition*.
- Fuertes, G., I. Soto, R. Carrasco, M. Vargas, J. Sabattin, dan C. Lagos. 2016. Intelligent packaging systems: sensors and nanosensors to monitor food quality and safety. *Journal of Sensors*. 2016
- Hamid, N. I. A., N. Khairuddin, K. A. Zahan, N. PA, K. F. Seng, B. M. Siddique, dan I. I. Muhamad. 2014. Effect of different drying methods on the morphology, crystallinity, swelling ability and tensile properties of nata de coco. *Sains Malaysiana*. 43(5):767–773.
- Hanrahan, G., D. G. Patil, dan J. Wang. 2004. Electrochemical sensors for environmental monitoring: design, development and applications. *Journal of Environmental Monitoring*. 6(8):657–664.
- Hartig, S. M. 2013. Basic image analysis and manipulation in imagej. *Current Protocols in Molecular Biology*. (SUPPL.102):1–12.
- Hasnedi, Y. W. 2009. *Pengembangan Kemasan Cerdas (Smart Packaging) Dengan Sensor Berbahan Dasar Chitosan-Asetat, Polivinil Alkohol, dan Pewarna Indikator Bromthymol Blue sebagai Pendeteksi Kebusukan Fille tikan Nila*. Edisi Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Irawan, A. 2006. *Kandungan Mineral Cumi-Cumi (Loligo sp) dan Udang Vannamei (Litopenaeus vannamei) Serta Pengaruh Perebusan Terhadap Kelarutan Mineral*. Edisi Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Jagannath, A., P. S. Raju, dan A. S. Bawa. 2010. Comparative evaluation of bacterial cellulose (nata) as a cryoprotectant and carrier support during the freeze drying process of probiotic lactic acid bacteria. *LWT - Food Science and Technology*. 43(8):1197–1203.

- Jusoh, Y. M. M., A. A. Idris, N. Khairuddin, dan N. A. Dayang. 2018. Effect of solvent ph , microwave power and extraction time on microwave-assisted extraction of hibiscus rosa-sinensis. 63:541–546.
- Kerry, J. P., M. N. O’Grady, dan S. A. Hogan. 2006. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: a review. *Meat Science*. 74(1):113–130.
- Keshk, S. M. 2014. Bacterial cellulose production and its industrial applications. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 4(2):2–10.
- Khotima, suciati N. 2018. Pemanfaatan Ekstrak Pucuk Daun Jati Sebagai Indikator Asam Basa Alternatif Berupa Kertas Berdasarkan Pengaruh Variasi Jenis Pelarut Dan Jenis Kertas. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- KKP. 2015. 4 Komoditas Utama Perikanan Indonesia. Jakarta. 2015
- KKP. 2018. Produktivitas Perikanan Indonesia. 2018. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia
- Kress-Rogers, E. dan C. J. B. Brimelow. 2001. *Chemosensors, biosensors, immunosensors and DNA probes: the base devices*. Dalam Instrumentation and sensors for the food industry. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Kusumah, I. Y. S. dan T. Rahayu. 2016. Pemanfaatan Ekstrak Etanol Kelopak Bunga Rosela Untuk Pembuatan Kertas Indikator Asam-Basa Alternatif. Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- Kusumawati, N., A. B. Santoso, M. M. Sianita, dan S. Muslim. 2017. Extraction, characterization, and application of natural dyes from the fresh mangosteen (*garcinia mangostana* l.) peel. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 7(3):878–884.
- Kuswandi, B. 2010. *Sensor Kimia Teori, Praktek, Dan Aplikasi*. Jember: Jember University Press.
- Kuswandi, B. dan A. Nurfawaidi. 2017. On-package dual sensors label based on ph indicators for real-time monitoring of beef freshness. *Food Control*. 82:91–100.
- Lee, J., R. W. Durst, dan R. E. Wrolstad. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the ph differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International*. 88(5):1269–1278.
- Li, E., X. Wang, K. Chen, C. Xu, J. G. Qin, dan L. Chen. 2017. Physiological change and nutritional requirement of pacific white shrimp

