



**KARAKTERISASI SENSOR *EDIBLE* BERBASIS INDIKATOR
ALAMI KUBIS MERAH (*Brassica oleracea var. capitata L.*)
DENGAN MEMBRAN SELULOSA BAKTERIAL UNTUK
PENENTUAN pH PADA MINUMAN**

SKRIPSI

Oleh

**Ni Putu Nurdika Asih
NIM 142210101098**

**FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**KARAKTERISASI SENSOR *EDIBLE* BERBASIS INDIKATOR
ALAMI KUBIS MERAH (*Brassica oleracea var. capitata L.*)
DENGAN MEMBRAN SELULOSA BAKTERIAL UNTUK
PENENTUAN pH PADA MINUMAN**

SKRIPSI

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

Oleh :

**Ni Putu Nurdika Asih
NIM 142210101098**

**FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS JEMBER
JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ida Sang Hyang Widhi Wasa yang selalu memberikan kekuatan dan anugerahNya untuk saya serta selalu menjadi tempat ternyaman untuk berkeluh kesah.
2. Kedua orangtuaku Bapak I Ketut Nerkha, S.H dan Ibu Ni Ketut Suwedi yang telah membesarkan saya dengan sepenuh hati serta telah mendidik saya untuk menjadi anak yang kuat dan mandiri sehingga saya tidak mudah menyerah. Terimakasih karena sudah menyayangiku, mudah-mudahan lulus sarjana farmasi menjadi salah satu kebanggaan kalian pada diriku.
3. Keluarga besar yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, terimakasih untuk semangat, dukungan, dan doa yang telah diberikan.
4. Guru-guruku TK Dharma Indria II, SDN Jember Lor III, SMPN 3 Jember, SMAN 4 Jember, dan dosen-dosenku di Fakultas Farmasi Universitas Jember. Terimakasih atas ilmu dan waktu yang telah diberikan tanpa kenal lelah, tanpa beliau-beliau saya bukanlah apa-apa.
5. Teman-teman TK, SD, SMP, SMA yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih telah menjadi rekan tumbuh bersama untuk membentuk kedewasaan, berbagi tugas, berbagi contekan ujian, melakukan kenakalan masa remaja, dan cinta monyet . Kalian semua gokil dan swag rek, masa sekolah adalah masa yang indah karena kalian.
6. Inak, Lintang, Wulan. Para sahabat yang mengajarkan apa arti kedewasaan dan selalu apa adanya. Terimakasih tidak pernah bosan untuk menjadi sahabatku dari jaman alay sampai sekarang.
7. Novi, Bulan, Lintang (N3L). Sahabat SMA yang selalu ada dalam suka dan duka bahkan sampai sekarang. Terimakasih selalu membuatku tertawa atas kegilaan kalian.
8. Keluarga CIBI (Cerdas Istimewa Bakat Istimewa) / Kelas Akselerasi SMPN 3 Jember (Tanjung, Erma, Nadia, Bayu, Yoga, Adrian, Fuad, Iqbal, Jundi, Zaza). Para sahabat keren yang menemani dikala perjuangan menempuh

SMP 2 tahun, kalian termasuk inspirasiku selama ini untuk tidak pernah menyerah.

9. Liya Sanjaya dan Zahra Puspa Diani yang selalu mendorong saya untuk lebih semangat dan lebih dewasa dalam menghadapi segalanya. Terimakasih telah menjadi sahabat yang tidak pernah lelah dengan sifatku dan terimakasih telah membuatku lebih giat, semoga beneran jadi apoteker idaman mas ya rek! sukses terus!! #sahabatpositif.
10. Della Karissa Putri yang selalu menjadi tempat curhat yang tulus dan selalu penuh kejutan untukku dalam suka maupun duka sejak semester 1. Kebersamaan dan keseruan yang tidak dapat dijelaskan dengan kata-kata. Semoga sukses kedepannya ya Pan.
11. I Kade Arya Agus Juniarta yang selalu menjadi sahabat dikala apapun, kemanapun, kapanpun, dan dimanapun. Terimakasih sudah menemani untuk selalu beribadah bersama dan selalu membantuku bahkan sampai skripsiku ini selesai. Jangan bosan ya gus.
12. Ni'matin Choiroh yang sejak semester 1 selalu menjadi galak ketika aku males bahkan sampai skripsi selalu membantuku sampai ke hal kecil dan menjadi tempatku belajar bahkan menjadi tempat galau. Terimakasih sudah perhatian nik, beruntung aku memilikimu.
13. Maisaroh yang selalu mendengarkan segala keluh kesahku dan tidak pernah bosan. Sahabat yang dipertemukan karena KKN dan yang tau segalanya tentangku mulai aku bangun tidur sampai tidur lagi.
14. Cabe Syariah Squad (Iped, Zahra, Liya, Ninik) yang selalu menjadi teman bermain, belajar, dan berjudid. Jenis temen seperti kalian jarang guys!
15. Rizky Akbar Harsa yang selalu menemani di kala suka maupun duka dan selalu menjadi tempat badmood dikala stres skripsi. Terimakasih untuk waktu dan semangat yang diberikan untukku setiap harinya. Sukses terus ya kedepannya. ☺
16. Triple Posisyen (Rizka Illa “Ny Kang” dan Zahra Puspa “Ny Kim”) yang membuatku tidak penat saat di lab bahkan saat revisian. Terimakasih, berkat kalian aku tau keindahan dunia lainnya (re: wannaone).

17. Student Ex-Change (Rizki, Hasnia, Syamsu, Joppy, Dani) yang membuatku merasa beruntung memiliki sahabat gila seperti kalian ditengah orang-orang farmasi yang serius. Terimakasih untuk tidak pernah membahas akademik saat kita berkumpul.
18. Kencur (Liya, Zahra, Ain, Rafli, Ary, Yogi, Fajar, Sheila, Rizka, Rizki, Dwi Ayu, Agus, Della, Tya, Joppy, Ayu Respati) yang selalu menjadi pengingat bahwa akademik dan organisasi bisa berjalan bersamaan.
19. *Biochemosensor group* (Ain, Liya, Osi, Zahra, Rafli, Ary, Yanti, Sheila, Alfi, Ninik, Lelly, Arum, Qeqek, Resa, Rizki, Illa) yang setiap harinya selalu membawa warna di lab sehingga lab menjadi tidak membosankan.
20. Partner “Kubis Merah” Siti Nurrosyidah yang selalu menemani dan satu-satunya yang pengertian kalau kubis merah itu menyenangkan tapi ribet. Terimakasih selalu merapikan apa yang berantakan si.
21. Bu Wayan dan Mbak Hani yang menjadi asisten lab yang sering membantu dan memudahkan saya dalam pekerjaan saya.
22. Teman-teman Pharmagen (Farmasi Unej 2014) yang setiap harinya bertemu bahkan dikala hari libur. Terimakasih telah menjadi angkatan kompak serta berkat canda tawa dan keunikan kalian hidupku menjadi lebih berwarna.
23. Tentor yang gak pernah bosan menjawab pertanyaanku, Mas Hilmi Afthoni dan Mbak Dyah Y.P. Terimakasih untuk bantuan yang tidak terhitung.
24. Teman-teman KKN 08 Desa Dukuhdempok Kecamatan Wuluhan (Maisaroh, Iqbal, Nay, Serlin, Deki, Amalia, Okik, Jihad, Robby). Terimakasih untuk keluarga kecil ini atas support dan bantuannya selalu.
25. Serta untuk setiap nama yang tidak dapat tertulis satu persatu, dan untuk seluruh doa yang terucap tanpa sepengetahuan saya.

MOTTO

“Agar sukses, kemauanmu untuk berhasil harus lebih besar dari ketakutanmu akan kegagalan.”

(Bill Cosby)

“Kebahagiaan manusia dibentuk dari keyakinannya. Apa yang ia yakini, itulah dia.”

(Bhagavad Gita)

“Dimana ada usaha dan kemauan,
Disana ada jalan”

(Anonim)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ni Putu Nurdika Asih

NIM : 142210101098

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Karakterisasi Sensor Edible Berbasis Indikator Alami Kubis Merah (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) dengan Membran Selulosa Bakterial untuk Penentuan Ph pada Minuman” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 19 Juli 2018

Yang menyatakan,

Ni Putu Nurdika Asih

NIM. 142210101098

SKRIPSI

**KARAKTERISASI SENSOR *EDIBLE* BERBASIS INDIKATOR
ALAMI KUBIS MERAH (*Brassica oleracea var. capitata L.*)
DENGAN MEMBRAN SELULOSA BAKTERIAL UNTUK
PENENTUAN pH PADA MINUMAN**

Oleh

**Ni Putu Nurdika Asih
NIM. 142210101098**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dwi Koko Pratoko, S.Farm., MSc., Apt.

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

PENGESAHAN

Karya ilmiah Skripsi berjudul “Karakterisasi Sensor Edible Berbasis Indikator Alami Kubis Merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) dengan Membran Selulosa Bakterial untuk Penentuan Ph pada Minuman” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 19 Juli 2018

tempat : Fakultas Farmasi Universitas Jember

Ketua,

Anggota I,

Dwi Koko Pratoko, S.Farm., MSc., Apt.
NIP. 198504282009121004

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

Anggota II,

Anggota III,

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

Ari Satia Nugraha S.F., GDipSc., Msc-res., PhD., Apt
NIP. 197807212003121001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Karakterisasi Sensor Edible Berbasis Indikator Alami Kubis Merah (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) dengan Membran Selulosa Bakterial untuk Penentuan Ph pada Minuman; Ni Putu Nurdika Asih; 142210101098; 2018: 82 halaman; Fakultas Farmasi Universitas Jember.

Banyaknya permintaan akan makanan berkualitas tinggi, aman dan segar, telah mengakibatkan pengembangan desain dan pendekatan kreatif dalam teknologi kemasan. Aktivitas produksi dan inovasi telah berangsur-angsur berkembang menuju pengembangan indikator pH visual, contohnya adalah indikator pH untuk menentukan kesegaran makanan. Karakteristik dasar dari indikator pH adalah perubahan warna yang dapat dengan mudah diamati ketika ditempatkan di lingkungan asam, basa, atau netral. Dalam aplikasi makanan, senyawa kimia sintetik sulit digunakan karena kemungkinan toksisitas yang tinggi dan dapat membahayakan kesehatan manusia. Kemungkinan toksisitas tinggi pada senyawa kimia sintetik mengakibatkan minat konsumen pada pewarna alami meningkat secara signifikan karena toksisitasnya yang rendah dan ramah lingkungan, sehingga indikator dari bahan alami dapat dikembangkan.

Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan indikator pH universal dari bahan alami yang lebih ramah lingkungan dan aman digunakan yaitu kubis merah (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). Antosianin yang diekstraksi dari kubis merah memiliki sifat unik yaitu perubahan warna yang bervariasi dari merah pada pH rendah sampai biru dan hijau sampai kuning pada pH tinggi. Film yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan film yang dapat dimakan yaitu selulosa bakterial untuk meningkatkan keamanan dan sifat ramah lingkungan dari sensor.

Dalam penelitian ini dilakukan optimasi meliputi optimasi konsentrasi PVA dan konsentrasi yang dipilih adalah perbandingan konsentrasi antara ekstrak kubis merah dengan PVA yaitu 100%:1%. Lalu ketebalan membran yang dipilih adalah ketebalan 0,20 mm serta waktu imobilisasi terpilih adalah 60 menit. Penelitian ini dilakukan pada berbagai pH dengan menggunakan larutan pH 1-14. Pengamatan perubahan warna sensor diamati menggunakan program *ImageJ* dengan menggunakan nilai *mean Blue*. Analisa sensor yang dilakukan adalah analisa perubahan warna sensor menggunakan *imageJ*, analisa indikator kubis merah menggunakan spektroskopi UV-Vis pada panjang gelombang sinar tampak, dan analisa sensor menggunakan spektroskopi reflektansi pada panjang gelombang sinar tampak. Penentuan waktu respon dilakukan menggunakan pH 1, 6, dan 14. Pada pH 1, 6, dan 14 sensor *edible* telah berubah warna pada menit ke-0 dan menunjukkan mulai *steady state* pada menit ke-4 dengan nilai *mean Blue* 166,467 untuk pH 1, 180,174 untuk pH 6, dan 175,025 untuk pH 14. Penentuan waktu pakai sensor *edible* dilakukan dengan membandingkan antara sensor yang disimpan pada suhu ruang serta pada suhu *chiller*, pengamatan dilakukan hingga sensor menunjukkan perubahan karakteristik. Perubahan karakteristik untuk penyimpanan sensor pada suhu ruang terjadi setelah hari ke-17 dan setelah hari ke-21 pada suhu

chiller dengan penurunan nilai *mean Blue* >15%. Sensor *edible* hanya dapat digunakan 1 kali atau sifatnya tidak *reversible*.

Aplikasi sensor *edible* pada sampel minuman telah dilakukan dan menghasilkan hasil yang sesuai dengan nilai dari alat ukur pH yaitu pH meter, dan indikator universal sehingga dapat digunakan sebagai indikator pH pada minuman karena mampu menunjukkan perubahan warna untuk menunjukkan pH pada minuman.



PRAKATA

Puji syukur atas segala anugrah, karunia serta kekuatan yang telah diberikan Ida Sang Hyang Widhi Wasa sehingga atas izin-Nya pula penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini berkat campur tangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Ibu Lestyo Wulandari, S.Si., Apt., M.Farm., selaku Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember;
2. Bapak Dwi Koko Pratoko, S.Farm., MSc., Apt., yang bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, dan ibu Nia Kristiningrum, S.Farm., M.Farm., Apt., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga serta perhatiannya untuk memberikan ilmu, bimbingan, dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
3. Bapak Prof. Drs. Bambang Kuswandi, M. Sc., Ph.D., dan Bapak Ari Satia Nugraha S.F., GDipSc., Msc-res., PhD., Apt., selaku Dosen Penguji yang telah berkenan untuk menguji skripsi ini dan memberikan masukan serta saran untuk pengembangan diri penulis dan skripsi ini;
4. Ibu Afifah Machlaurin., S.Farm, M.Sc., Apt., dan Bapak Ari Satia Nugraha S.F., GDipSc., Msc-res., PhD., Apt., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing dalam masalah perkuliahan penulis;

Tentunya sebagai manusia biasa, penyusunan dan penulisan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya baik bagi perkembangan ilmu pengetahuan maupun penelitian di masa mendatang.

