



**PENGEMBANGAN SENSOR KEBOCORAN
BERBASIS INDIKATOR *m-CRESOL PURPLE*
PADA KEMASAN KERUPUK UDANG**

SKRIPSI

Oleh :

**Liya Sanjaya
NIM 142210101018**

**FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PENGEMBANGAN SENSOR KEBOCORAN
BERBASIS INDIKATOR *m-CRESOL PURPLE*
PADA KEMASAN KERUPUK UDANG**

SKRIPSI

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

Oleh :

**Liya Sanjaya
NIM 142210101018**

**FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah atas rahmat dan ridho Allah SWT saya persembahkan skripsi ini untuk :

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah nya sehingga aku selalu dimudahkan dalam segala urusan.
2. Orang tua ku ayahanda Dwi Hariyanto dan Ibunda Suciati yang selalu menyemangati di kala suka maupun duka. Terimakasih telah membesarkanku dan selalu menyayangiku hingga saat ini. Kalian merupakan orang yang menginspirasi ku dan selalu mendidik ku untuk pantang menyerah.
3. Mak Nap, Pak Di, Mbak Ella, Mbak Lilik, Mbak Ruroh . Terimakasih atas segala dukungan dan doa yang diberikan.
4. Guru-guru TK Al-Miftah Denpasar, SD Saraswati 1 Denpasar, SMPN 10 Denpasar, SMAN 1 Malang dan segenap dosen Fakultas Farmasi Universitas Jember. Terimakasih telah tak kenal lelah membimbingku dan memberikan ilmu yang berharga untuk ku.
5. Ahmad Tahta Kurniawan, yang selalu sabar mendengar keluh kesah dan omelanku saat penat. Terimakasih untuk nasihat yang membangun dan menyemangati hari-hari ku. Kau salah satu inspirasiku 😊
6. Partner *Leakage Sensor* Ain Rahmania yang tidak kenal lelah untuk mendorong ku agar selalu semangat dan memaknai arti perjuangan. Terimakasih telah menjadi alarm ku.
7. Teman-teman Kos Muslimah (Zahra, Hasnia, Ayu, Mia, Hilma, Ain, Tunung). Terimakasih telah menjadi teman terbaik dan pendengar keluh-kesahku selama di bangku kuliah.
8. Putu dan Zahra yang selalu menjadi sahabat yang apa adanya dan luar biasa. Semangat berproses untuk kalian semua. Terimakasih karena selalu

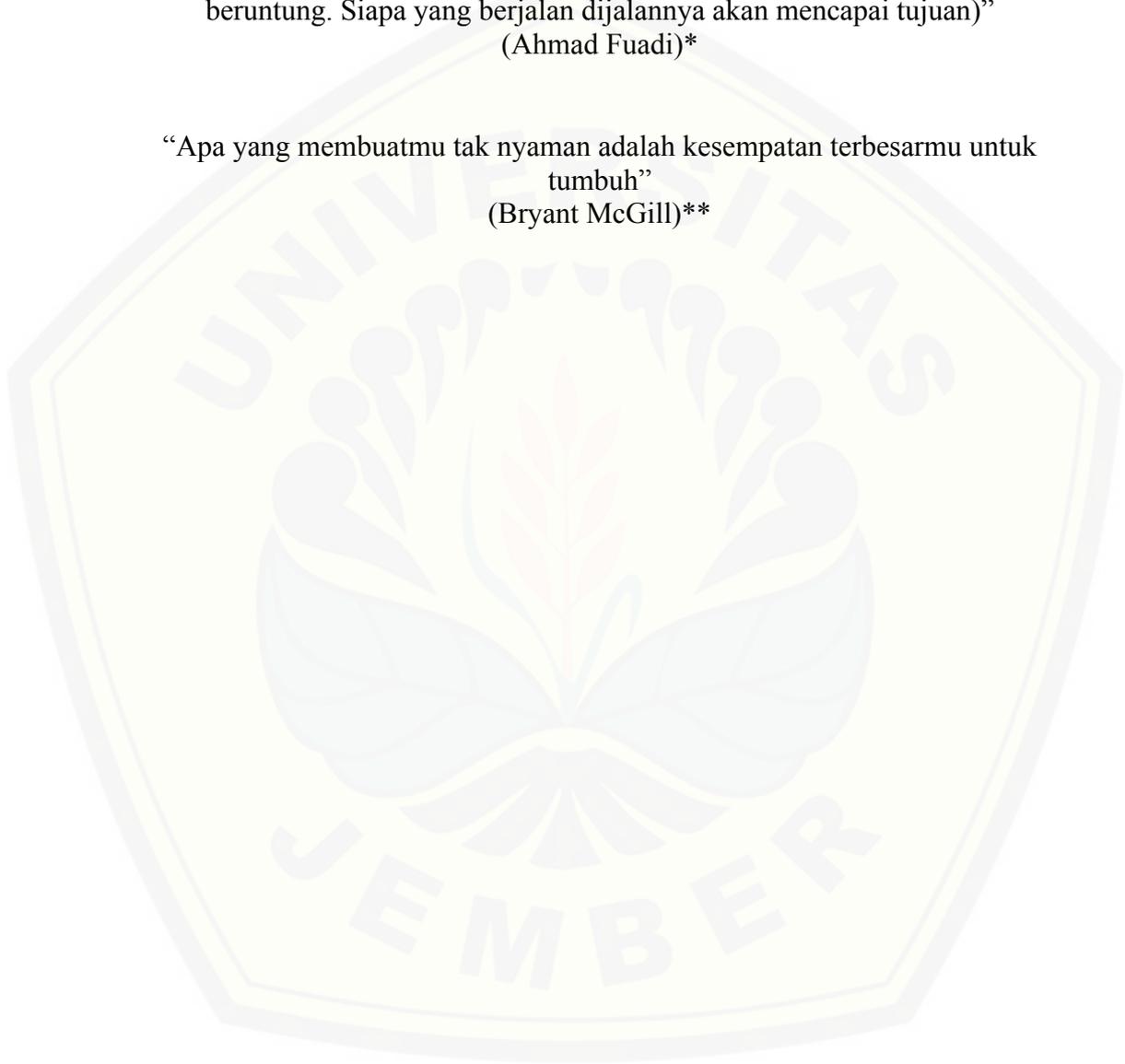
mendukungku dan mendengar keluh kesah ku. Semoga benar benar menjadi apoteker idaman mas ya ☺