- litopenaeus vannamei at low salinity. *Reviews in Aquaculture*. 9(1):57–75.
- Listyarini, A., W. Sholihah, dan C. Imawan. 2018. A paper-based colorimetric indicator label using natural dye for monitoring shrimp spoilage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 367(1):1–8.
- Missoum, A. 2018. An update review on hibiscus rosa sinensis phytochemistry and medicinal uses. 4(3):135–146.
- Montero, P., A. Ávalos, dan M. Pérez-Mateos. 2001. Characterization of polyphenoloxidase of prawns (*penaeus japonicus*). alternatives to inhibition: additives and high-pressure treatment. *Food Chemistry*. 75(3):317–324.
- Mu, H., H. Chen, X. Fang, J. Mao, dan H. Gao. 2012. Effect of cinnamaldehyde on melanosis and spoilage of pacific white shrimp (*litopenaeus vannamei*) during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(10):2177–2182.
- Nababan, E., I. Putra, dan Rusliadi. 2015. Pemeliharaan udang vaname (*litopenaeus vannamei*) dengan persentase pemberian pakan yang berbeda. *Perikanan*
- Narumi, H. E., Zuhriansyah, dan I. Mustofa. 2009. Deteksi pencemaran bakteri salmonella sp. pada udang putih (*penaeus merguensis*) segar di pasar tradisional kotamadya surabaya. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 1(1):173–188.
- Nuryanti, S., S. Matsjeh, C. Anwar, dan T. J. Raharjo. 2010. Indikator titrasi asam-basa dari ekstrak bunga sepatu. *chemistry*. 30(3):178–183.
- Ogle, J. T. 1992. Variability in growth of postlarval *penaeus vannamei*. *Gulf Research Reports*. 8(4)
- Okoduwa, S. I. R., L. O. Mbora, M. E. Adu, dan A. A. Adeyi. 2015. Comparative analysis of the properties of acid-base indicator of rose (*rosa setigera*), allamanda (*allamanda cathartica*), and hibiscus (*hibiscus rosa-sinensis*) flowers. *Biochemistry Research International*. 2015
- Othman, M., A. A. Yusup, N. Zakaria, dan K. Khalid. 2018. Bio-polymer chitosan and corn starch with extract of hibiscus rosa-sinensis (*hibiscus*) as ph indicator for visually-smart food packaging. *AIP Conference Proceedings*. 1985
- Otoni, C. G., R. J. Avena-Bustillos, H. M. C. Azeredo, M. V. Lorevice, M. R. Moura, L. H. C. Mattoso, dan T. H. McHugh. 2017. Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 16(5):1151–1169.

- Pacquit, A., J. Frisby, Danny Diamond, K. T. Lau, A. Farrell, B. Quilty, dan Dermot Diamond. 2007. Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage. *Food Chemistry*. 102:466–470.
- Pourjavaher, S., H. Almasi, S. Meshkini, S. Pirsá, dan E. Parandi. 2017. Development of a colorimetric ph indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*brassica oleraceae*) extract. *Carbohydrate Polymers*. 156:193–201.
- Pratama, Y. 2013. *Pemanfaatan Ekstrak Daun Jati (Tectona grandis linn. f.) sebagai Indikator Titrasi Asam-Basa*. Edisi Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Pujilestari, T., B. B. Kerajinan, dan D. Batik. 2015. REVIEW : sumber dan pemanfaatan zat warna alam untuk keperluan industri (review : source and utilization of natural dyes for industrial use). 93–106.
- Ross, J. 2007. Colour analysis tools in imagej. *Biomedical Imaging Research Unit*. 1–23.
- Rowe, R. C. R., P. J. S. Sheskey, dan W. Cook. 2009. *Handbook Pharmaceutical Excipients, Sixth Edition*
- Saati, E. A. 2014. Anthocyanin pigments exploration of local biological materials to substitute rodhamin b and effectiveness test for some industry product/food. 9(2):1–12.
- Sabularse, V. C., M. N. D. Montalbo, H. P. Hernandez, dan E. P. Serrano. 2009. Preparation of nata de coco-based carboxymethylcellulose coating and its effect on the post-harvest life of bell pepper (*capsicum annum l.*) fruits. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 60(SUP 7):206–218.
- Samber, L. N. 2006. Seminar nasional x pendidikan biologi fkip uns karakterisasi antosianin sebagai pewarna alami. *Seminar Nasional x Pendidikan Biologi FKIP UNS*. (Harborne 2005):2005–2008.
- Sarkar, B., P. Vyas, I. Haque, dan K. Mukhopadhyay. 2018. A rapid uplc method for simultaneous separation and detection of anthocyanidins from ocimum, hibiscus and syzygium species and estimation of their antioxidant activity. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*. 41(10):658–667.
- Shah, N., M. Ul-Islam, W. A. Khattak, dan J. K. Park. 2013. Overview of bacterial cellulose composites: a multipurpose advanced material. *Carbohydrate Polymers*. 98(2):1585–1598.
- Shit, S. C. dan P. M. Shah. 2014. Edible polymers: challenges and opportunities. *Journal of Polymers*. 2014:1–13.