Jember, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	vi
PERNYATAAN	vii
SKRIPSI	viii
PENGESAHAN	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR RUMUS	xix
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 Kemasan Pintar	6
2.2 Kubis Merah	7
2.3 Antosianin	9
2.3.1 Struktur Antosianin.....	10
2.3.2 Sumber Antosianin	11
2.3.3 Sifat dan Reaksi Antosianin.....	12
2.4 Selulosa Bakterial Sebagai Membran Sensor	13
2.4.1 Membran.....	13

2.4.2 Selulosa Bakterial	14
2.4.3 <i>Nata De Coco</i>	14
2.5 Sensor	15
2.5.1 Definisi Sensor Kimia.....	16
2.5.2 Sensor pH.....	17
2.5.3 Karakterisasi Sensor	17
2.6 Imobilisasi Reagen.....	18
2.6.1 Adsorpsi	20
2.6.2 Entrapmen.....	20
2.6.3 Enkapsulasi	20
2.6.4 <i>Crosslinking</i>	21
2.6.5 Ikatan Kovalen.....	21
2.7 Polivinil Alkohol (PVA)	21
2.8 <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 Tahapan Penelitian.....	25
3.4.1 Tahap Percobaan.....	25
3.4.2 Diagram Alur Penelitian	26
3.5 Prosedur Penelitian	27
3.5.1 Optimasi Sensor <i>Edible</i>	27
3.5.2 Fabrikasi Sensor <i>Edible</i>	27
3.5.3 Analisa Sensor <i>Edible</i>	29
3.5.4 Karakterisasi Sensor <i>Edible</i>	30
3.5.5 Aplikasi Sensor <i>Edible</i> Pada Sampel Minuman	31
3.5.6 Analisis Data.....	31
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33

4.1 Optimasi Sensor <i>Edible</i>	33
4.1.1 Optimasi Konsentrasi Bahan Pengikat.....	33
4.1.2 Optimasi Ketebalan Membran	35
4.1.3 Optimasi Waktu Imobilisasi.....	36
4.2 Fabrikasi Sensor <i>Edible</i>	38
4.2.1 Pembuatan Indikator Kubis Merah	38
4.2.2 Pembuatan Membran Selulosa Bakterial	39
4.2.3 Pengimobilisasian Indikator pada Membran.....	39
4.3 Analisa Sensor <i>Edible</i>	40
4.3.1 Perubahan Warna Sensor <i>Edible</i>	40
4.3.2 Analisa Spektra Ekstrak	41
4.3.3 Analisa Spektra Reflektansi	44
4.4 Karakterisasi Sensor <i>Edible</i>	47
4.4.1 Waktu Respon	47
4.4.2 Reprodusibilitas Sensor <i>Edible</i>	49
4.4.3 Reversibilitas Sensor <i>Edible</i>	49
4.4.4 Waktu Pakai Sensor <i>Edible</i>	50
4.4.5 Rentang pH Sensor <i>Edible</i>	57
4.5 Aplikasi Sensor <i>Edible</i> pada Minuman	58
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sumber dan Kandungan Senyawa Antosianin	12
Tabel 2.2 Karakteristik Teknik Imobilisasi.....	19
Tabel 4.1 Indikator Kubis Merah pada Konsentrasi yang Berbeda	33
Tabel 4.2 Hasil Analisis Intensitas Warna menggunakan <i>ImageJ</i>	34
Tabel 4.3 Hasil Optimasi Konsentrasi Bahan Pengikat	34
Tabel 4.4 Hasil Optimasi Ketebalan Membran.....	35
Tabel 4.5 Hasil Optimasi Waktu Imobilisasi	36
Tabel 4.6 Hasil Penentuan Kadar Antosianin Total.....	39
Tabel 4.7 Perubahan Warna Sensor <i>Edible</i>	40
Tabel 4.8 Nilai Panjang Gelombang Maksimum Spektra Ekstrak pada Berbagai pH	42
Tabel 4.9 Nilai Panjang Gelombang Maksimum Spektra Reflektansi pada Berbagai pH	45
Tabel 4.10 Hasil Uji Reprodusibilitas pada pH 1, 6, dan 14.....	49
Tabel 4.11 Hasil Uji Reversibilitas Sensor	50
Tabel 4.12 Rentang pH Sensor <i>Edible</i>	58
Tabel 4.13 Aplikasi Sensor <i>Edible</i> pada Minuman.....	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Model Fungsi Kemasan.....	6
Gambar 2.2 Kubis Merah (<i>Brassica oleracea var. capitata L</i>)	8
Gambar 2.3 Struktur Kimia Senyawa Antosianin.....	10
Gambar 2.4 Klasifikasi Antosianin	11
Gambar 2.5 Reaksi Antosianin	13
Gambar 2.6 Skema Sensor Kimia	16
Gambar 2.7 Kertas Lakmus (a) dan Indikator pH universal (b)	17
Gambar 2.8 Berbagai metode immobilisasi dari reagen	19
Gambar 2.9 Gambaran Struktur PVA	22
Gambar 2.10 Program <i>ImageJ</i>	23
Gambar 2.11 Cara Perhitungan Nilai RGB dengan Program <i>ImageJ</i>	23
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Desain Sensor <i>Edible</i> untuk Aplikasi pada Sampel Minuman.....	31
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Nilai <i>mean Blue</i> dengan Waktu Imobilisasi.....	37
Gambar 4.2 Membran Selulosa Bakterial	39
Gambar 4.3 Hubungan Perubahan pH dengan Nilai <i>mean Blue</i>	41
Gambar 4.4 Hasil Spektra Ekstrak pada Berbagai pH	42
Gambar 4.5 Kurva Kalibrasi Spektra Ekstrak pada pH Asam	43
Gambar 4.6 Kurva Kalibrasi Spektra Ekstrak pada pH Basa.....	44
Gambar 4.7 Hasil Spektra Reflektansi Sensor <i>Edible</i>	45
Gambar 4.8 Kurva Kalibrasi Spektra Sensor pada pH Asam	46
Gambar 4.9 Kurva Kalibrasi Spektra Sensor pada pH Basa.....	46
Gambar 4.10 Waktu Respon Sensor <i>Edible</i> (a) pH 1 (b) pH 6 (c) pH 14.....	48
Gambar 4.11 Waktu Pakai Suhu Ruang (a) pH 1 (b) pH 6 (c) pH 14	52
Gambar 4.12 % Kenaikan Nilai <i>Mean Blue</i> Suhu Ruang (a) pH 1 (b) pH 6 (c) pH 4	53
Gambar 4.13 Grafik Waktu Pakai Suhu <i>Chiller</i> (a) pH 1 (b) pH 6 (c) pH 14	55

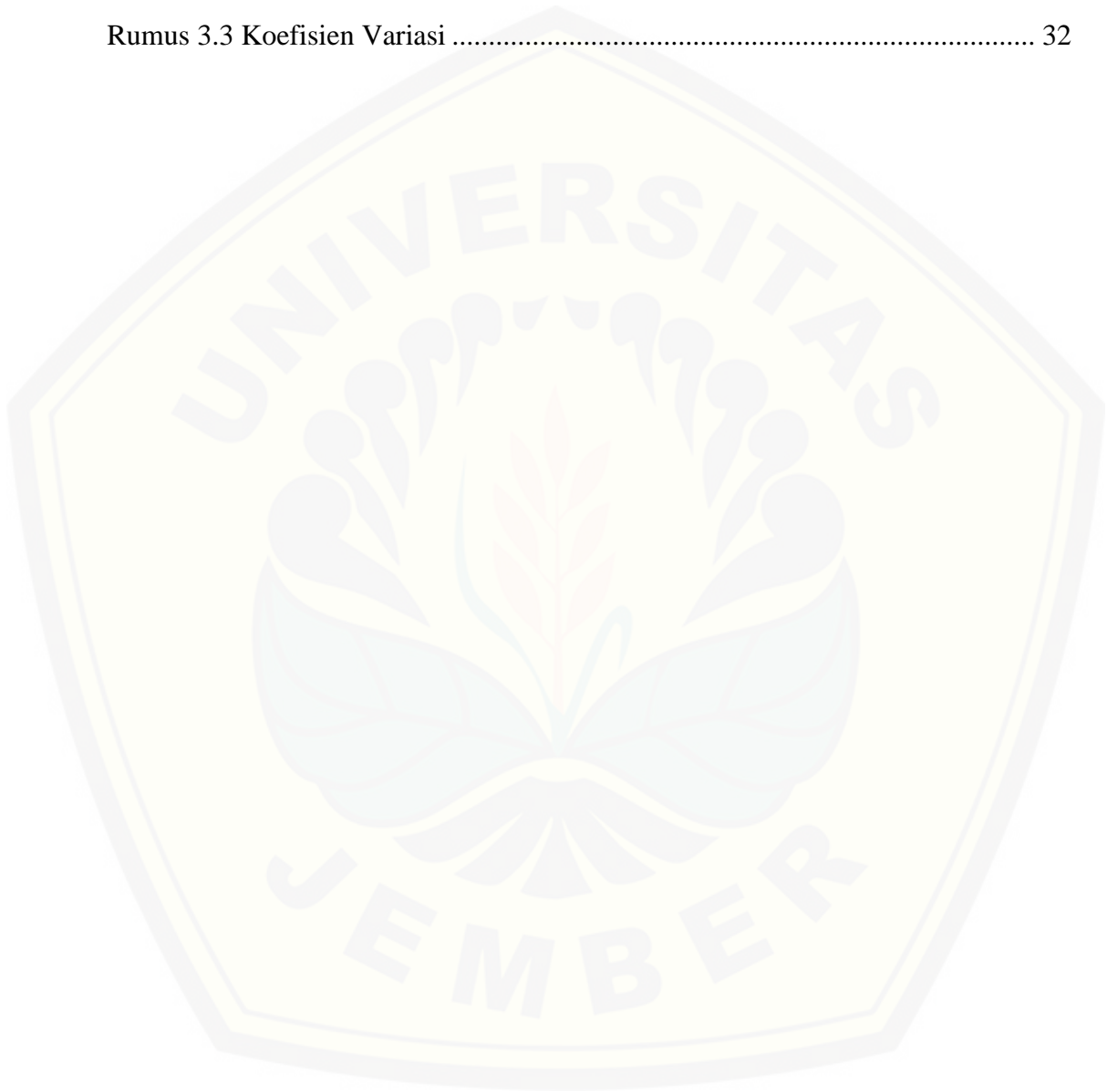
Gambar 4.14 % Kenaikan *Mean Blue* Suhu *Chiller* (a) pH 1 (b) pH 6
(c) pH 14 56

Gambar 4.15 Desain Kemasan Sensor *Edible*..... 60



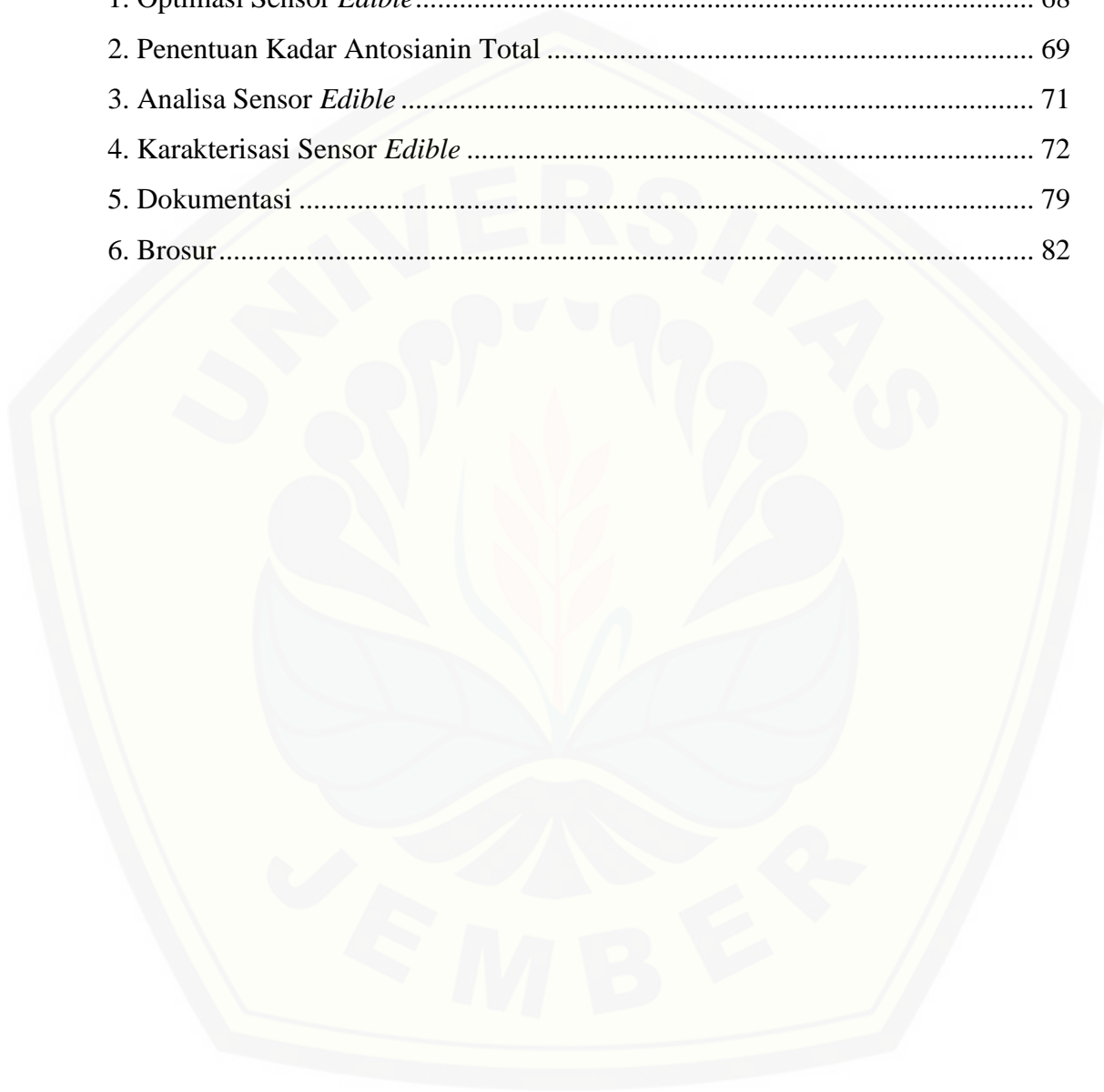
DAFTAR RUMUS

	Halaman
Rumus 3.1 Penentuan Konsentrasi Antosianin Total.....	28
Rumus 3.2 Standar Deviasi.....	32
Rumus 3.3 Koefisien Variasi	32



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Optimasi Sensor <i>Edible</i>	68
2. Penentuan Kadar Antosianin Total	69
3. Analisa Sensor <i>Edible</i>	71
4. Karakterisasi Sensor <i>Edible</i>	72
5. Dokumentasi	79
6. Brosur.....	82



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banyaknya permintaan akan makanan berkualitas tinggi, aman dan segar, telah mengakibatkan pengembangan desain dan pendekatan kreatif dalam teknologi kemasan. Kemasan makanan cerdas mengandung komponen yang memungkinkan pemantauan kondisi makanan kemasan atau lingkungan sekitarnya. Teknologi ini memberikan keuntungan pada pengguna yaitu kemampuan untuk memantau dan mencatat parameter penting untuk kualitas makanan seperti perubahan dalam makanan, kondisi lingkungan, dan integritas kemasannya. Baru-baru ini, aktivitas produksi dan inovasi telah berangsur-angsur berkembang menuju pengembangan indikator pH visual, contohnya adalah indikator pH untuk menentukan kesegaran makanan. Keuntungannya antara lain harga yang murah, ukuran kecil, aman, sensitivitas yang tinggi, cepat, tidak invasif dan tidak merusak (Pourjavaher dkk., 2017).

Sensor pH visual terdiri dari dua bagian penting yaitu bahan padat dan senyawa warna yang sensitif terhadap perubahan pH (Pourjavaher dkk., 2017). Beberapa reagen kimia sintetik seperti bromokresol ungu, bromokresol hijau, klorofenol merah, dan kresol merah telah diketahui sebagai pewarna yang sensitif terhadap pH. Dalam aplikasi makanan, senyawa kimia sintetik sulit digunakan karena kemungkinan toksisitas yang tinggi dan dapat membahayakan kesehatan manusia (Zhang dkk., 2014). Kemungkinan toksisitas tinggi pada senyawa kimia sintetik mengakibatkan minat konsumen pada pewarna alami meningkat secara signifikan karena toksisitasnya yang rendah dan ramah lingkungan, sehingga indikator dari bahan alami dapat dikembangkan. Beberapa penelitian telah mengembangkan penggunaan indikator yang diambil dari buah dan sayuran yang digunakan dalam penentuan pH kolorimetrik (Giusti dan Wrolstad, 1996; Chandrasekhar dkk., 2012; Aniceto dkk., 2014; Gustriani dkk., 2016). Contoh pewarna alami diantaranya yaitu betalain, karotenoid, dan antosianin. Senyawa

tersebut telah dievaluasi dalam berbagai sistem makanan dan memiliki stabilitas yang relatif baik (Chandrasekhar dkk., 2012).

Antosianin adalah senyawa yang diperoleh dari tumbuhan yang merupakan kelompok senyawa fenolat yang berperan atas warna merah, ungu dan biru dari buah, bunga, dan daun. Kandungan antosianin secara universal dikaitkan dengan buah berwarna-warni yang menarik di seluruh dunia, seperti anggur, stroberi, raspberi, buah delima, mangga, kubis merah dan ubi jalar. Antosianin adalah pigmen alami, tidak beracun, mudah larut air dan mudah diekstrak. Perubahan warna pada pigmen ini disebabkan oleh adanya senyawa fenolatik atau terkonjugasi seperti sianidin, delphinidin, pelargonidin, peonidin dan petunidin yang mengalami perubahan struktural bila ada variasi pH (Pourjavaher dkk., 2017).

Kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) adalah salah satu sumber antosianin untuk pewarnaan makanan yang menunjukkan warna pada kisaran pH yang sangat luas. Kubis merah banyak keberadaannya dan harganya relatif murah dibandingkan dengan bahan lainnya. Warna antosianin yang diekstraksi dari kubis merah bervariasi dari merah pada pH rendah sampai biru dan hijau sampai kuning pada pH tinggi. Penggunaan antosianin dari kubis merah tidak terbatas pada bahan makanan asam tetapi dapat diperluas ke produk netral. Perubahan warna yang luas ini membuat kubis merah menarik untuk diterapkan sebagai indikator pH alami (J.E. Cacace, 2003). Antosianin dari kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) juga memiliki sifat yang lebih disukai seperti kelarutan air yang baik, stabilitas yang baik terhadap fotodegradasi dan ketahanan warna yang sangat baik pada suhu yang lebih tinggi (Devarayan dan Kim, 2015). Beberapa penelitian telah mengembangkan kemasan cerdas dari indikator antosianin yang diperoleh dari kubis merah (Dwijayanti, 2013; Gustriani dkk., 2016; Pourjavaher dkk., 2017).

Kemasan cerdas adalah konsep yang telah dikembangkan untuk mendeteksi, merasakan, merekam, dan memantau kondisi produk dalam kemasan. Kemasan cerdas memberikan respon terhadap perubahan kondisi eksternal/internal produk dan dapat memberikan informasi kepada pelanggan atau pengguna akhir terkait status produk (Kuswandi dkk., 2011). Dalam penelitian ini, sensor kimia yang digunakan dan dikembangkan adalah indikator pH. Karakteristik dasar dari

indikator pH adalah perubahan warna yang dapat dengan mudah diamati ketika ditempatkan di lingkungan asam, basa, atau netral (Kuswandi, 2010). Penelitian ini menggunakan film yang terbuat dari selulosa bakterial dan dirancang sebagai “*edible film*” (film yang dapat dimakan). Film yang dapat dimakan memiliki peluang besar sebagai alternatif untuk kemasan cerdas dan ramah lingkungan untuk mendeteksi kerusakan makanan. Keuntungan utama dari penerapan film bioindikator adalah dengan mudah memantau tingkat kerusakan produk makanan kemasan dan ramah lingkungan (Wardana dan Widyaningsih, 2017). Salah satu bahan yang seringkali digunakan dalam penelitian sebagai film yang memiliki sifat ramah lingkungan serta mudah didapat adalah selulosa bakterial (Dini dkk., 2013; Devarayan dan Kim, 2015; Pourjavaher dkk., 2017).

Selulosa bakterial dihasilkan oleh berbagai spesies bakteri Genus *Gluconacetobacter* (*Acetobacter*), *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Azotobacter*, *Sarcina* dan *Salmonella* (Suharjono dkk., 2009). Selulosa bakterial diproduksi sebagai membran yang sangat terhidrasi (sampai 97% air dalam massa) dan telah menarik perhatian besar karena kemurniannya yang tinggi, struktur jaringan dan pori halus, area permukaan spesifik dengan banyak gugus hidroksil dan kekuatan mekanis yang sangat baik (Shah dkk., 2013). Selulosa bakterial menunjukkan karakteristik unik seperti ukuran pori yang kecil, porositas tinggi, luas permukaan spesifik dan daya serap tinggi yang membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam sensor *chromic* (warna) (Devarayan dan Kim, 2015). Ada beberapa penelitian penggunaan selulosa bakterial sebagai bahan bio-packaging (Shah dkk., 2013; Devarayan dan Kim, 2015; Pourjavaher dkk., 2017; Wasito dkk., 2017). Serat nano selulosa bakterial membentuk struktur berpori interkonektif dengan ukuran pori dalam kisaran 120-160 nm. Jaringan berpori semacam itu memungkinkan molekul menyebar ke seluruh ruang dalam dengan mudah (Shahmohammadi Jebel dan Almasi, 2016). Produsen selulosa yang paling efektif adalah dari Genus *Gluconacetobacter* (*Acetobacter*), karena tidak menyebabkan penyakit dan aman bila dikonsumsi manusia (Suharjono dkk., 2009).

Berdasarkan uraian tersebut, maka dapat dikembangkan sensor pH yang universal, ramah lingkungan, dan aman dengan menggunakan film yang dapat

dimakan. Sebelumnya telah dilaporkan penelitian yang mengembangkan sensor pH kalorimetrik dengan indikator kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) dengan membran *nata de coco*, tetapi kekurangan dari penelitian tersebut adalah sensor yang digunakan tidak bersifat *edible* (Pourjavaher dkk., 2017). Penelitian ini dirancang sedemikian rupa sehingga memiliki kelebihan yaitu baik ekstrak pewarna kubis merah dan matriks pendukung serat nano berasal dari alam. Ekstrak kubis merah diimobilisasikan ke selulosa bakterial serat nano melalui metode adsorpsi, kemudian diaplikasikan pada rentang pH yang berbeda sehingga dapat digunakan untuk memantau kualitas makanan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana fabrikasi dan berapakah nilai parameter optimum (konsentrasi bahan pengikat, waktu imobilisasi, dan ketebalan membran) sensor *edible* berbasis indikator kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) dengan membran selulosa bakterial (*Nata de coco*)?
2. Bagaimana karakterisasi sensor *edible* yang meliputi rentang pH, reproduisibilitas, reversibilitas, waktu respon, dan waktu pakai?
3. Apakah sensor *edible* tersebut dapat digunakan untuk penentuan pH pada minuman?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana fabrikasi dan berapa nilai parameter optimum (konsentrasi bahan pengikat, waktu imobilisasi, dan ketebalan membran) sensor *edible* berbasis indikator kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) dengan membran selulosa bakterial (*Nata de coco*).

2. Mengetahui bagaimana karakterisasi sensor *edible* yang meliputi rentang pH, reproduibilitas, reversibilitas, waktu respon, dan waktu pakai.
3. Mengetahui apakah sensor *edible* tersebut dapat digunakan untuk penentuan pH pada minuman.

1.4 Manfaat Penelitian

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kemasan Pintar

Kemasan pintar merupakan kemasan yang memiliki indikator baik yang diletakkan secara internal maupun secara eksternal, yang mampu memberikan informasi tentang keadaan kemasan dan atau kualitas makanan di dalamnya (Robertson, 2006). Menurut Ahvenainen (2003), kemasan pintar atau cerdas didefinisikan sebagai kemasan yang mampu memantau kondisi makanan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi mengenai kualitas makanan dalam kemasan sewaktu transportasi dan penyimpanan. Pemantauan kondisi makanan dilakukan dengan menggunakan indikator yang dibedakan menjadi dua yaitu indikator eksternal dan indikator internal. Indikator eksternal adalah indikator yang diletakkan di luar kemasan produk sementara indikator internal adalah indikator yang ditempatkan di dalam kemasan produk yang dapat diletakkan pada penutup kemasan. Contoh indikator eksternal yaitu indikator waktu, indikator suhu dan indikator pertumbuhan mikroba. Sementara contoh indikator internal adalah indikator pH, indikator oksigen, indikator karbon dioksida, indikator patogen dan indikator pertumbuhan mikroba.



Gambar 2.1 Model Fungsi Kemasan (Yam dkk., 2005)

Gambar 2.1 menunjukkan fungsi dari kemasan pintar sebagai peningkat komunikasi dari produk dan kemasan aktif sebagai peningkat perlindungan dari produk. Keduanya memiliki peran yang berbeda. Sebagai kemasan pintar, komponen ini bertanggungjawab terhadap pemantauan produk yang kemudian diolah menjadi informasi yang akan disampaikan kepada pengguna, sedangkan kemasan aktif berfungsi sebagai komponen yang bertanggungjawab terhadap perlindungan suatu produk (Yam dkk., 2005).

2.2 Kubis Merah

Kubis (*Brassica oleracea*) adalah salah satu sayuran yang populer di Indonesia yang biasa disebut “kol”. Kubis merupakan tumbuhan berbatang lunak yang dikenal sejak zaman purbakala (2500-2000 SM). Tumbuhan ini berasal dari Eropa Selatan dan Eropa Barat. Nama ‘kubis’ diambil dari bahasa Inggris ‘*cabbage*’ yang juga berasal dari bahasa Normandia ‘*caboché*’. Nama ‘kol’ diambil dari bahasa Belanda “*kool*”. Warna sayuran ini umumnya adalah hijau pucat sehingga disebut *forma alba* (putih). Terdapat pula kubis dengan warna hijau (*forma firidis*) dan ungu (*forma rubra*) (Rukmana, 1994).

Berikut adalah klasifikasi kubis merah menurut Pracaya (2003)

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Brassicales
Family	: Cruciferae (Brassicaceae)
Genus	: Brassica
Spesies	: <i>Brassica oleracea var. capitata L. forma rubra L.</i>

Kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) merupakan salah satu sayuran yang banyak terdapat di Indonesia. Kubis merah memiliki banyak manfaat karena memiliki banyak kandungan antara lain vitamin (A, B, C, dan E), mineral (kalium, kalsium, fosfor, natrium, dan besi), serta mengandung senyawa antosianin

yang mampu mengubah warna kubis menjadi merah (Lukitasari dkk., 2017). Tanaman kubis merah ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kubis Merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) (Kannan, 2011)

Kubis merah mengandung setidaknya tiga puluh enam dari 300 macam antosianin yang berperan dalam berbagai warna merah dan biru pada tanaman (Charron dkk., 2007). Senyawa warna dari kubis merah diperoleh dengan cara ekstraksi sehingga diperoleh ekstrak kubis merah yang berwarna merah keunguan. Ekstrak kubis merah ini dapat digunakan sebagai indikator alami titrasi asam basa karena kemampuannya berubah warna pada berbagai perubahan pH. Warna antosianin dari kubis merah bervariasi dari merah pada pH rendah ke biru dan hijau pada pH tinggi. Selain menggunakan bahan kimia, indikator asam basa dapat dibuat menggunakan bahan alam dari lingkungan sekitar. Prinsip indikator asam basa adalah bahan yang memberikan warna berbeda pada lingkungan asam dan basa. Pada umumnya, bahan dengan warna yang mencolok memberi warna yang berbeda pada suasana asam sampai basa (Marwati, 2012). Antosianin dari kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) memiliki sifat yang lebih disukai seperti kelarutan air yang baik, stabilitas yang baik terhadap fotodegradasi dan ketahanan warna yang sangat baik pada suhu yang lebih tinggi (Chandrasekhar dkk., 2012).

2.3 Antosianin

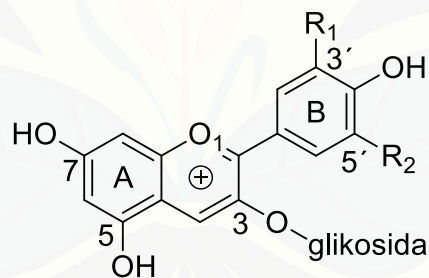
Antosianin adalah golongan yang menonjol dari kelompok senyawa flavonoid. Antosianin berasal dari bahasa Yunani *anthos* yang artinya bunga dan *kyanos* yang artinya biru tua. Pigmen ini merupakan pigmen alami yang memberikan warna biru, ungu, violet, magenta, merah dan oranye pada mayoritas spesies tanaman dan banyak ditemukan pada bagian bunga, daun, batang, buah, biji, dan jaringan akar tumbuhan (Kannan, 2011). Antosianin termasuk ke dalam kelompok molekul yang disebut flavonoid (Santoso dan Wahyu, 2008). Antosianin terdapat pada beberapa tumbuhan berwarna-warni di seluruh dunia seperti anggur, stroberi, framboos, buah delima, mangga, kubis merah dan ubi jalar (Chandrasekhar dkk., 2012). Senyawa yang penggunaannya paling dominan untuk indikator titrasi asam basa adalah antosianin karena senyawa tersebut paling banyak diperoleh dari tumbuhan berwarna. (Marwati, 2012).

Antosianin dapat membentuk senyawa-senyawa turunannya yaitu antosianidin, sianidin, pelargonidin, petunidin, malvidin dan delphinidin. Antosianidin merupakan senyawa flavonoid yang secara struktur termasuk kelompok flavon. Glikosida antosianidin dikenal sebagai antosianin (Marwati, 2012). Antosianidin merupakan aglikon antosianin yang terbentuk apabila antosianin dihidrolisis dengan asam. Antosianidin paling umum adalah sianidin yang warnanya merah, pelargonidin yang warnanya jingga, delphinidin (gugus hidroksilnya lebih satu dari sianidin) yang warnanya merah senduduk, lembayung dan biru. Tiga jenis antosianidin juga sangat umum yaitu peonidin yang merupakan turunan sianidin, serta petunidin dan malvidin yang terbentuk dari delphinidin (Gustriani dkk., 2016).

Antosianin tersebar luas pada tanaman tingkat tinggi, kecuali untuk 9 famili *Caryophyllales* yaitu *Aizoaceae*, *Amaranthaceae*, *Basellaceae*, *Cactaceae*, *Chenopodiaceae*, *Didiereaceae*, *Nyctaginaceae*, *Phytolaccaceae*, dan *Portulacaceae* kecuali *Caryophyllaceae* dan *Molluginaceae*. Famili-famili tersebut mensintesis pigmen betalain (Kannan, 2011).

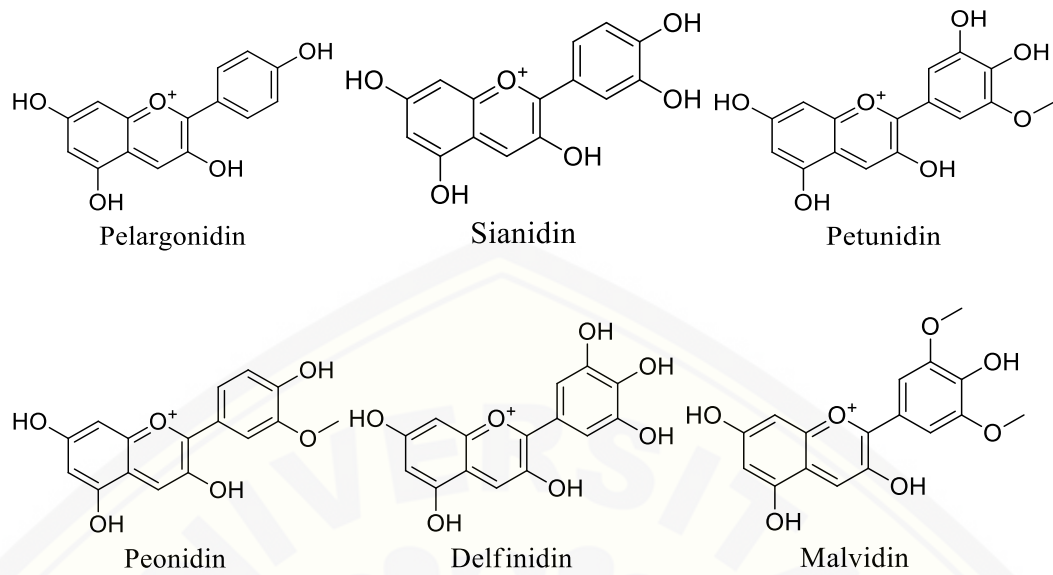
2.3.1 Struktur Antosianin

Antosianin terdiri atas aglikon atau antosianidin yang terikat pada satu atau lebih gugus gula (turunan glikosilasi dari kation 3, 5, 7, 3'-tetrahidroksi- flavylium). Gula pada posisi-3 selalu ada dan terdapat tambahan gula pada posisi-5 dan 7. Antosianidin bebas terkadang terbentuk pada tumbuhan akibat kekurangan elektron dari kation flavylium sehingga antosianidin bebas sangat reaktif dan dengan demikian, molekulnya menjadi sangat tidak stabil. Struktur glikosidik lebih stabil daripada antosianidin karena gula menstabilkan molekul antosianin. Gugus gula dapat berupa unit mono atau disakarida atau terasilasi dengan asam fenolatik atau alifatik, tetapi molekul gula pada umumnya adalah glukosa, rhamnosa, galaktosa atau arabinosa. Modifikasi glikosida ini dapat terjadi melalui asilasi dan kompleksasi dengan flavonoid non-sianoat dan ion logam. Adanya perbedaan pH dalam sel, kemungkinan kopigmentasi dan kompleks ionik menyebabkan warna yang bervariasi (Kannan, 2011). Struktur kimia dari senyawa antosianin ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur Kimia Senyawa Antosianin (Lee dkk., 2005).