- Singh, S., K. K. Gaikwad, dan Y. S. Lee. 2018. Anthocyanin – a natural dye for smart food packaging systems study of anthocyanins in. 24(3):167–180.
- Son, H.-J., M.-S. Heo, Y.-G. Kim, dan S.-J. Lee. 2001. Optimization of fermentation conditions for the production of bacterial cellulose by a newly isolated acetobacter sp.a9 in shaking cultures. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 33(1):1.
- Suwetja. 2011. *Biokimia Hasil Perikanan*. Jakarta: Media Prima.
- Tang, X. dan S. Alavi. 2011. Recent advances in starch , polyvinyl alcohol based polymer blends , nanocomposites and their biodegradability. *Carbohydrate Polymers*. 85(1):7–16.
- Ul-Islam, M., T. Khan, dan J. K. Park. 2012. Water holding and release properties of bacterial cellulose obtained by in situ and ex situ modification. *Carbohydrate Polymers*. 88(2):596–603.
- Vanderroost, M., P. Ragaert, F. Devlieghere, dan B. De Meulenaer. 2014. Intelligent food packaging: the next generation. *Trends in Food Science and Technology*. 39(1):47–62.
- Wrolstad, R. E., R. W. Durst, dan J. Lee. 2005. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science and Technology*. 16(9):423–428.
- Wu, S., W. Wang, K. Yan, F. Ding, X. Shi, H. Deng, dan Y. Du. 2018. Electrochemical writing on edible polysaccharide films for intelligent food packaging. *Carbohydrate Polymers*. 186(November 2017):236–242.
- Yam, K. L., P. T. Takhistov, dan J. Miltz. 2005. R : concise reviews / hypotheses in food science intelligent packaging : concepts and application. *Journal of Food Science*. 70(1):1–10.
- Yoshida, C. M. P., V. B. V. Maciel, M. E. D. Mendonça, dan T. T. Franco. 2014. Chitosan biobased and intelligent films: monitoring ph variations. *LWT - Food Science and Technology*. 55(1):83–89.
- Yucel, U., S. Otlis, dan B. Y. Sahyar. 2016. *Intelligent Food Packaging*. Manhattan, USA: Elsevier. *Comprehensive Analytical Chemistry*.
- Yulfriansyah, A. 2016. Pembuatan indikator bahan alami dari ekstrak kulit buah naga (*hylocereus polyrhizus*) sebagai indikator alternatif. 16(1):153–160.
- Yuliati, E. 2009. Analisis Strategi Pengembangan Usaha Pembenihan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*),(Kasus Pada PT Suri Tani Pemuka, Kabupaten Serang, Provinsi Banten). Institut Pertanian Bogor.

Zhang, X., S. Lu, dan X. Chen. 2014. A visual ph sensing film using natural dyes from *bauhinia blakeana dunn*. *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 198:268–273.



LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Penentuan Konsentrasi Antosianin

Berat	pH 1,0		pH 4,5		Kons (ppm)	Total antosianin (mg/100g)	%b/v (g/100mL)	Rata-rata
	λ 520	λ 700	λ 520	λ 700				
25g	2,635	1,371	1,942	1,060	31,89	159,47	0,0159	160,03±0,96 RSD = 0,6 %
	2,638	1,379	1,943	1,070	32,23	161,14	0,0161	
	2,633	1,369	1,863	0,981	31,89	159,47	0,0159	
1,5 g	2,921	1,342	1,348	0,265	41,41	207,07	0,2071	207,21±0,24 RSD = 0,12 %
	2,921	1,343	1,343	0,261	41,41	207,07	0,2071	
	2,921	1,343	1,347	0,266	41,50	207,48	0,2075	
4 g	2,958	1,547	1,069	0,150	41,08	205,40	0,2054	206,65±1,25 RSD = 0,61 %
	2,958	1,549	1,073	0,159	41,33	206,65	0,2066	
	2,958	1,545	1,079	0,164	41,58	207,90	0,2079	

Perhitungan

Rumus :

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH1,0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4,5}$$

$$\text{Total antosianin (mg/L)} = \frac{A \times BM \times FP \times 10^3}{\epsilon \times l}$$

- Ekstrak 1
25 g serbuk kering ad 250 mL pelarut
1 mL ad 5 mL dapar

R1

$$\begin{aligned} A &= (2,635 - 1,371) - (1,942 - 1,060) \\ &= 1,264 - 0,882 \\ &= 0,382 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total antosianin (mg/L)} &= 0,382 \times 449,2 \times 5 \times 10^3 / 26900 \times 1 \\ &= 31,89 \mu\text{g/mL} \times 5 \text{ mL} \\ &= 159,47 \mu\text{g} \times 250 \text{ mL} / 1 \text{ mL} \\ &= 39,87 \text{ mg} / 25 \text{ g} \times 100 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Antosianin} &= 159,47 \text{ mg} / 100\text{g} \\ &= 39,87 \text{ mg} / 250 \text{ mL} \times 100 \text{ mL} / 1000 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\% \text{ (b/v)} = 0,0159 \%$$



R2

$$\begin{aligned}
 A &= (2,638-1,379)-(1,943-1,070) \\
 &= 1,259-0,873 \\
 &= 0,386 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total antosianin} &= 0,386 \times 449,2 \times 5 \times 10^3 / 26900 \times 1 \\
 (\text{mg/L}) &= 32,23 \mu\text{g/mL} \times 5 \text{ mL} \\
 &= 161,14 \mu\text{g} \times 250 \text{ mL} / 1 \text{ mL} \\
 &= 40,29 \text{ mg} / 25 \text{ g} \times 100 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Antosianin} &= 161,14 \text{ mg} / 100\text{g} \\
 &= 40,29 \text{ mg} / 250 \text{ mL} \times 100 \text{ mL} / 1000 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

$$\% \text{ (b/v)} = 0,0161 \%$$

R3

$$\begin{aligned}
 A &= (2,633-1,369)-(1,863-0,981) \\
 &= 1,264-0,882 \\
 &= 0,382 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total antosianin} &= 0,382 \times 449,2 \times 5 \times 10^3 / 26900 \times 1 \\
 (\text{mg/L}) &= 31,89 \mu\text{g/mL} \times 5 \text{ mL} \\
 &= 159,47 \mu\text{g} \times 250 \text{ mL} / 1 \text{ mL} \\
 &= 39,87 \text{ mg} / 25 \text{ g} \times 100 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Antosianin} &= 159,47 \text{ mg} / 100\text{g} \\
 &= 39,87 \text{ mg} / 250 \text{ mL} \times 100 \text{ mL} / 1000 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

$$\% \text{ (b/v)} = 0,0159 \%$$

Lampiran 4.2 Penentuan Bahan Pengikat

Replikasi	Nilai <i>Mean Blue</i>		
	PEG-400	CMC-Na	PVA
1	70,637	127,545	72,593
2	70,33	129,777	75,617
3	70,273	133,982	75,617
Rata-Rata	70,413	130,435	74,609
SD	0,20	3,27	1,75
RSD (%)	0,28	2,51	2,34

Lampiran 4.3 Penentuan konsentrasi PVA yang optimal

Replikasi	Nilai <i>Mean blue</i>			
	PVA 1,0%	PVA 0,50 %	PVA 0,10 %	PVA 0,05 %
1	72,593	65,178	59,279	79,893
2	75,617	66,495	59,821	77,605
3	75,617	64,636	59,361	75,754
Rata-rata	74,609	65,436	59,487	77,751
SD	1,75	0,96	0,29	2,07
RSD (%)	2,34	1,46	0,49	2,67

Lampiran 4.4 Penentuan waktu imobilisasi

Replikasi	Nilai <i>Mean blue</i>			
	0 min	20 min	40 min	60 min
1	144,054	105,925	72,231	75,826
2	147,876	105,361	71,846	75,055
3	146,099	106,023	72,442	74,279
Rata-rata	146,010	105,770	72,173	75,053
SD	1,9	0,4	0,3	0,8
RSD (%)	1,31	0,34	0,42	1,03

Lampiran 4.5 Penentuan waktu respon sensor *edible*

(A) pH 6

Waktu (Menit)	Replikasi			Rata-rata	RSD (%)
	1	2	3		
0	72,645	72,67	73,453	72,923 ± 0,46	0,63
1	79,84	80,484	78,515	79,613 ± 1	1,26
2	79,543	79,315	80,453	79,77 ± 0,6	0,75
3	80,67	80,982	80,452	80,701 ± 0,27	0,33
4	80,459	80,794	81,766	81,006± 0,68	0,84
5	81,082	82,254	80,12	81,152 ± 1,07	1,32

(B) pH 7

Waktu (menit)	Replikasi			Rata-rata	RSD (%)
	1	2	3		
0	75,648	75,562	74,72	75,31 ± 0,51	0,68
1	111,036	112,748	110,655	111,48 ± 1,11	1,00
2	118,633	117,245	118,456	118,111 ± 0,76	0,64
3	117,526	118,903	119,247	118,559 ± 0,91	0,77
4	119,473	119,852	118,773	119,366 ± 0,55	0,46
5	118,656	119,747	119,483	119,295±0,57	0,48

(C) pH 8

Waktu (Menit)	Replikasi			Rata-rata	RSD (%)
	1	2	3		
0	78,422	80,152	79,754	79,443 ± 0,91	1,14
1	137,12	138,563	139,567	138,417 ± 1,23	0,89
2	156,222	156,642	157,64	156,835± 0,73	0,46
3	156,976	158,65	158,562	158,063 ± 0,94	0,60
4	158,642	158,344	157,652	158,213 ± 0,51	0,32
5	157,571	159,327	158,649	158,516 ± 0,89	0,56