Terdapat 539 antosianin yang diisolasi dari tumbuhan dan semua variasi ini didasarkan pada jumlah flavonoid fundamental (dasar) yang terbatas. Gambar 2.4 menggambarkan struktur kimia dari beberapa jenis antosianin. Antosianidin yang umumnya terdapat pada bahan makanan adalah sianidin (30%), delphinidin (22%), pelargonidin (18%), peonidin (7,5%), malvidin (7,5%) dan petunidin (5%) (Kannan, 2011).



Gambar 2.4 Klasifikasi Antosianin (Kannan, 2011)

2.3.2 Sumber Antosianin

Sumber alami dari antosianin adalah buah yang berwarna, sayuran, rempah-rempah dan kacang. Contoh tumbuhan yang menghasilkan antosianin antara lain anggur, plum, persik, delima, bawang merah, kubis merah, jagung ungu, ubi jalar ungu, kacang hitam, pistachio dan kurma. Konsentrasi dan jenis antosianin yang ada dalam setiap buah dan sayuran sangat bervariasi. Contohnya, stroberi atau buah framboos mengandung turunan sianidin dan pelargonidin, kubis merah mengandung turunan sianidin, sedangkan anggur dan beri biru memiliki hampir semua turunan antosianidin. Tabel 2.1 menunjukkan sumber beserta kandungan antosianin pada berbagai buah-buahan dan sayuran berwarna serta buah-buahan yang diproses menjadi makanan dan minuman.

Tabel 2.1 Sumber dan Kandungan Senyawa Antosianin (Kannan, 2011)

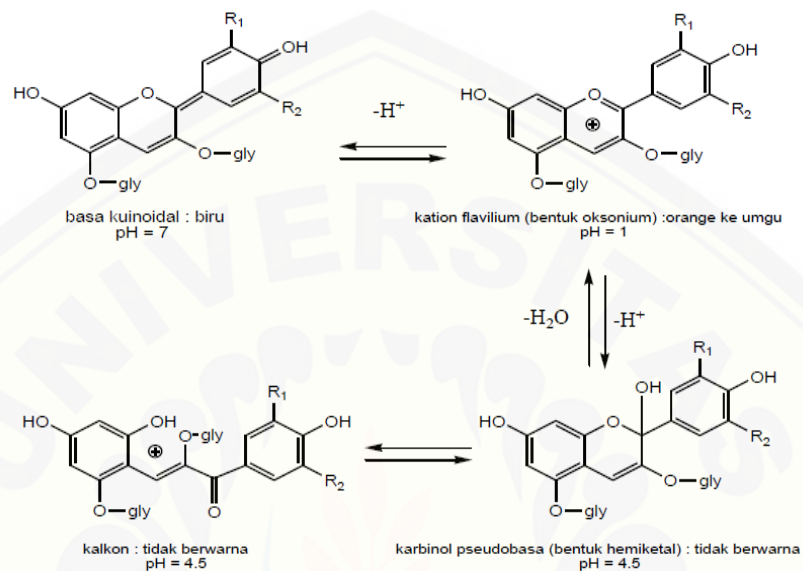
Bahan Makanan	Kandungan (mg/liter atau mg/kg)	Bahan Makanan	Kandungan (mg/liter atau mg/kg)
Beri Hitam	1.150	Plum	20 – 250
Beri Biru	825 – 4.200	Buah Frambos (hitam)	1.700 – 4.277
Boysenberi	1.609	Buah Frambos (merah)	100 – 600
Ceri	20 – 4.500	Buah Frambos merah (jus)	4 – 1.101
Beri Aronia	5.060 – 10.000	Sloe	1.600
Kranberi	600 – 2.000	Stroberi	150 – 350
Lingonberi	1.000	Kubis merah	250
Anggur hitam	1.300 – 4000	Terung	7.500
Elderberi	2.000 – 10.000	Bawang merah	Hingga 250
Anggur merah	300 – 7.500	Kelembak	Hingga 2.000
Loganberi	774	Minuman anggur merah	240 – 350
Jus jeruk	2.000	Minuman anggur (port)	140 – 1.100

2.3.3 Sifat dan Reaksi Antosianin

Antosianin mempunyai sifat larut dalam air membentuk senyawa warna yaitu warna merah dalam suasana asam dan warna biru dalam suasana basa (Marwati, 2012). Antosianin adalah senyawa yang dapat menyerap dan memantulkan cahaya. Antosianin menyerap dan memantulkan berbagai cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda, sebagai akibatnya menyebabkan penampakan warna yang berbeda-beda pula. (Santoso dan Wahyu, 2008).

Kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) dapat digunakan sebagai sensor pH didasarkan pada perubahan warnanya pada berbagai pH. Perubahan warna yang terjadi adalah merah sampai merah muda pada suasana asam, warna ungu pada suasana netral dan pada suasana basa perubahan ditunjukkan dari warna biru, hijau sampai kuning. Perubahan ini sesuai dengan perubahan warna antosianin pada berbagai pH (Gustriani dkk., 2016). Sebagai contoh warna ekstrak kubis merah adalah merah pada pH 1, warna biru kemerahan pada pH 4, warna ungu pada pH 6, warna biru pada pH 8, warna hijau pada pH 12 dan warna kuning pada pH 13. Perubahan warna ini sesuai dengan perubahan warna pada antosianin pada setiap perubahan pH (Dwijayanti, 2013). Sifat lain antosianin yang menguntungkan

adalah kelarutan yang baik, stabilitas terhadap fotodegradasi dan ketahanan warna yang sangat baik pada suhu yang lebih tinggi (Devarayan dan Kim, 2015).



Gambar 2.5 Reaksi Antosianin

2.4 Selulosa Bakterial Sebagai Membran Sensor

2.4.1 Membran

Membran adalah media reaksi antara reagen dan sampel dalam pembuatan suatu sensor. Membran didefinisikan sebagai lapisan tipis (film) yang selektif diantara dua fasa dan bersifat semipermeabel dalam bentuk padatan atau cairan (Dini dkk., 2013). Teknologi membran berkembang pesat baik dalam skala laboratorium maupun skala komersial. Hal ini disebabkan karena membran memiliki banyak kelebihan yang tidak dimiliki oleh proses pemisahan konvensional lainnya. Keunggulan tersebut diantaranya adalah mudah dibuat, sederhana, dan ramah lingkungan. Terdapat beberapa parameter yang penting dalam menentukan kualitas membran diantaranya yaitu mempunyai selektivitas yang tinggi,

permeabilitas yang tinggi, mempunyai kestabilan mekanik, tahan terhadap senyawa kimia yang akan dipisahkan, dan stabil pada suhu tinggi (Widyaningsih dan Diastuti, 2008).

2.4.2 Selulosa Bakterial

Selulosa bakterial dihasilkan oleh berbagai spesies bakteri Genus *Gluconacetobacter* (*Acetobacter*), *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Azotobacter*, *Sarcina* dan *Salmonella*. Selulosa bakterial memiliki struktur molekul yang sama dengan selulosa tanaman yaitu $(C_6H_{10}O_5)_n$, tetapi sifat fisikokimiawinya berbeda. Secara kimiawi selulosa bakterial memiliki kemurnian yang tinggi karena bebas dari lignin, pektin, dan hemiselulosa, memiliki derajat kristalinitas polimer dan derajat polimerisasi yang lebih tinggi serta kekuatan mekanik dan kapasitas menyimpan air juga lebih tinggi dibandingkan serat selulosa tanaman. Selain itu selulosa bakterial mempunyai kerapatan antara 300 dan 900 kg/m³. Aplikasi membran selulosa bakterial telah diterapkan di berbagai bidang seperti elektronik, industri kertas, kemasan, dan biosensor. Produsen selulosa yang paling efektif adalah dari Genus *Gluconacetobacter* (*Acetobacter*). Bakteri *Gluconacetobacter xylinus*/*Acetobacter xylinum* adalah bakteri asam asetat yang tidak menyebabkan penyakit dan aman bila dikonsumsi manusia. Contoh selulosa bakterial yang dihasilkan oleh bakteri *Acetobacter xylinum* adalah *nata de coco* (Suharjono dkk., 2009).

2.4.3 Nata De Coco

Nata de coco merupakan hasil proses fermentasi air kelapa menggunakan bakteri *Acetobacter xylinum*. Bakteri tersebut mampu menyusun glukosa alami yang terkandung di dalam air kelapa atau sengaja ditumbuhkan ke dalamnya kemudian menjadi suatu lapisan menyerupai gel yang terdapat di permukaan medium. Kandungan utama *nata de coco* adalah selulosa. Selulosa ini murni bebas dari lignin, mempunyai derajat kristalinitas dan derajat polimerisasi yang tinggi.

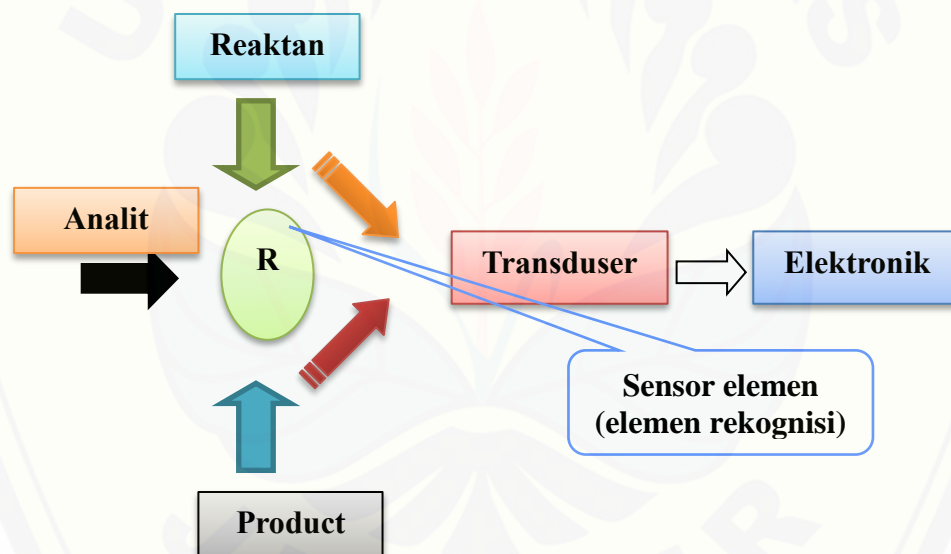
Selulosa hasil fermentasi tersebut dapat digunakan sebagai membran. Membran ini memiliki beberapa keunggulan yaitu kemurnian tinggi, derajat kristalinitas tinggi, mempunyai kerapatan antara 300 – 900 kg/m³, kekuatan tarik tinggi, elastis, dan terbiodegradasi (Widyaningsih dan Diastuti, 2008).

2.5 Sensor

Sensor adalah alat atau piranti yang mampu mentransform (mengubah) suatu energi ke energi yang lain (Kuswandi, 2010). Sensor digunakan untuk mendeteksi, mencari, atau mengukur energi atau materi dengan memberikan sinyal untuk mendeteksi atau mengukur properti fisik atau kimia yang direspon oleh perangkat. Sensor dianggap sebagai teknologi yang paling menjanjikan dan inovatif untuk sistem pengemasan cerdas masa depan. Sebagian besar sensor terdiri dari empat komponen utama yaitu reseptor, elemen transduksi, elektronik pemrosesan sinyal, dan unit display sinyal. Yang pertama adalah reseptor, yaitu bagian penginderaan sensor yang terdiri atas area sampling (umumnya lapisan kemo-selektif) di mana reaksi kimia pertama terjadi. Pada bagian ini, informasi analitis diperoleh dari adsorpsi analit target pada lapisan permukaan. Variasi energi diperoleh dengan mendeteksi analit sehingga menginduksi perubahan properti dari reseptor dalam berbagai hal, misalnya potensial redoks, pH, suhu, atau cahaya. Yang kedua adalah elemen transduksi, yaitu bagian pengukur sensor (misalnya elektroda) yang mampu mengubah variasi energi dan membawa informasi fisik atau kimia menjadi sinyal analitik yang bermanfaat (misalnya listrik, optik, termal, atau kimia). Berikutnya adalah elektronik pemrosesan sinyal, dan unit display sinyal. Agar memenuhi syarat sebagai sensor, perangkat harus dapat memberikan keluaran sinyal secara terus menerus (Ghaani dkk., 2016).

2.5.1 Definisi Sensor Kimia

Sensor kimia merupakan alat yang dapat mendeteksi analit tertentu dengan sebuah reaksi kimia sehingga analit tersebut dapat diterjemahkan secara kualitatif atau kuantitatif. Gambar 2.6 menggambarkan struktur sensor kimia secara skematis. Melalui gambar tersebut dapat diketahui bahwa sensor kimia merupakan alat analisa (*analytical device*) yang berisi reagen kimia (*chemical material/reagent*) yang mampu bereaksi dengan analit tertentu dalam larutan atau gas sehingga menghasilkan perubahan fisika-kimiawi yang dapat dirubah (*physicochemical transducer*) menjadi sinyal elektrik proporsional dengan konsentrasi dari analit tersebut (Kuswandi, 2010).



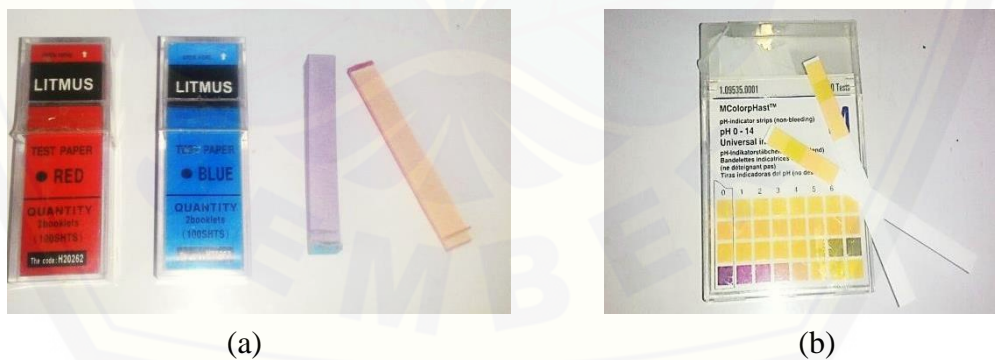
Gambar 2.6 Skema Sensor Kimia (Kuswandi, 2010).

Sensor kimia yang ideal adalah sensor yang mampu berinteraksi dengan analit secara *reversibel*, sehingga sinyal sensor dapat dikontrol dengan mudah baik secara kinetik maupun termodinamik (Kuswandi, 2010). Sensor yang ideal harus memiliki beberapa karakteristik yaitu, spesifisitas target (selektivitas), sensitivitas (kepekaan) terhadap perubahan konsentrasi target, waktu respon yang cepat, umur yang cukup panjang setidaknya beberapa bulan, ukuran kecil (miniaturisasi) dengan

biaya yang relatif murah (Ghaani dkk., 2016). Sensor dapat diaplikasikan sebagai penentu variabel primer terukur yaitu variabel fisika, kimia, atau biologi menggunakan konsep penanda (Kerry dkk., 2006).

2.5.2 Sensor pH

Sensor pH merupakan salah satu jenis dari sensor kimia. Sensor pH merupakan suatu piranti atau elemen yang dapat mengubah suatu energi menjadi energi yang lain, yaitu dapat memberikan respon atau mendeteksi derajat asam-basa dari suatu larutan. Respon tersebut bisa terdapat dalam bentuk kimiawi maupun elektrik yang selanjutnya diubah menjadi suatu sinyal yang bisa diamati, oleh mata kita. Beberapa contoh sensor pH yang dapat dilihat dengan mudah oleh mata kita adalah kertas lakmus dan indikator pH yang terdapat pada gambar 2.7. Pada contoh sensor yang lain yaitu pH meter, respon elektrik yang berupa tegangan/ voltase harus dirubah menjadi respon yang mudah diamati yaitu berupa displai digital. Pada indikator pH, elemen sensor yang memberikan respon terhadap senyawa yang diukur adalah suatu reagen kimia. Reagen yang berfungsi sebagai indikator pH misalnya fenolat merah, metil merah, timol biru, dan sebagainya (Kuswandi, 2010).



Gambar 2.7 Kertas Lakmus (a) dan Indikator pH universal (b)

2.5.3 Karakterisasi Sensor

Karakterisasi sensor pada kemasan pintar digunakan untuk mengetahui kemampuan membran dan reagen untuk mendeteksi analit. Contoh karakterisasi

antara lain reproduisibilitas, reversibilitas, waktu respon, dan waktu pakai. Reprodusibilitas merupakan hasil keberulangan dari suatu pengukuran yang dilakukan satu laboratorium dengan sampel dan metode analisis yang sama; analisis, peralatan, dan waktu yang sama atau berbeda; atau hasil keberulangan dari suatu pengukuran yang dilakukan oleh personil dan laboratorium yang berbeda (Rodiana dan Maulana, 2013). Reversibilitas merupakan kemampuan suatu pengukuran untuk kembali seperti semula. Waktu respon merupakan seberapa cepat tanggapan sensor terhadap perubahan masukan (Anas dkk., 2014).

2.6 Imobilisasi Reagen

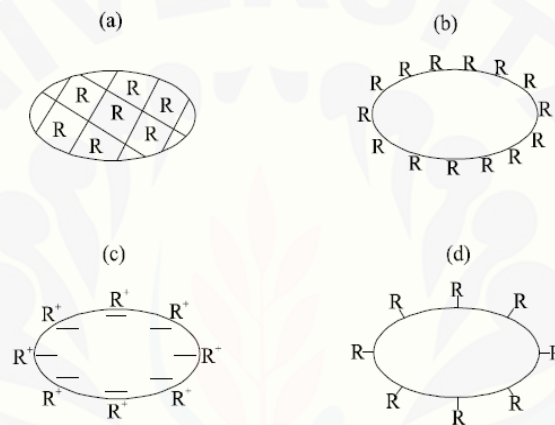
Imobilisasi reagen adalah proses pengikatan molekul reagen pada fasa padat atau bahan pendukung secara merata dan homogen, yang memungkinkan terjadinya pertukaran dengan larutan sampel dimana terdapat analit untuk dideteksi. Terdapat lima teknik immobilisasi yang dikembangkan dalam sensor kimia yaitu adsorpsi, entrapmen, mikroenkapsulasi, *crosslinking*, dan ikatan kovalen (Kuswandi, 2010).

Metode immobilisasi reagen digolongkan menjadi dua, yaitu metode fisika dan metode kimia. Metode immobilisasi secara fisika terdiri dari proses adsorpsi (penyerapan), entrapmen (pemerangkapan), enkapsulasi (pengkapsulan), dan interaksi elektrostatik. Sedangkan metode immobilisasi secara kimia meliputi *crosslinking* dan pembentukan ikatan kovalen (Kuswandi, 2010) . Gambar 2.8 menunjukkan berbagai metode immobilisasi.

Beberapa faktor yang harus diperhatikan agar immobilisasi dapat berhasil adalah sebagai berikut:

- (a) Material pendukung (*solid support material*) harus hanya berinteraksi dengan gugus tertentu dari reagen tersebut, yang bukan gugus aktif yang diperlukan untuk mengikat analit.
- (b) Material tersebut cukup berpori untuk memfasilitasi terjadinya difusi analit ke dalam fasa reagen.
- (c) Reagen tersebut cukup stabil dalam kondisi (biasanya suhu dan pH) yang dibutuhkan selama proses immobilisasi berlangsung.

- (d) Proses pencucian yang digunakan untuk menghilangkan reagen yang tidak terikat dengan baik harus tidak berpengaruh pada reagen yang telah diimmobilisasi.
- (e) Material pendukung tersebut harus tidak larut dalam air, stabil dan dapat mengikat reagen dengan cukup kuat pada permukaannya
- (f) Karakter mekanis dari material pendukung tersebut harus diperhatikan, khususnya bila immobilisasi reagen dibuat dalam bentuk membran atau film. Misalnya, menggelembungnya film atau membran (swelling) (Kuswandi, 2010).



Gambar 2.8 Berbagai metode immobilisasi dari reagen, R pada material pendukung (a) gel entrapmen, (b) adsorpsi, (c) interaksi elektrostatis/ionik, (d) ikatan kovalen (Kuswandi, 2010).

Tabel 2.2 Karakteristik Teknik Imobilisasi (Kuswandi, 2010)

Teknik Imobilisasi	Adsorpsi	Entrapmen	Ikatan Kovalen	Enkapsulasi
Kemudahan Prosedur	Mudah	Mudah/sedang	Sedang/sulit	Mudah/sedang
Sifat reagen	Tetap	Tetap	Bisa Berubah	Tetap
Mobilitas Partikel	Tinggi	Sedang	Rendah	Tinggi
Kapasitas pengikatan	Tinggi	Tinggi	Rendah	Tinggi
Lepasnya reagen	Tinggi	Sedang	Rendah	Tinggi
Stabilitas	Rendah	Sedang	Tinggi	Rendah
Waktu Pakai	Pendek	Lama	Lama	Pendek
Biaya immobilisasi	Murah	Sedang	Mahal	Sedang

2.6.1 Adsorpsi

Adsorpsi atau penyerapan merupakan teknik immobilisasi yang melibatkan gaya *Van der Waals* atau ikatan hidrogen dalam mengikat molekul reagen pada fasa pendukung. Immobilisasi dengan metode ini dilakukan dengan cara menyerap molekul reagen di atas permukaan fasa pendukung. Interaksi elektrostatik atau ionik biasanya digunakan untuk reagen yang mempunyai muatan negatif dengan fasa pendukung yang memiliki muatan positif atau sebaliknya. Fasa pendukung yang biasa digunakan dalam teknik immobilisasi jenis ini ialah resin penukar ion (Kuswandi, 2010).

Adsorpsi dibagi kedalam dua golongan, yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Pada adsorpsi fisik (fisisorpsi), ikatan yang terbentuk adalah ikatan *Van der Waals* atau ikatan hidrogen sehingga ikatan ini biasanya cukup lemah. Sedangkan pada adsorpsi kimia (kemisorpsi), ikatan yang terbentuk lebih kuat, karena pada proses ini melibatkan ikatan kovalen. Pada banyak metode adsorpsi yang digunakan dalam sensor kimia untuk immobilisasi reagen biasanya adalah fisisorpsi yang hanya melibatkan ikatan *Van der Waals* atau ikatan hidrogen antara reagen dengan material pendukungnya (Kuswandi, 2010).

2.6.2 Entrapmen

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

2.6.3 Enkapsulasi

Enkapsulasi biasanya menggunakan sebuah membran semipermeable untuk memerangkap atau menjerat reagen kimia pada permukaan sensor. Teknik immobilisasi ini biasanya cukup stabil terhadap perubahan temperatur, pH,

kekuatan ion, dan komposisi kimia. Sehingga, teknik enkapsulasi banyak digunakan dalam pengembangan sensor kimia (Kuswandi, 2010).

2.6.4 *Crosslinking*

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

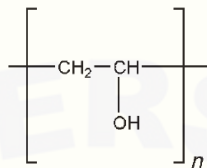
2.6.5 Ikatan Kovalen

Teknik immobilisasi secara kimiawi umumnya didasarkan pembentukan ikatan kovalen antara molekul reagen dengan gugus aktif atau gugus fungsi dari fasa pendukung, seperti polimer. Teknik ini dilakukan melalui beberapa langkah sintesis, sehingga metode ini biasanya mampu menghasilkan reagen yang stabil serta tahan terhadap *leaching*. Hal penting yang dihasilkan dari teknik immobilisasi secara kimia adalah bahwa setelah permukaan dari material pendukung tercover penuh dengan molekul reagen pada lapisan tunggal, maka molekul reagen berikutnya hanya akan teradsorpsi pada permukaannya saja. Sehingga pada gilirannya akan menghasilkan adsorpsi yang lemah, sebab pada proses ini juga dihasilkan sebuah lapisan unimolekular. Reaksi kimia yang biasa digunakan untuk immobilisasi adalah sililasi (*silylation*), dimana reagen diikatkan secara ikatan kovalen pada material pendukung secara langsung (Kuswandi, 2010).

2.7 Polivinil Alkohol (PVA)

Polivinil alkohol merupakan suatu kopolimer vinil alkohol yang tersusun dari komonomer unit vinil seperti etilena dan propilena dan dapat dinyatakan dengan rumus $(C_2H_4O)_n$. Pembentukan polivinil alkohol dilakukan melalui proses

hidrolisis (saponifikasi) dari polivinil asetat. Polivinil alkohol adalah polimer sintetik yang mudah diuraikan secara biologi (biodegradable) dan bersifat tidak beracun. Pada pengembangannya, polivinil alkohol sudah diaplikasikan dalam berbagai bidang yaitu kesehatan, pelapis bahan, bahan pembuat detergen, lem, serta pengemulsi. Polivinil alkohol berbentuk serbuk yang berwarna putih dan dapat larut dalam air pada suhu 80°C (Haris, 2015).

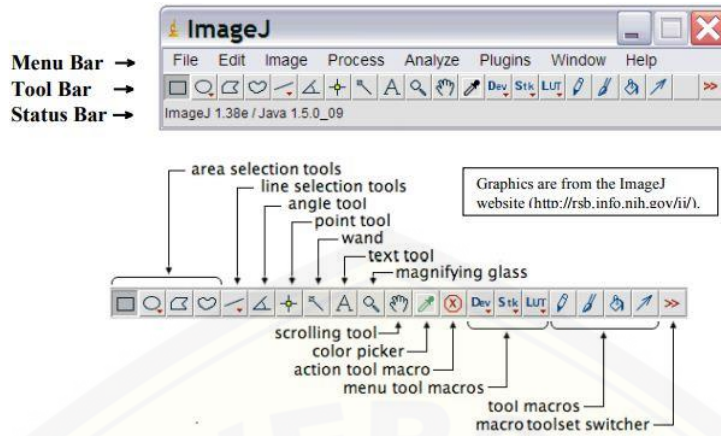


Gambar 2.9 Gambaran Struktur PVA (Rowe dkk., 2009)

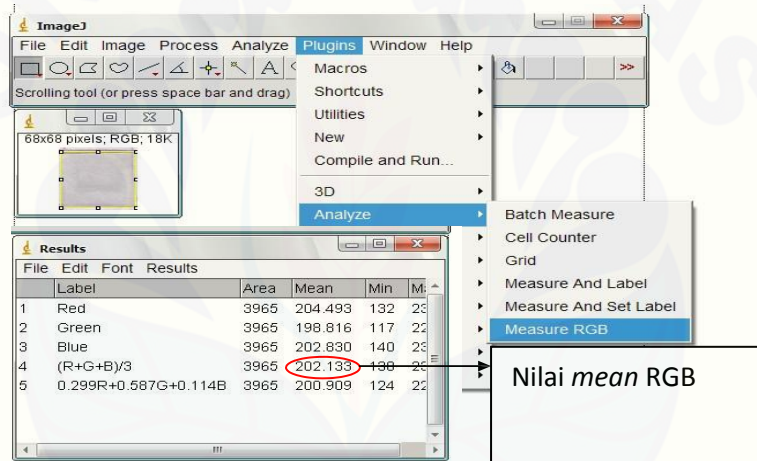
2.8 ImageJ

ImageJ adalah program yang digunakan untuk analisis gambar yang dibuat oleh *National Institutes of Health*. Program ini berisi menu bar, tool bar, dan status bar yang dapat dilihat pada gambar 2.10. Cara pengoperasian program *ImageJ* yaitu ketika kursor berada diatas gambar, maka akan ditampilkan nilai koordinat dan koordinat tersebut diukur dalam pixel/detik (Reinking, 2007). Cara perhitungan nilai RGB dengan menggunakan program *imageJ* dapat dilihat pada gambar 2.11.

Penentuan nilai RGB dengan menggunakan program *ImageJ* didasarkan pada nilai perhitungan dari tiga warna yaitu merah, hijau, dan biru. Dipilih warna-warna tersebut karena merupakan warna cahaya yang dapat menghasilkan spektrum sehingga dapat terlihat oleh pembaca. Apabila intensitas tertinggi dari setiap warna dicampurkan maka akan diperoleh cahaya putih. Sedangkan apabila intensitas sama dengan nol, maka akan dihasilkan cahaya hitam (Reinking, 2007).



Gambar 2.10 Program ImageJ (Reinking, 2007)



Gambar 2.11 Cara Perhitungan Nilai RGB dengan Program ImageJ (Reinking, 2007)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian *experimental laboratories*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Sensor Kimia dan Biosensor Fakultas Farmasi Universitas Jember mulai bulan Maret 2018 sampai selesai.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

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

3.3.2 Bahan

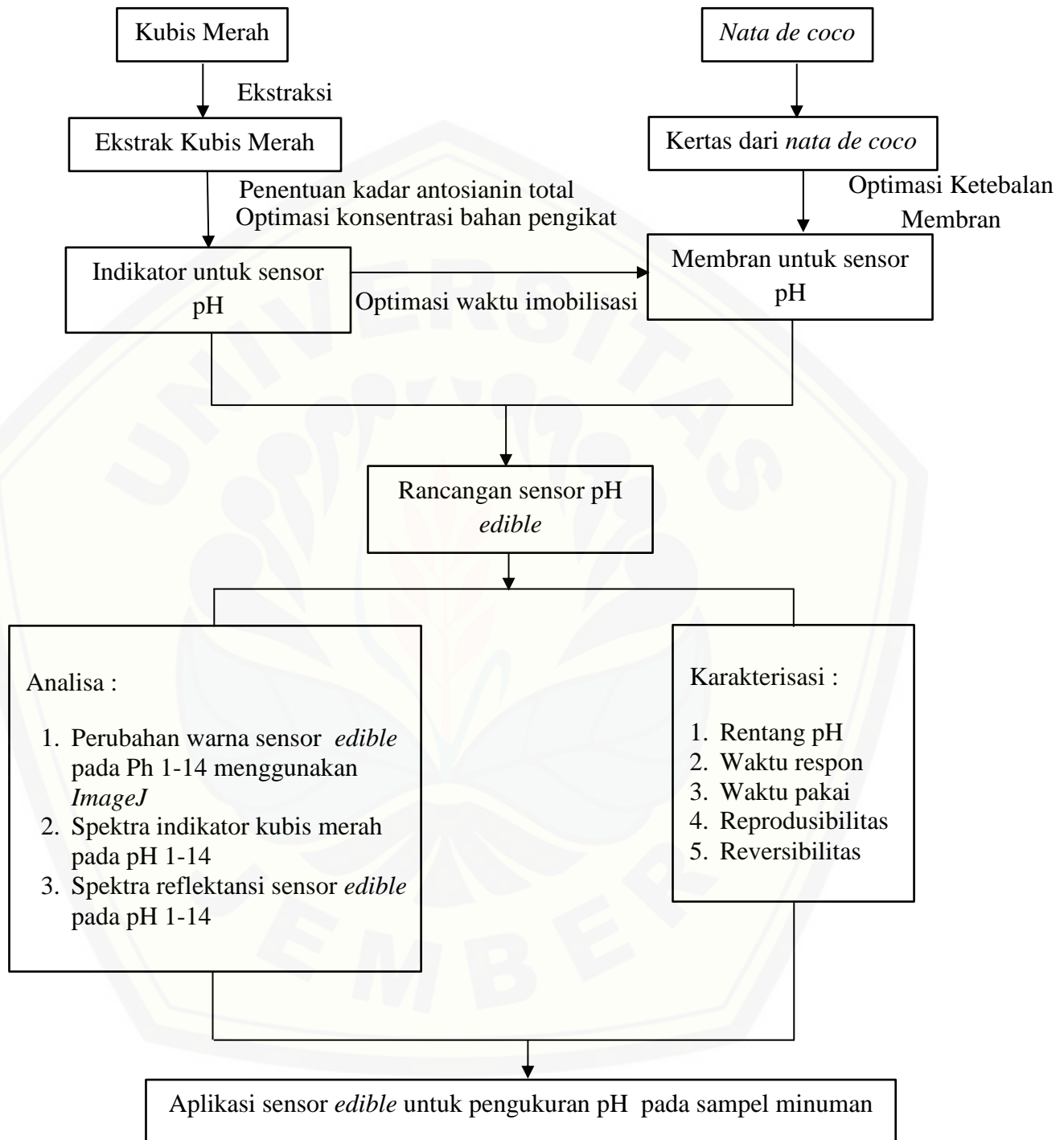
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*) yang dibeli di swalayan “Giant” Jember, *nata de coco* matang tanpa pemanis yang dibeli di pasar tradisional “Tanjung” Jember, aquadestilata, Polivinil Alkohol (PVA).