Lampiran 4.6 Penentuan waktu pakai**(A) Suhu ruang**

Hari	Nilai <i>blue</i>			Mean <i>blue</i>	SD	RSD (%)	% Kenaikan <i>blue</i>
	Rep 1	Rep 2	Rep 3				
0	72,14	72,644	73,736	72,84	0,82	1,12	0,00
2	72,347	73,448	73,836	73,210	0,77	1,06	0,51
4	74,902	74,489	75,845	75,079	0,70	0,93	3,07
6	74,308	75,736	75,7336	75,259	0,82	1,09	3,32
8	76,437	76,314	75,214	75,988	0,67	0,89	4,32
10	76,039	77,523	77,588	77,050	0,88	1,14	5,78
12	78,391	78,8	78,084	78,425	0,36	0,46	7,67
14	78,645	78,141	79,562	78,783	0,72	0,91	8,16
16	79,82	79,141	80,438	79,800	0,65	0,81	9,55
18	80,852	80,181	79,958	80,330	0,47	0,58	10,28
20	81,779	80,453	80,641	80,958	0,72	0,89	11,14
22	82,854	82,055	81,16	82,023	0,85	1,03	12,61
24	82,925	83,023	83,361	83,103	0,23	0,28	14,09
26	83,533	84,379	84,535	84,149	0,54	0,64	15,53
28	84,16	84,479	85,85	84,830	0,90	1,06	16,46
30	85,638	86,644	87,214	86,499	0,80	0,92	18,75

(B) Suhu chiller

Hari	Nilai <i>blue</i>			Mean <i>blue</i>	SD	RSD (%)	% Kenaikan <i>blue</i>
	Rep 1	Rep 2	Rep 3				
0	72,54	73,3224	72,575	72,812	0,44	0,61	0,00
2	73,674	72,842	73,548	73,355	0,45	0,61	0,75
4	73,687	74,853	74,582	74,374	0,61	0,82	2,15
6	74,456	74,852	74,577	74,628	0,20	0,27	2,50
8	75,636	74,758	75,295	75,230	0,44	0,59	3,32
10	75,367	75,994	75,696	75,686	0,31	0,41	3,95
12	76,454	76,454	76,94	76,616	0,28	0,37	5,23
14	77,585	76,565	77,546	77,232	0,58	0,75	6,07
16	78,04	77,454	77,578	77,691	0,31	0,40	6,70
18	79,545	77,55	78,45	78,515	1,00	1,27	7,84
20	79,734	79,554	79,475	79,588	0,13	0,17	9,31
22	81,484	81,466	80,46	81,137	0,59	0,72	11,44
24	83,875	82,44	82,58	82,965	0,79	0,95	13,95
26	83,6456	83,78	83,587	83,671	0,10	0,12	14,92
28	85,455	84,625	84,628	84,903	0,48	0,56	16,61
30	87,754	87,482	85,758	86,998	1,08	1,24	19,49

Lampiran 4.7 Penentuan Reprodusibilitas

(A) pH 6

Hari	Nilai <i>blue</i>						Mean <i>blue</i>	SD	RSD (%)
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
1	80,35	80,557	79,654	79,513	80,554	80,653	80,214	0,50	0,62
2	80,56	79,787	79,68	79,52	80,53	80,786	80,144	0,54	0,68
3	80,53	81,74	80,654	80,533	80,675	79,664	80,633	0,66	0,82

(B) pH 7

Har	Nilai <i>blue</i>						Mean <i>blue</i>	SD	RSD (%)
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
1	118,54	117,654	117,846	118,645	118,654	118,464	118,30	0,44	0,37
2	116,53	117,541	118,464	117,744	118,543	117,523	117,72	0,74	0,63
3	118,45	119,332	116,564	118,344	118,543	117,369	118,10	0,98	0,83

(C) pH 8

Hari	Nilai <i>blue</i>						Mean <i>blue</i>	SD	RSD (%)
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
1	158,472	158,345	157,632	157,571	156,755	158,435	157,86	0,68	0,43
2	158,566	159,554	157,344	157,455	158,323	157,578	158,13	0,85	0,54
3	159,561	158,53	158,461	159,563	157,442	159,452	158,83	0,85	0,54

Lampiran 4.8 Perhitungan konsentrasi antosianian

Berat (gram)	pH 1		pH 4,5		Kons (ppm)	TA (mg/100g)	%b/v (g/100mL)	Rata- rata	RSD (%)
	λ 520	λ 700	λ 520	λ 700					
5	2,653	1,375	1,963	1,100	34,65	173,25	0,17	172,69 \pm 1,34	0,78
	2,664	1,385	1,924	1,055	34,23	171,16	0,17		
	2,663	1,387	1,920	1,060	34,73	173,67	0,17		
5	2,465	1,090	1,832	0,920	38,66	193,29	0,19	193,57 \pm 0,24	0,12
	2,447	1,020	1,843	0,880	38,74	193,71	0,19		
	2,453	1,080	1,839	0,930	38,74	193,71	0,19		

Perhitungan

Rumus :

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH1,0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4,5}$$

$$\text{Total antosianin (mg/L)} = \frac{A \times 442,9 \times FP \times 10^3}{26900 \times l}$$