3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Tahap Percobaan

1. Optimasi sensor *edible* meliputi konsentrasi bahan pengikat (PVA) , waktu imobilisasi, dan ketebalan membran.
2. Fabrikasi sensor *edible* dari membran selulosa bakterial yang akan diimobilisasi dengan indikator kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata L.*).
3. Analisa sensor *edible* meliputi rentang pH, spektra dengan spektroskopi UV-VIS dan spektra dengan spektroskopi reflektansi.
4. Karakterisasi sensor *edible* meliputi waktu respon, waktu pakai, reproduisibilitas, reversibilitas, dan rentang pH.
5. Aplikasi sensor *edible* pada sampel minuman.

3.4.2 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Optimasi Sensor *Edible*

a. Optimasi Konsentrasi PVA

Optimasi konsentrasi PVA dilakukan untuk pengikatan warna indikator kubis merah yang baik pada membran selulosa bakterial dan agar tidak mengalami kebocoran jika kontak dengan sampel minuman. Konsentrasi PVA yang digunakan adalah 1% dan 10 %. Konsentrasi PVA yang optimum akan menghasilkan respon paling baik berupa perubahan warna yang intensif pada berbagai pH dan tidak meninggalkan bekas warna setelah dilakukan uji.

b. Optimasi Waktu Imobilisasi

Tujuan dilakukannya optimasi waktu imobilisasi adalah untuk mendapatkan sensor *edible* yang kinerjanya optimum dan untuk mendapatkan warna yang stabil karena pengaruh jumlah indikator kubis merah yang terikat pada membran selulosa bakterial. Waktu imobilisasi yang digunakan adalah 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, dan 130 menit.

c. Optimasi Ketebalan Membran

Optimasi ketebalan membran dilakukan untuk mendapatkan membran dengan konsistensi yang baik ditandai dengan kemampuan mengikat indikator dengan baik, agar warna yang didapatkan merata, serta tidak mudah sobek jika kontak dengan sampel minuman. Ketebalan membran yang digunakan adalah 0,08 mm, 0,14 mm, dan 0,20 mm.

3.5.2 Fabrikasi Sensor *Edible*

1. Pembuatan Indikator Kubis Merah

a. Pembuatan Ekstrak Kubis Merah

Ditimbang 100 g kubis merah kemudian dihancurkan dan diperas sehingga didapatkan 20 ml larutan ekstrak dengan konsentrasi antosianin total 1.187,190 mg/L .

b. Penambahan Bahan Pengikat Pada Ekstrak Kubis Merah

PVA ditambahkan sejumlah 1 % PVA ke dalam ekstrak kubis merah kemudian dilarutkan menggunakan magnetic stirrer dengan suhu 60° C hingga larut di dalam ekstrak.

c. Penentuan Konsentrasi Antosianin Total

Pengukuran konsentrasi antosianin total dari pewarna alami dalam bentuk cair dilakukan dengan menggunakan metode pH differential yang dikembangkan oleh Prior dkk (1998). Tabung reaksi disiapkan sebanyak dua buah, tabung reaksi pertama dimasukkan larutan dapar kalium klorida pH 1 sebanyak 3 mL kemudian tabung reaksi kedua dimasukkan larutan dapar natrium asetat pH 4,5 sebanyak 3 mL. Masing-masing tabung reaksi ditambahkan sampel yang akan ditentukan kadar antosianin sebanyak 0,5 mL dan didiamkan selama 15 menit. Pengukuran absorbansi dari kedua perlakuan pH tersebut diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 510 nm dan 700 nm. Nilai absorbansi dihitung dengan persamaan:

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

Total antosianin dihitung sebagai sianidin-3-glikosida dengan koefisien ekstingsi molar sebesar 26900 L cm⁻¹ dan berat molekul (BM) sebesar 449,2.

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

Dimana :

A = absorbansi

BM = berat molekul (449,2)

FP = faktor pengenceran

ϵ = ekstingsi molar (26900 L cm⁻¹)

2. Pembuatan Membran Selulosa Bakterial

Ditimbang 114 gram *nata de coco* tawar kemudian direndam menggunakan aquadest selama ± 30 menit. Aquadest sisa rendaman kemudian dibuang. Ditambahkan 60 mL aquadest dan diblender hingga membentuk bubur kertas. Bubur kertas encer dihilangkan sisa airnya menggunakan corong *Buchner* dan dicetak dalam *press* kaca. Dimasukkan oven dengan suhu 100°C selama 18 jam atau hingga membentuk kertas yang kering dengan ketebalan 0,20 mm.

3. Pengimobilisasian Indikator Pada Membran

Membran dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 0,45 mm direndam selama ± 1 jam dalam indikator kubis merah yang telah ditambahkan PVA 1%, kemudian dikeringkan dengan cara diangin-anginkan.

3.5.3 Analisa Sensor *Edible*

a. Perubahan Warna Sensor *Edible*

Uji dilakukan dengan menggunakan plat tetes yang diisi dengan larutan pH 1,0 sampai 14,0. Kemudian sensor *edible* dimasukkan ke dalam masing-masing larutan pH tersebut. Pengamatan dilakukan secara visual dan melihat nilai *mean Blue*.

b. Analisis Spektra Ekstrak

Analisa spektra ekstrak dilakukan untuk melihat absorbansi ekstrak kubis merah yang digunakan pada berbagai warna dari berbagai panjang gelombang. Analisa diawali dengan menyiapkan 14 ekstrak kubis merah dengan tambahan PVA yang ditempatkan pada vial masing-masing 2 ml lalu masing-masing ekstrak ditetaskan dengan larutan pH 1-14 sehingga warna ekstrak berubah. 1 ml ekstrak yang telah mengalami perubahan warna dipipet kemudian ditempatkan pada labu ukur 10 ml kemudian ditambahkan *aquadest* ad 10 ml. Ekstrak tersebut kemudian dimasukkan ke dalam kuvet kemudian dianalisis dengan spektrofotometri UV-VIS pada panjang gelombang sinar tampak (*visible*) yaitu 400-800 nm.

c. Analisis Spektra Reflektansi

Analisa spektra reflektansi dilakukan untuk melihat absorbansi sensor *edible* pada berbagai warna karena bereaksi pada berbagai pH. Langkah awal analisa adalah dengan menyiapkan 14 sensor edible lalu masing-masing direaksikan dengan larutan pH 1-14 kemudian dianalisis dengan spektroskopi reflektansi pada panjang gelombang 400 nm-700 nm.

3.5.4 Karakterisasi Sensor *Edible*

a. Waktu Respon

Penentuan waktu respon dilakukan untuk mengetahui kecepatan perubahan warna sensor yang dilakukan pada pH 1, 6, dan 14. Penelitian dilakukan dengan mengamati secara visual mulai saat terjadinya perubahan warna sampai warna menjadi homogen. Secara kuantitatif waktu respon ditentukan dengan nilai *mean Blue*.

b. Waktu Pakai

Pengujian waktu pakai ini dilakukan dengan pengamatan secara visual kestabilan warna sensor *edible* setelah kontak dengan pH 1, 6, dan 14 terhadap waktu pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-30 dan seterusnya sampai warnanya berangsur pudar. Pengamatan waktu pakai dilakukan dengan pengamatan secara visual dan melihat nilai *mean Blue*.

c. Rentang pH

Pengujian rentang pH dilakukan dengan menyiapkan larutan pH 1 sampai 14. Kemudian ensor *edible* dimasukkan ke dalam masing-masing larutan pH . Pengamatan dilakukan secara visual dan melihat nilai *mean Blue*.

d. Reprodusibilitas Sensor

Reprodusibilitas dapat dinyatakan sebagai kepresisian respon sensor terhadap analit yang diukur pada waktu yang berbeda dan kondisi yang relatif sama. Pada penelitian ini, reprodusibilitas sensor ditentukan dengan menghitung standar deviasi relatif (RSD) dari 6 kali replikasi terhadap sensor yang berbeda dengan 3

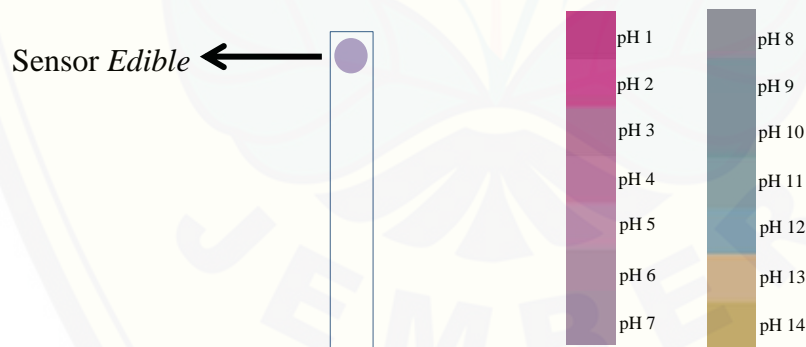
hari yang berbeda. Data diukur menggunakan nilai *mean Blue* dan dihitung nilai RSD. Reprodusibilitas sensor terhadap analit dapat digolongkan baik bila kesesuaian respon tersebut antara respon yang satu dengan yang lainnya yang dinyatakan dengan RSD <5%.

e. Reversibilitas Sensor

Reversibilitas merupakan kemampuan suatu pengukuran untuk kembali seperti semula. Penentuan reversibilitas sensor dilakukan dengan mencelupkan 1 sensor pada pH yang berbeda. Reversibilitas dapat diukur dengan pengamatan secara visual dan melalui nilai *mean Blue*.

3.5.5 Aplikasi Sensor *Edible* Pada Sampel Minuman

Sensor *edible* dicelupkan pada minuman kemudian diangkat. Perubahan warna diamati secara visual untuk memantau pH dari sampel minuman. Pengukuran pH sampel juga dilakukan menggunakan indikator pH universal dan pH meter.



Gambar 3.2 Desain Sensor *Edible* untuk Aplikasi pada Minuman

3.5.6 Analisis Data

Pengolahan data penelitian menggunakan metode deskriptif. Data hasil pengamatan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi data. Data yang dihasilkan akan mengelompokkan menjadi kategori

segar dan tidak segar. Dilakukan perhitungan standar deviasi (SD) dan relatif standar deviasi (RSD) terhadap data hasil pengamatan. Standar deviasi berfungsi mengukur seberapa luas penyimpangan data tersebut dari nilai rata-ratanya (Soewarno, 1995). Koefisien variasi merupakan nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Semakin besar nilai RSD, berarti datanya kurang merata (heterogen). Sebaliknya, jika nilai RSD semakin kecil maka data yang dihitung semakin merata (homogen) (Soewarno, 1995). Standar deviasi dan koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum |Xd - \bar{X}d|^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$RSD = \frac{SD}{X} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

SD : standar deviasi

RSD : relatif standar deviasi

X : rata-rata hitung

N : jumlah data

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Fabrikasi sensor *edible* dimulai dengan membuat ekstrak kubis merah yang ditambahkan dengan PVA sebagai bahan pengikat, lalu membuat membran selulosa bakterial yang kemudian diimobilisasi dengan indikator kubis merah pada waktu imobilisasi optimum yang telah ditentukan. Kondisi optimum pada sensor *edible* yang menghasilkan warna sensor optimal dan tidak mengalami kebocoran adalah menggunakan perbandingan konsentrasi ekstrak kubis merah dan PVA sebesar 100%:1%. Selain itu, membran selulosa bakterial yang dapat menghasilkan warna yang intensif dengan nilai *mean Blue* sebesar $177,361 \pm 2.084$ adalah membran selulosa bakterial dengan ketebalan 0,20 mm. Sedangkan waktu yang digunakan untuk mengimobilisasi sensor sehingga memberikan warna yang intensif dan merata dengan nilai *mean Blue* sebesar 180.750 ± 0.356 adalah 60 menit.
2. Karakterisasi waktu respon sensor *edible* telah menghasilkan warna pada menit ke-0 dan menunjukkan kestabilan warna pada menit ke-4. Reprodusibilitas berdasarkan intensitas warna atau nilai *mean Blue* menunjukkan bahwa perubahan warna dengan 6 kali replikasi selama 3 hari memiliki RSD < 5% sehingga dapat dikatakan bahwa sensor memiliki keterulangan yang baik. Sensor *edible* memiliki stabilitas yang baik karena dapat bertahan dalam waktu 17 hari pada penyimpanan suhu ruang dan 21 hari dalam penyimpanan suhu *chiller* dengan prosentase kenaikan nilai *mean Blue* < 15%. Sensor *edible* hanya dapat digunakan 1 kali (tidak reversibel).
3. Sensor *edible* dapat digunakan untuk menentukan pH pada minuman dengan cara mencelupkan sensor ke dalam minuman yang akan diukur pHnya kemudian dibandingkan dengan keterangan perubahan warna pH yang berfungsi memberikan informasi kepada konsumen terkait dengan pH minuman.

5.2 Saran

1. Diperlukan pengembangan sensor *edible* di bidang farmasi pada jenis sampel yang berbeda contohnya makanan atau sediaan farmasi agar lebih aman.
2. Penentuan waktu pakai pada waktu ruang harus dipastikan bahwa sensor tertutup rapat.
3. Diperlukan inovasi yang lebih baik dalam pengembangan sensor *edible* agar lebih mudah dibuat serta agar memiliki stabilitas yang lebih lama.
4. Perlu dilakukan pengembangan terkait membran dan indikator alami yang digunakan agar lebih ramah lingkungan, murah, dan mudah didapat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahvenainen, R. 2003. *Novel Food Packaging Techniques. Journal of Food Processing and Preservation.*
- Anas, Y., A. E. Nugroho, dan S. Riyanto. 2014. Kajian reversibilitas interaksi marmin terhadap reseptor histamin h₁, asetilkolin muskarinik ach-m₃ dan β ₂- adrenergik. *Jurnal Ilmu Farmasi Dan Farmasi Klinik.* 1–8.
- Aniceto, V., P. Junior, I. Natália, Q. De Arruda, dan R. Stefani. 2014. Active chitosan/pva films with anthocyanins from brassica oleraceae (red cabbage) as time-temperature indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids.* 43:180–188.
- Chandrasekhar, J., M. C. Madhusudhan, dan K. S. M. S. Raghavarao. 2012. Extraction of anthocyanins from red cabbage and purification using adsorption. *Food and Bioproducts Processing.* 90(4):615–623.
- Charron, C. S., B. A. Clevidence, S. J. Britz, dan J. A. Novotny. 2007. Effect of dose size on bioavailability of acylated and nonacylated anthocyanins from red cabbage (*brassica oleracea* l. var. *capitata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 55(13):5354–5362.
- Devarayan, K. dan B. Kim. 2015. Reversible and universal ph sensing cellulose nanofibers for health monitor. *Sensors & Actuators: B. Chemical.* 209:281–286.
- Dini, B. Y. A., Asnawati, dan I. N. A. Winata. 2013. Pembuatan Test Strip Boraks Berbasis Membran Selulosa Bakterial (Nata De Coco) Yang Diimmobilisasi Reagen Kurkumin Dan Aplikasinya Terhadap Sampel Makanan. Universitas Jember.
- Dwijayanti, A. R. 2013. Pengembangan Time Temperature Indicator Berbasis Indikator Ekstrak Kubis Merah (*Brassica Oleracea*) Untuk Penentuan Kesegaran Chicken Nugget Pada Kesalahan Suhu Penyimpanan. Jember:

Skripsi. Universitas Jember.