- Ekstrak 1
5 g serbuk kering ad 50 mL pelarut
1 mL ad 5 mL dapar

Replikasi 1

$$\begin{aligned} A &= (2,653 - 1,375) - (1,963 - 1,100) \\ &= 1,278 - 0,863 \\ &= 0,415 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total antosianin} &= 0,415 \times 449,2 \times 5 \times 10^3 / 26900 \times 1 \\ \text{(mg/L)} &= 34,65 \text{ } \mu\text{g/mL} \times 5 \text{ mL} \\ &= 173,25 \text{ } \mu\text{g} \times 50 \text{ mL} / 1 \text{ mL} \\ &= 8,66 \text{ mg} / 5 \text{ g} \times 100 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Antosianin} &= 173,25 \text{ mg} / 100\text{g} \\ &= 8,66 \text{ mg} / 50 \text{ mL} \times 100 \text{ mL} / 1000 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\% \text{ (b/v)} = 0,0173 \%$$

Replikasi 2

$$\begin{aligned} A &= (2,664 - 1,385) - (1,924 - 1,055) \\ &= 1,279 - 0,869 \\ &= 0,410 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total antosianin} &= 0,410 \times 449,2 \times 5 \times 10^3 / 26900 \times 1 \\ (\text{mg/L}) &= 34,23 \text{ } \mu\text{g/mL} \times 5 \text{ mL} \\ &= 171,16 \text{ } \mu\text{g} \times 50 \text{ mL} / 1 \text{ mL} \\ &= 8,56 \text{ mg} / 5 \text{ g} \times 100 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Antosianin} &= 171,16 \text{ mg} / 100\text{g} \\ &= 8,56 \text{ mg} / 50 \text{ mL} \times 100 \text{ mL} / 1000 \text{ mg} \\ \% (\text{b/v}) &= 0,0171 \% \end{aligned}$$

Replikasi 2

$$\begin{aligned} A &= (2,663 - 1,387) - (1,920 - 1,060) \\ &= 1,276 - 0,860 \\ &= 0,416 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total antosianin} &= 0,416 \times 449,2 \times 5 \times 10^3 / 26900 \times 1 \\ (\text{mg/L}) &= 34,73 \text{ } \mu\text{g/mL} \times 5 \text{ mL} \\ &= 173,67 \text{ } \mu\text{g} \times 50 \text{ mL} / 1 \text{ mL} \\ &= 8,68 \text{ mg} / 5 \text{ g} \times 100 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Antosianin} &= 173,67 \text{ mg} / 100\text{g} \\ &= 8,68 \text{ mg} / 50 \text{ mL} \times 100 \text{ mL} / 1000 \text{ mg} \\ \% (\text{b/v}) &= 0,0173 \% \end{aligned}$$

$$\text{Rata-rata} = 0,0173\% + 0,0171\% + 0,0173\% / 3 = 0,0172\%$$

$$\text{Pengenceran} = 0,016 / 10 \text{ mL} = 0,0172 / \chi$$

$$\chi = 0,0160 \times 10 \text{ mL} / 0,0172$$

$$\chi = 9,3 \text{ mL ad } 10 \text{ mL}$$

Lampiran 4.9 Perhitungan nilai *mean blue* sensor**(A) Suhu ruangan**

Jam	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
<i>Nilai Blue</i>	80,124	95,783	104,667	118,548	142,287	145,076	148,406	155,254	165,873	168,264	173,574	179,74	182,657
	79,94	95,046	103,874	117,243	141,845	143,986	147,754	154,975	164,975	167,996	172,153	178,968	181,587
	78,953	94,875	103,135	116,875	141,375	142,755	145,986	153,966	163,926	167,056	171,949	177,109	180,837
<i>Mean blue</i>	79,672	95,235	103,892	117,555	141,836	143,939	147,382	154,732	164,925	167,772	172,559	178,606	181,694
SD	0,63	0,48	0,77	0,88	0,46	1,16	1,25	0,68	0,97	0,63	0,89	1,35	0,91
RSD (%)	0,79	0,51	0,74	0,75	0,32	0,81	0,85	0,44	0,59	0,38	0,51	0,76	0,50

(B) Suhu *chiller*

Hari	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Nilai Blue</i>	80,62	96,725	108,44	117,975	119,275	120,045	123,012	128,676	128,874	131,986	136,564	140,875	143,146	45,753
	80,16	96,184	107,759	116,996	118,942	119,869	121,976	125,385	128,359	130,846	135,467	140,126	142,367	44,142
	79,70	95,749	106,625	116,739	118,133	119,473	121,043	125,173	126,964	129,937	134,975	139,852	141,975	43,964
<i>Mean blue</i>	80,16	96,219	107,608	117,237	118,783	119,796	122,010	126,411	128,066	130,923	135,669	140,284	142,496	44,620
SD	0,46	0,49	0,92	0,65	0,59	0,29	0,98	1,96	0,99	1,03	0,81	0,53	0,60	0,99
RSD (%)	0,57	0,51	0,85	0,56	0,49	0,24	0,81	1,55	0,77	0,78	0,60	0,38	0,42	0,68

Lampiran 4.10 Perhitungan pH udang**(A) Suhu ruangan**

Jam	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Nilai <i>blue</i>	6,67	6,78	7,10	7,20	7,41	7,53	7,65	8,14	8,59	9,12	9,60	9,82	10,03
	6,62	6,77	7,00	7,15	7,37	7,46	7,56	8,09	8,54	9,05	9,53	9,77	10,00
	6,60	6,69	7,00	7,13	7,33	7,42	7,53	8,07	8,50	9,02	9,49	9,71	9,98
Rata-rata	6,63	6,75	7,03	7,16	7,37	7,47	7,58	8,10	8,54	9,06	9,54	9,77	10,00
SD	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,03
RSD (%)	0,54	0,73	0,82	0,50	0,54	0,75	0,82	0,45	0,53	0,57	0,58	0,56	0,25

(B) Suhu chiller

Hari	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nilai <i>blue</i>	6,69	6,89	7,12	7,23	7,3	7,33	7,41	7,52	7,53	7,67	7,76	7,89	8	8,14
	6,67	6,89	7	7,21	7,28	7,3	7,37	7,4	7,51	7,61	7,74	7,83	7,98	8,08
	6,66	6,87	6,98	7,2	7,26	7,3	7,36	7,4	7,49	7,58	7,69	7,81	7,93	8,02
Rata-rata	6,67	6,88	7,03	7,21	7,28	7,31	7,38	7,44	7,51	7,62	7,73	7,84	7,97	8,08
SD	0,02	0,01	0,08	0,02	0,02	0,02	0,03	0,07	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06
RSD (%)	0,23	0,17	1,08	0,21	0,27	0,24	0,36	0,93	0,27	0,60	0,47	0,53	0,45	0,74

Lampiran 4.11 Penentuan total kadar basa menguap (TVB)

(A) Suhu ruangan

Jam ke	Vol. titrasi HCL 1 N (mL)		TVB (mg N/100g)
	Blanko	Sample	
2	0,5	11	14,7
4	0,5	12,5	16,8
6	0,5	15	20,3
8	0,5	18,2	24,8
10	0,5	20	27,3
12	0,5	21,9	30
14	0,5	23,5	32,2
16	0,5	25	34,3
18	0,5	27,8	38,2

(B) Suhu *chiller*

Hari	Vol. Titrasi HCl 1N (mL)		TVB (mg N/100g)
	Blanko	Sample	
0	0,5	3,5	4,19
1	0,5	4,5	5,60
2	0,5	6,2	7,98
3	0,5	7,8	10,23
4	0,5	9,7	12,88
5	0,5	13,2	17,79
6	0,5	18,5	25,19
7	0,5	22,1	30,26
8	0,5	24,3	33,34
9	0,5	26,9	36,94
10	0,5	27,7	38,10

Lampiran 4.12 Penentuan total kontaminasi bakteri (TPC)

(A) Suhu ruangan

Pengenceran Jam ke	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	TPC (Log CFU/g)	Rata-rata					
2	TBUD	TBUD	88	85	65	57	44	30	21	18	4,3	4,22
	TBUD	TBUD	83	71	55	59	37	33	17	15	4,2	
	TBUD	TBUD	61	69	51	52	33	30	17	11	4,2	
4	TBUD	TBUD	182	195	98	93	78	65	34	28	4,5	4,53
	TBUD	TBUD	188	187	91	87	66	62	35	32	4,5	
	TBUD	TBUD	185	186	88	90	54	51	39	21	4,5	
6		TBUD	154	135	85	65	79	32	21	21	4,7	4,65
		TBUD	152	122	79	62	71	41	35	35	4,7	
		TBUD	113	114	77	61	75	35	37	37	4,6	
8		TBUD	TBUD	97	84	81	67	43	47	47	5,3	5,26
		TBUD	TBUD	85	86	80	70	47	41	41	5,3	
		TBUD	TBUD	83	77	76	63	41	37	37	5,2	
10		TBUD	TBUD	186	250	168	120	72	50	50	5,6	5,55
		TBUD	TBUD	167	197	142	149	64	85	85	5,6	
		TBUD	TBUD	162	173	140	126	54	52	52	5,5	
12						TBUD	TBUD	187	164	164	7,2	7,18
						TBUD	TBUD	115	186	186	7,2	
						TBUD	TBUD	112	146	146	7,1	
14								TBUD	TBUD	TBUD	7,3	7,34
								TBUD	236	236	7,4	
								TBUD	204	204	7,3	