Ghaani, M., C. A. Cozzolino, G. Castelli, dan S. Farris. 2016. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science and Technology*. 51:1–11.

Giusti, M. M. dan R. E. Wrolstad. 1996. Characterization of red radish anthocyanins. *Journal of Food Science*. 61(2):322–326.

Gustriani, N., K. Novitriani, dan U. Mardiana. 2016. Penentuan trayek ph ekstrak kubis ungu (*brassica oleracea l*) sebagai indikator asam basa dengan variasi konsentrasi pelarut etanol. *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada*. 16:94–100.

Haris, M. 2015. *Label Cerdas Indikator Warna Dari Ekstrak Kubis Merah (Brassica Oleracea)*. Edisi Skripsi. Institut Pertanian Bogor.

J.E. Cacace, G. M. 2003. Optimization of extraction of anthocyanins from black currants with aqueous ethanol. *Journal of Food Science*. 68(1)

Kannan, V. 2011. Extraction of bioactive compounds from whole red cabbage and beetroot using pulsed electric fields and evaluation of their functionality. *Food Science and Technology*. 1–160.

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.

Kuswandi, B. 2010. *Sensor Kimia Teori, Praktek, Dan Aplikasi*. Jember: Jember University Press.

Kuswandi, B., Y. Wicaksono, dan M. Ahmad. 2011. Smart packaging : sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*. 5(3–4):137–146.

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*. 88:1269–1278.

Lukitasari, D. M., R. Indrawati, R. D. Chandra, H. Heriyanto, dan L. Limantara. 2017. Mikroenkapsulasi pigmen dari kubis merah: studi intensitas warna dan aktivitas antioksidan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*. 28(1):1–9.

Marwati, S. 2012. Ekstraksi dan preparasi zat warna alami sebagai indikator titrasi asam basa. 1–8.

Pourjavaher, S., H. Almasi, S. Meshkini, S. Pirsai, 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.

Pracaya. 2003. *Kol Alias Kubis*. Jakarta: Penebar Swadaya. 2883961.

Prior, Ronald L, G. Cao, A. Martin, E. Sofic, J. Mcewen, C. O. Brien, N. Lischner, M. Ehlenfeldt, W. Kalt, G. Krewer, dan C. M. Mainland. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content , maturity , and variety of *vaccinium* species. 8561(98):2686–2693.

Prior, Ronald L., G. Cao, A. Martin, E. Sofic, J. McEwen, C. O'Brien, N. Lischner, M. Ehlenfeldt, W. Kalt, G. Krewer, dan C. M. Mainland. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *vaccinium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(7):2686–2693.

Reinking, L. 2007. Imagej basics. *Word Journal of The International Linguistic Association*. (June): 1-22

Robertson, G. L. 2006. *Food Packaging: Principles and Practice*. 3. *IFLA Journal*.

Rodiana, Y. dan H. Maulana. 2013. Pengkajian Metode Untuk Analisis Total

Logam Berat Dalam Sedimen Menggunakan Microwave Digestion Method Assessment For Heavy Metal Analysis In Sediment. *Journal of Biota*. 7(2):71–80.

Rowe, R. C., P. J. Sheskey, dan M. E. Quinn. 2009. *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. Edisi Keenam. Pharmaceutical Press and American Pharmacists Association.

Rukmana, R. 1994. *Budidaya Kubis Bunga & Broccoli*. Yogyakarta: Kanisius.

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

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.

Shahmohammadi Jebel, F. dan H. Almasi. 2016. Morphological, physical, antimicrobial and release properties of zno nanoparticles-loaded bacterial cellulose films. *Carbohydrate Polymers*. 149:8–19.

Suharjono, T. Ardyati, E. Zubaidah, Munawaroh, dan C. P. Pradani. 2009. Produksi selulosa bakterial dari air buah kelapa dalam berbagai konsentrasi sukrosan dan urea. 124–128.

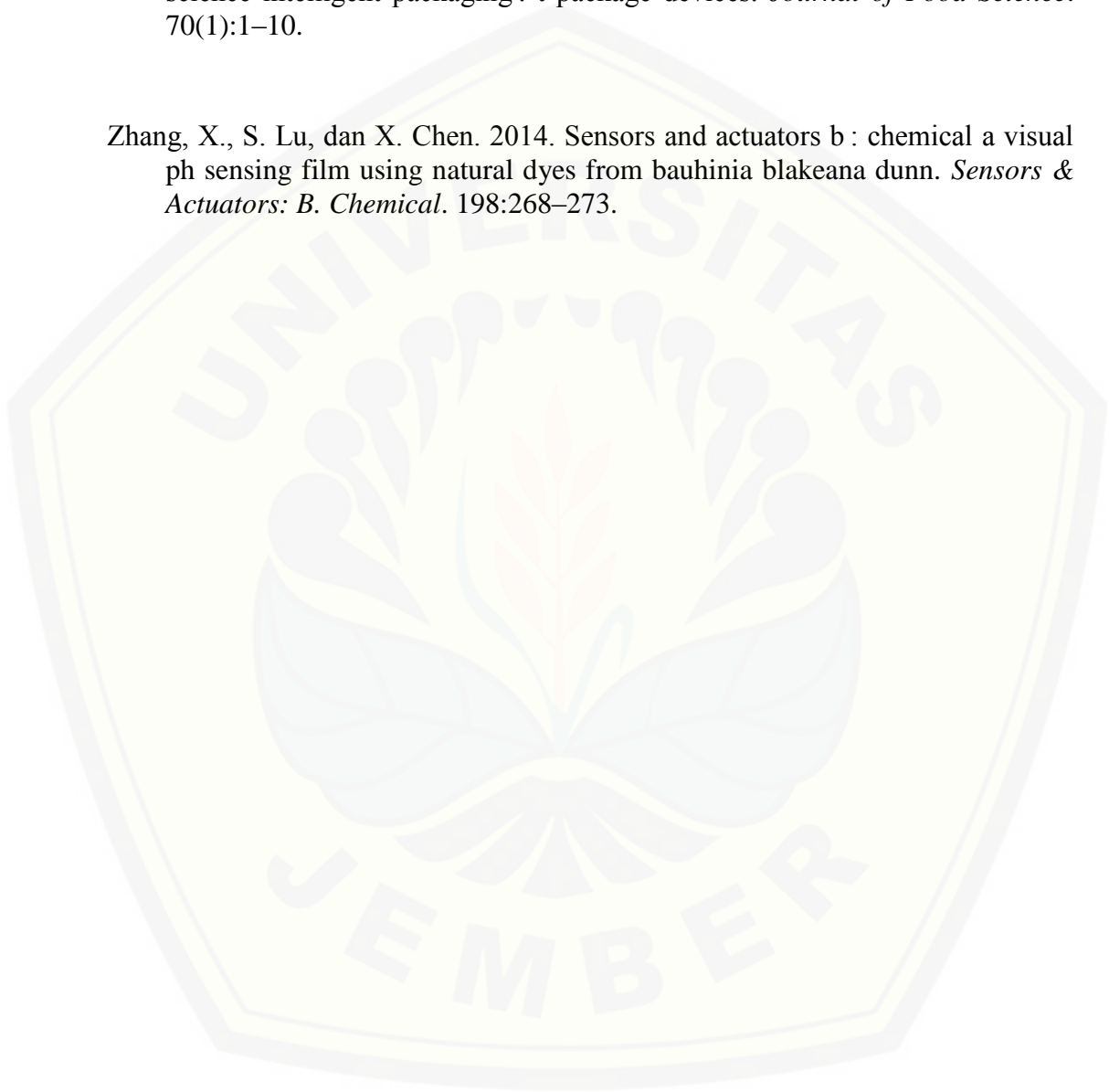
Wardana, A. A. & dan T. D. Widyaningsih. 2017. Development of edible films from tapioca starch and agar , enriched with red cabbage (brassica oleracea) as a sausage deterioration bio-indicator development of edible films from tapioca starch and agar , enriched with red cabbage (brassica oleracea). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 109

Wasito, H., E. Karyati, C. D. Vikarosa, I. N. Hafizah, dan H. R. Utami. 2017. Strip pengukur ph dari bahan alam yang diimmobilisasi dalam kertas selulosa. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6(3):3–9.

Widyaningsih, S. dan H. Diastuti. 2008. Pengaruh medium perendam terhadap sifat mekanik, morfologi, dan kinerja membran nata de coco. *Molekul*. 3:28–33.

Yam, K., P. Takhistov, dan J. Miltz. 2005. R : concise reviews / hypotheses in food science intelligent packaging : t package devices. *Journal of Food Science*. 70(1):1–10.

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



LAMPIRAN

Lampiran 1. Optimasi Sensor *Edible*

1.1 Optimasi Konsentrasi Bahan Pengikat

Ekstrak : PVA	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			
100% : 1%	191.314	190.086	193.447	191.616	1.701	0.888%
50% : 1%	195.078	200.565	200.982	198.875	3.295	1.657%

1.2 Optimasi Ketebalan Membran

Ketebalan (mm)	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			
0,08	185.241	187.594	190.790	187.875	2.785	1.482%
0,14	179.457	180.074	179.250	179.594	0.429	0.239%
0,20	175.199	177.525	179.358	177.361	2.084	1.175%

1.3 Optimasi Waktu Imobilisasi

Ketebalan (mm)	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			
10	190.217	190.662	192.593	191.157	1.263	0.661%
20	189.699	188.509	190.510	189.573	0.822	0.433%
30	188.569	189.138	188.057	188.588	0.541	0.287%
40	188.416	187.738	189.595	188.583	0.767	0.407%
50	186.755	184.568	182.158	184.494	2.299	1.246%
60	180.340	180.943	180.968	180.750	0.290	0.161%
70	179.881	180.746	181.273	180.633	0.703	0.389%
80	179.958	180.373	180.526	180.286	0.240	0.133%
90	181.923	179.837	179.080	180.280	1.472	0.817%
100	181.469	180.489	180.282	180.747	0.518	0.286%
120	179.677	181.127	180.432	180.412	0.725	0.402%
130	180.018	180.793	179.589	180.133	0.498	0.277%

Lampiran 2. Penentuan Kadar Antosianin Total

Data absorbansi

pH 1	Panjang gelombang (λ)	Absorbansi			
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
	520 nm	2,560	2,563	2,540	2,567
	700 nm	0,427	0,435	0,453	0,423

pH 4,5	Panjang gelombang (λ)	Absorbansi			
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
	520 nm	1,682	1,577	1,432	1,604
	700 nm	0,938	0,847	0,739	0,857

Perhitungan

Rumus :

$$A = [(A_{520}-A_{700})_{\text{pH 1}} - (A_{520}-A_{700})_{\text{pH 4,5}}]$$

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

• Replikasi 1

$$\begin{aligned} A &= (2,560 - 0,427) - (1,682 - 0,938) \\ &= 2,133 - 0,744 \\ &= 1,389 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C \text{ (mg/L)} &= (1,389 \times 449,2 \times 51 \times 1000) / (26900 \times 1) \\ &= 31.820.878,8 / 26900 \\ &= 1.182,932 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Kadar dalam % b/b

$$1.182,932 \text{ mg} \sim 1 \text{ L}$$

$$x \text{ mg} \sim 10 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} x &= (1.182,932 \times 10) / 1000 \\ &= 11,829 \times 10^{-3} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b/b \%} &= \frac{11,829 \times 10^{-3}}{100 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 0,012 \% \end{aligned}$$

- Replikasi 2

$$\begin{aligned} A &= (2,563 - 0,435) - (1,577 - 0,847) \\ &= 2,128 - 0,730 \\ &= 1,398 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C \text{ (mg/L)} &= (1,398 \times 449,2 \times 51 \times 1000) / (26900 \times 1) \\ &= 32.027.061,6 / 26900 \\ &= 1.190,597 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Kadar dalam % b/b

$$\begin{aligned} 1.190,597 \text{ mg} &\sim 1 \text{ L} \\ x \text{ mg} &\sim 10 \text{ ml} \\ x &= (1.190,597 \times 10) / 1000 \\ &= 11,906 \times 10^{-3} \text{ g} \\ \% \text{ b/b} &= \frac{(11,906 \times 10^{-3})}{100 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 0,012\% \end{aligned}$$

- Replikasi 3

$$\begin{aligned} A &= (2,540 - 0,453) - (1,432 - 0,739) \\ &= 2.087 - 0,693 \\ &= 1,394 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C \text{ (mg/L)} &= (1,394 \times 449,2 \times 51 \times 1000) / (26900 \times 1) \\ &= 31.935.424,8 / 26900 \\ &= 1.187,190 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Kadar dalam % b/b

$$\begin{aligned} 1.187,190 \text{ mg} &\sim 1 \text{ L} \\ x \text{ mg} &\sim 10 \text{ ml} \\ x &= (1.187,190 \times 10) / 1000 \\ &= 11,872 \times 10^{-3} \text{ g} \\ \% \text{ b/b} &= \frac{11,872 \times 10^{-3}}{100 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 0,012 \% \end{aligned}$$

- Replikasi 4

$$\begin{aligned} A &= (2,565 - 0,423) - (1,604 - 0,857) \\ &= 2,142 - 0,747 \\ &= 1,395 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C \text{ (mg/L)} &= (1,395 \times 449,2 \times 51 \times 1000) / (26900 \times 1) \\ &= 31.958.334 / 26900 \\ &= 1.188,042 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Kadar dalam % b/b

$$1.188,042 \text{ mg} \sim 1 \text{ L}$$

$$x \text{ mg} \sim 10 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} x &= (1.188,042 \times 10) / 1000 \\ &= 11,880 \times 10^{-3} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%b/b &= \frac{11,880 \times 10^{-3}}{100g} \times 100\% \\ &= 0,012 \% \end{aligned}$$

Lampiran 3. Analisa Sensor *Edible*

3.1 Perubahan Warna Sensor *Edible*

pH	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			
1	165.772	166.329	166.817	166.306	0.523	0.314%
2	170.530	170.694	171.193	170.806	0.345	0.202%
3	177.756	176.960	176.459	177.058	0.654	0.369%
4	180.352	179.890	180.057	180.100	0.234	0.130%
5	186.403	186.840	187.303	186.849	0.450	0.241%
6	179.694	180.886	179.711	180.097	0.683	0.379%
7	176.924	177.135	176.220	176.760	0.479	0.271%
8	164.881	165.350	165.004	165.078	0.243	0.147%
9	167.302	166.631	167.263	167.065	0.377	0.225%
10	168.451	168.894	169.135	168.827	0.347	0.205%
11	169.303	169.110	168.846	169.086	0.229	0.136%
12	179.460	180.069	180.411	179.980	0.482	0.268%
13	177.240	176.783	177.549	177.191	0.385	0.217%
14	175.897	175.619	176.015	175.844	0.203	0.116%

Lampiran 4. Karakterisasi Sensor *Edible*

4.1 Waktu Respon

pH 1

Waktu (menit)	Nilai <i>Blue</i>						<i>Mean Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6			
0	154. 976	151. 773	153. 788	154. 072	154. 130	155. 134	153.979	1.205	0.783 %
2	159. 606	161. 703	160. 106	161. 731	160. 007	159. 702	160.476	0.979	0.610 %
4	167. 709	166. 946	167. 278	165. 412	166. 066	165. 391	166.467	0.986	0.592 %
6	167. 401	166. 319	167. 278	166. 342	166. 879	165. 061	166.547	0.857	0.515 %
8	168. 866	164. 947	166. 343	166. 716	167. 927	166. 332	166.855	1.370	0.821 %
10	166. 919	166. 945	165. 860	166. 033	167. 351	165. 868	166.496	0.652	0.392 %

pH 6

Waktu (menit)	Nilai <i>Blue</i>						<i>Mean Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6			
0	167. 608	169. 046	168. 300	167. 064	166. 380	166. 092	167.415	1.035	0.618%
2	179. 863	176. 114	176. 658	176. 061	175. 283	178. 422	177.067	1.577	0.891%
4	179. 173	181. 988	179. 451	180. 518	179. 767	180. 149	180.174	0.922	0.512%
6	179. 292	180. 121	181. 044	180. 673	180. 980	182. 092	180.700	0.861	0.477%
8	180. 963	179. 209	180. 823	181. 637	180. 255	179. 988	180.479	0.774	0.429%
10	179. 869	181. 252	180. 579	180. 161	179. 894	181. 337	180.515	0.599	0.332%

pH 14

Waktu (menit)	Nilai <i>Blue</i>						<i>Mean Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6			
0	133. 408	135. 891	136. 190	136. 889	135. 665	133. 459	135.2503	1.339	0.990%
2	157. 363	155. 952	154. 576	153. 173	155. 375	157. 520	155.660	1.521	0.977%
4	173. 531	175. 735	174. 324	173. 852	176. 791	175. 917	175.025	1.191	0.681%
6	176. 087	175. 061	174. 336	175. 515	176. 445	175. 100	175.424	0.697	0.397%
8	175. 117	177. 982	176. 432	175. 204	174. 175	175. 033	175.657	1.231	0.701%
10	175. 442	174. 579	174. 797	177. 339	175. 633	175. 659	175.575	0.889	0.506%