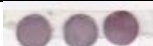






TBUD = Terlalu Banyak Untuk Dihitung

(B) Suhu *chiller*







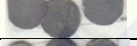



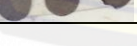
Pengenceran Hari	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	TPC (Log CFU/g)	Rata-rata					
0	132	121	98	96	71	77	53	63	32	35	3,54	3,54
	124	131	94	86	68	73	65	51	38	34	3,54	
	125	121	88	91	78	65	53	61	36	34	3,53	
1	189	185	147	135	124	119	93	96	63	62	3,66	3,65
	183	188	132	145	115	121	92	96	57	60	3,66	
	182	175	136	135	112	97	94	81	59	47	3,62	
2	216	221	174	188	153	146	126	123	85	92	3,77	3,75
	212	213	179	167	146	146	122	122	83	64	3,75	
	203	199	173	166	144	145	122	112	82	83	3,74	
3	TBUD	TBUD	67	71	47	46	26	29	21	17	4,16	4,10
	TBUD	TBUD	57	51	46	42	27	23	13	15	4,09	
	TBUD	TBUD	49	59	36	41	23	20	11	9	4,05	
4	TBUD	TBUD	203	194	165	175	135	131	106	103	4,74	4,73
	TBUD	TBUD	195	188	167	164	132	133	96	107	4,73	
	TBUD	TBUD	184	185	163	167	129	121	99	102	4,71	
5		TBUD	224	197	198	167	163	131	132	132	5,00	4,99
		TBUD	222	195	198	163	168	129	122	122	4,99	
		TBUD	221	193	193	162	166	124	125	125	4,99	
6		TBUD	TBUD	216	215	172	175	93	106	106	5,64	5,6
		TBUD	TBUD	213	213	171	171	84	54	54	5,61	
		TBUD	TBUD	200	213	167	166	68	77	77	5,60	
7		TBUD	TBUD	223	228	194	194	153	158	158	5,71	5,71
		TBUD	TBUD	223	227	186	191	152	158	158	5,71	
		TBUD	TBUD	223	222	189	195	150	152	152	5,71	
8			TBUD	234	211	219	219	173	177	177	5,92	5,91
			TBUD	232	211	217	174	174	174	174	5,92	
			TBUD	223	215	211	164	166	166	166	5,90	
9			TBUD	TBUD	165	166	93	72	72	72	6,35	6,34
			TBUD	TBUD	160	168	75	75	75	75	6,34	
			TBUD	TBUD	153	163	78	76	76	76	6,33	
10						TBUD	162	85	88	88	6,45	6,42
						TBUD	158	87	89	89	6,44	
							197	152	84	70	6,36	

TBUD = Terlalu Banyak Untuk Dihitung

Lampiran 4.13 Gambar visualisasi sensor**(A) Suhu ruangan**

Jam	Gambar	Mean blue	pH	TVB (mg N/100g)	TPC (CFU/g)	Mutu udang
2		95,235	6,75	14,7	4,22	Segar
4		103,892	7,03	16,8	4,53	
6		117,555	7,16	20,3	4,65	Masih Segar
8		141,836	7,37	24,8	5,26	Segar
10		143,939	7,47	27,3	5,55	
12		147,382	7,58	30	7,18	
14		154,732	8,10	32,2	7,34	Busuk

(B) Suhu chiller

Hari	Gambar	Mean blue	pH	TVB (mg N/100g)	TPC (CFU/g)	Mutu Udang
0		80,162	6,67	4,19	3,54	
1		96,219	6,88	5,60	3,65	Segar
2		107,608	7,03	7,98	3,75	
3		117,237	7,21	10,23	4,10	
4		118,783	7,28	12,88	4,73	Masih Segar
5		119,796	7,31	17,79	4,99	Segar
6		122,010	7,38	25,19	5,62	
7		126,411	7,44	30,26	5,71	
8		128,066	7,51	33,34	5,91	
9		130,923	7,62	36,94	6,34	Busuk
10		135,669	7,73	38,10	6,42	

Lampiran 4.14 Desain kemasan sensor



Lampiran 4.15 Gambar dokumentasi



A



B



C



D



E



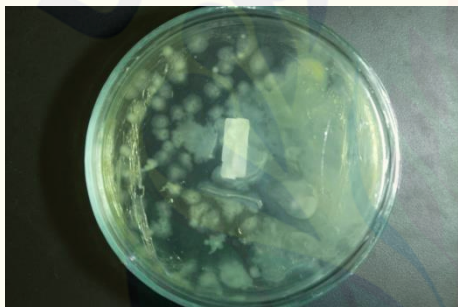
F



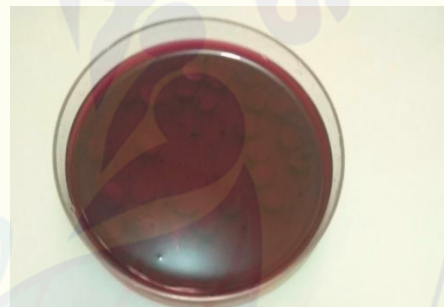
G



H



I



J



K

Keterangan :

- A = Pembuatan bubur *nata de coco*
- B = Pengeringan kelopak bunga sepatu
- C = Ekstraksi dan penguapan larutan
- D = Penentuan kadar antosianin
- E = Destruksi *kjeldahl*
- F = Titrasi *kjeldahl*
- G = Destilasi *kjeldahl*
- H = Perhitungan koloni bakteri
- I = Inkubasi bakteri udang
- J = Imobilisasi membran
- K = Pengemasan sampel