4.2 Reprodusibilitas Sensor

pH 1

Hari	Nilai <i>Blue</i>						<i>Mean Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6			
1	167. 708	164. 695	166. 251	163. 980	166. 097	165. 433	165.694	1.306	0.788 %
2	165. 739	164. 858	164. 704	165. 155	166. 777	163. 623	165.143	1.059	0.641 %
3	166. 688	163. 059	164. 921	165. 046	167. 467	165. 678	165.477	1.403	0.848 %

pH 6

Hari	Nilai <i>Blue</i>						<i>Mean Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6			
1	180. 874	179. 576	181. 828	176. 907	180. 072	178. 770	179.671	1.716	0.955 %
2	180. 739	179. 858	178. 704	181. 155	177. 777	180. 623	179.809	1.318	0.733 %
3	178. 793	181. 197	180. 543	178. 645	179. 926	180. 921	180.004	1.084	0.602 %

pH 14

Hari	Nilai <i>Blue</i>						<i>Mean Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Rep. 5	Rep. 6			
1	175.758	176.006	173.107	174.539	177.773	174.486	175.278	1.604	0.915 %
2	174.522	173.956	175.817	173.173	175.888	175.524	174.813	1.112	0.636 %
3	175.471	175.674	174.746	175.976	172.123	174.992	174.830	1.400	0.801 %

4.3 Waktu Pakai

4.3.1 Waktu Pakai Ruang

pH 1

Hari	Nilai <i>Blue</i>			<i>Mean Blue</i>	SD	RSD	% Kenaikan <i>Mean Blue</i>
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3				
0	166.551	164.596	167.311	166.153	1.401	0.843 %	0.000%
1	165.244	166.466	167.666	166.459	1.211	0.728 %	0.184%
2	166.634	167.666	166.799	167.033	0.554	0.332 %	0.530%
3	165.770	167.659	167.981	167.137	1.194	0.715 %	0.592%
4	167.793	167.231	166.992	167.339	0.411	0.246 %	0.714%
5	168.484	168.294	169.787	168.855	0.813	0.481%	1.626%
6	170.529	172.824	171.397	171.583	1.159	0.675 %	3.268%
7	175.643	176.879	177.654	176.725	1.014	0.574 %	6.363%
8	176.321	177.765	176.976	177.021	0.723	0.408 %	6.541%
9	179.312	178.954	179.953	179.406	0.506	0.282 %	7.977%
10	180.098	179.780	179.809	179.896	0.176	0.098 %	8.271%
11	180.776	181.346	180.689	180.937	0.357	0.197 %	8.898%
12	182.674	181.859	183.785	182.773	0.967	0.529 %	10.003%
13	184.989	181.554	183.643	183.395	1.731	0.944 %	10.378%
14	183.113	185.965	184.876	184.651	1.439	0.779%	11.134%
15	185.886	186.765	184.969	185.873	0.898	0.483 %	11.869%
16	189.776	189.551	187.989	189.105	0.973	0.515 %	13.814%
17	190.885	191.675	192.889	191.816	1.009	0.526 %	15.446%

pH 6

Hari	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD	% Kenaikan Mean <i>Blue</i>
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3				
0	182.533	180.736	179.704	180.991	1.432	0.791 %	0.000%
1	182.416	181.067	179.585	181.023	1.416	0.782 %	0.017%
2	183.675	183.890	185.098	184.221	0.767	0.416 %	1.785%
3	186.584	185.595	186.488	186.222	0.545	0.293 %	2.890%
4	187.467	188.654	189.334	188.485	0.945	0.501 %	4.141%
5	188.475	189.898	189.997	189.457	0.852	0.449 %	4.677%
6	190.788	190.779	191.086	190.884	0.175	0.092 %	5.466%
7	191.888	191.076	190.998	191.321	0.493	0.258 %	5.707%
8	191.860	191.665	191.665	191.730	0.113	0.059 %	5.933%
9	193.058	194.994	194.966	194.339	1.110	0.571 %	7.375%
10	197.995	196.564	196.840	197.133	0.759	0.385 %	8.919%
11	197.345	198.997	198.061	198.134	0.828	0.418 %	9.472%
12	199.802	199.005	200.875	199.894	0.938	0.469 %	10.444%
13	200.765	200.546	199.777	200.363	0.519	0.259 %	10.703%
14	203.775	200.244	201.684	201.901	1.775	0.879 %	11.553%
15	203.483	202.770	203.494	203.249	0.415	0.204 %	12.298%
16	204.887	203.965	202.654	203.835	1.122	0.551 %	12.622%
17	208.829	209.890	207.822	208.847	1.034	0.495 %	15.391%

pH 14

Hari	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD	% Kenaikan Mean <i>Blue</i>
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3				
0	182.533	180.736	179.704	180.991	1.432	0.791 %	0.000%
1	182.416	181.067	179.585	181.023	1.416	0.782 %	0.017%
2	183.675	183.890	185.098	184.221	0.767	0.416 %	1.785%
3	186.584	185.595	186.488	186.222	0.545	0.293 %	2.890%
4	187.467	188.654	189.334	188.485	0.945	0.501 %	4.141%
5	188.475	189.898	189.997	189.457	0.852	0.449 %	4.677%
6	190.788	190.779	191.086	190.884	0.175	0.092 %	5.466%
7	191.888	191.076	190.998	191.321	0.493	0.258 %	5.707%
8	191.860	191.665	191.665	191.730	0.113	0.059 %	5.933%
9	193.058	194.994	194.966	194.339	1.110	0.571 %	7.375%
10	197.995	196.564	196.840	197.133	0.759	0.385 %	8.919%
11	197.345	198.997	198.061	198.134	0.828	0.418 %	9.472%
12	199.802	199.005	200.875	199.894	0.938	0.469 %	10.444%
13	200.765	200.546	199.777	200.363	0.519	0.259 %	10.703%
14	203.775	200.244	201.684	201.901	1.775	0.879 %	11.553%
15	203.483	202.770	203.494	203.249	0.415	0.204 %	12.298%

16	204.887	203.965	202.654	203.835	1.122	0.551	12.622%
17	208.829	209.890	207.822	208.847	1.034	0.495	15.391%

4.3.1 Waktu Pakai Chiller

pH 1

Hari	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD	% Kenaikan Mean <i>Blue</i>
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3				
0	166.447	166.553	167.574	166.858	0.508	0.305 %	0.000%
1	166.784	166.896	166.999	166.893	0.088	0.053 %	0.021%
2	166.989	166.871	167.992	167.284	0.503	0.301 %	0.255%
3	168.876	168.231	169.543	168.883	0.536	0.317 %	1.214%
4	169.765	168.998	170.765	169.843	0.723	0.426 %	1.789%
5	170.654	168.894	170.789	170.112	0.863	0.507 %	1.950%
6	171.769	172.949	173.745	172.821	0.812	0.470 %	3.574%
7	174.789	173.856	172.765	173.803	0.827	0.476 %	4.162%
8	174.643	174.879	177.654	175.725	1.367	0.778 %	5.314%
9	175.087	176.789	175.598	175.825	0.713	0.406 %	5.374%
10	176.923	177.888	175.999	176.937	0.771	0.436 %	6.040%
11	176.555	178.354	177.641	177.517	0.740	0.417 %	6.388%
12	176.342	178.967	178.993	178.101	1.244	0.698 %	6.738%
13	179.167	179.953	180.834	179.985	0.681	0.378 %	7.867%
14	179.867	179.735	180.899	180.167	0.520	0.289 %	7.976%
15	180.769	182.537	181.779	181.695	0.724	0.399 %	8.892%
16	181.885	181.675	180.889	181.483	0.429	0.236 %	8.765%
17	184.973	183.432	182.645	183.683	0.967	0.526 %	10.084%
18	185.444	184.232	183.848	184.508	0.680	0.369 %	10.578%
19	186.778	184.075	184.567	185.140	1.176	0.635 %	10.957%
20	185.765	184.668	189.962	186.798	2.281	1.221 %	11.950%
21	186.987	187.886	187.997	187.623	0.452	0.241 %	12.445%
22	192.565	191.949	192.765	192.426	0.347	0.180 %	15.323%

pH 6

Hari	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD	% Kenaikan Mean <i>Blue</i>
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3				
0	182.546	180.846	179.804	181.065	1.384	0.764 %	0.000%
1	182.516	181.407	179.805	181.243	1.363	0.752 %	0.098%
2	182.665	183.789	181.098	182.517	1.352	0.741 %	0.802%
3	183.578	183.673	182.124	183.125	0.868	0.474 %	1.138%
4	184.897	185.549	184.775	185.074	0.416	0.225 %	2.214%
5	187.907	186.804	184.79	186.500	1.581	0.847 %	3.002%
6	186.765	187.889	187.979	187.544	0.676	0.361 %	3.578%
7	187.687	188.593	190.124	188.801	1.232	0.652 %	4.272%
8	191.089	190.246	190.998	190.778	0.463	0.243 %	5.364%
9	191.846	191.695	191.785	191.775	0.076	0.040 %	5.915%
10	193.108	194.984	194.896	194.329	1.059	0.545 %	7.326%
11	192.998	195.868	194.709	194.525	1.444	0.742 %	7.434%
12	194.793	195.69	197.889	196.124	1.593	0.812 %	8.317%
13	197.995	196.564	196.840	197.133	0.759	0.385 %	8.874%
14	197.345	198.997	198.061	198.134	0.828	0.418 %	9.427%
15	199.802	199.005	200.875	199.894	0.938	0.469 %	10.399%
16	200.765	200.546	199.777	200.363	0.519	0.259 %	10.658%
17	203.775	200.244	201.684	201.901	1.775	0.879 %	11.507%
18	202.456	202.785	201.679	202.307	0.568	0.281 %	11.731%
19	202.129	203.326	204.674	203.376	1.273	0.626 %	12.322%
20	203.839	202.987	203.594	203.473	0.439	0.216 %	12.376%
21	204.887	204.965	205.654	205.169	0.422	0.206 %	13.312%
22	209.769	209.779	207.762	209.103	1.162	0.556 %	15.485%

pH 14

Hari	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD	% Kenaikan Mean <i>Blue</i>
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3				
0	174.654	176.612	177.365	176.210	1.399	0.794 %	0.000%
1	175.899	176.993	176.986	176.626	0.630	0.356 %	0.236%
2	177.658	178.564	179.067	178.430	0.714	0.400 %	1.259%
3	178.998	179.09	179.673	179.254	0.366	0.204 %	1.727%
4	179.886	179.563	181.085	180.178	0.802	0.445 %	2.252%
5	180.698	180.873	181.132	180.901	0.218	0.121 %	2.662%
6	181.957	181.653	180.598	181.403	0.713	0.393 %	2.947%
7	181.887	179.989	184.987	182.288	2.523	1.384 %	3.449%
8	182.667	183.343	183.547	183.186	0.461	0.251 %	3.959%
9	183.546	184.876	185.665	184.696	1.071	0.580 %	4.815%
10	185.786	186.343	186.786	186.305	0.501	0.269 %	5.729%

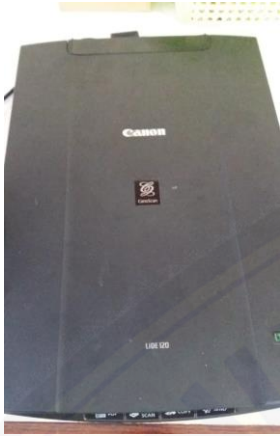
11	186.963	187.765	188.819	187.849	0.931	0.496 %	6.605%
12	189.205	190.738	189.877	189.940	0.768	0.405 %	7.792%
13	189.765	190.886	190.07	190.240	0.580	0.305 %	7.962%
14	190.883	191.675	189.989	190.849	0.844	0.442 %	8.307%
15	191.754	193.786	192.558	192.699	1.023	0.531 %	9.358%
16	195.896	193.736	193.468	194.367	1.331	0.685 %	10.304%
17	194.986	196.789	195.983	195.919	0.903	0.461 %	11.185%
18	195.787	197.007	196.987	196.594	0.699	0.355 %	11.568%
19	197.987	198.876	199.065	198.643	0.576	0.290 %	12.730%
20	197.896	199.764	199.079	198.913	0.945	0.475 %	12.884%
21	200.763	199.679	201.575	200.672	0.951	0.474 %	13.882%
22	201.866	203.443	202.793	202.701	0.793	0.391 %	15.033%

4.3.3 Rentang pH

Hari	Nilai <i>Blue</i>			Mean <i>Blue</i>	SD	RSD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3			
1	165.772	166.329	166.817	166.306	0.523	0.314%
2	170.530	170.694	171.193	170.806	0.345	0.202%
3	177.756	176.960	176.459	177.058	0.654	0.369%
4	180.352	179.890	180.057	180.100	0.234	0.130%
5	186.403	186.840	187.303	186.849	0.450	0.241%
6	179.694	180.886	179.711	180.097	0.683	0.379%
7	176.924	177.135	176.220	176.760	0.479	0.271%
8	164.881	165.350	165.004	165.078	0.243	0.147%
9	167.302	166.631	167.263	167.065	0.377	0.225%
10	168.451	168.894	169.135	168.827	0.347	0.205%
11	169.303	169.110	168.846	169.086	0.229	0.136%
12	179.460	180.069	180.411	179.980	0.482	0.268%
13	177.240	176.783	177.549	177.191	0.385	0.217%
14	175.897	175.619	176.015	175.844	0.203	0.116%

Lampiran 5. Dokumentasi

Alat Penelitian



A



B



C



D



E

Keterangan

A = *Scanner*

B = *Gelas ukur*

C = *Oven*

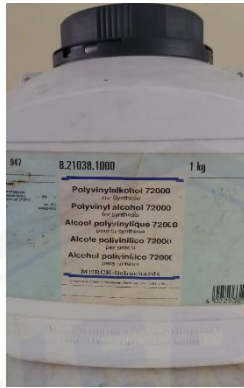
D = *Stirrer*

E = *Press kaca*

Bahan Penelitian



A



B



C



D

Keterangan :

A = Indikator kubis merah

B = Polivinil Alkohol (PVA)

C = Kubis merah

D = *Nata de coco*

Sampel Minuman



A



B



C



D



E

Keterangan :

A = Jus jambu Buavita

B = Air minum Pristine

C = Air minum Le Minerale

D = Cocacola

E = Air minum Aqua

Lampiran 6. Brosur

Sensor edible Kubis merah (*Brassica oleracea var capitata L.*)
merupakan indikator universal untuk mengukur pH pada sampel minuman.

Cara penggunaan :

- 1) Masukkan indikator pH universal pada sampel
- 2) Warna yang dihasilkan dibandingkan dengan parameter warna yang telah tersedia pada kemasan

Cara Pembacaan pH :**Perhatian dan Peringatan :**

1. Simpan di lemari es pada suhu chiller $\pm 4^{\circ}\text{C}$
2. Hindari dari cahaya atau sinar matahari langsung
3. Jauhkan dari jangkauan anak-anak

Fakultas Farmasi Universitas Jember
Jember - Indonesia