9. Jamaah Single Syariah yang selalu ada disaat ku butuh tempat untuk bernaung. Terimakasih untuk doa dan dukungannya. Teman sampai surga ya aamiin.
10. Anak Sholehah Squad (Fresty, Tunung, Ain) yang selalu mendukung dan mengerti aku dalam segala kondisi.
11. *Biochemosensor Group* (Ary, Rafli, Yanti, Putu, Osy, Sheila, Ninik, Ain, Alfi, Zahra, Ayu, Lely, Arum, Qeqek, Rizky, Resa) yang selalu menjadi penghibur dikala penat di laboratorium dengan segala canda tawa dan ghibahnya.
12. Bu Wayan dan Mbak Hani yang mendukung berjalannya penelitian selama di laboratorium.
13. Kencur (Zahra, Putu, Ain, Agus, Dwi Ayu, Ary, Sri Respati, Fajar, Yogi, Rafli, Joppy, Rizka, Sheila, Tya, Rizki, Della) yang menjadi pendukung dan pemberi arti sebuah keluarga dalam organisasi.
14. *Stratum Corneum Group* (Ary, Ninik, Iped, Rafli, Sheila, Zahra) yang selalu kompak di garda terdepan dalam ujian. Teman dalam berproses di bangku perkuliahan.
15. Tentor yang sering direpotkan, Mas Hilmi Afthoni dan Mbak Galen. Terimakasih telah memberikan arahan dan wejangan nya.
16. Teman-teman seperjuangan Pharmagen 2014 kalian luar biasa dengan segala keunikan pada diri kalian. Terimakasih untuk kebersamaan kita selama 4 tahun ini.
17. Adik-adik tersayang di departemen eksternal BEMF Rangers (Yesika, Ofi, Ferina, Septi Orbita) yang selalu mendukung dan memotivasiku.
18. Teman-teman KKN Desa Ardisaeng (Ridho, Yasin, Kresna, Faris, Hesti, Mila, Lisfa, Laily, Wardha) atas segala dukungan dan doa.
19. Segala pihak yang turut membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan skripsi ini.

MOTTO

“Man shabara zhafira. Man saara ala darbi washala (Siapa yang bersabar akan beruntung. Siapa yang berjalan dijalannya akan mencapai tujuan)”
(Ahmad Fuadi)*

“Apa yang membuatmu tak nyaman adalah kesempatan terbesarmu untuk tumbuh”
(Bryant McGill)**



*)Fuadi, Ahmad. 2013. *Ranah 1 Muara*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

**) McGill, Bryant. 2015. *Simple Reminders (Inspiration for living your best life*. USA: SRN Publishing.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Liya Sanjaya

Nim : 142210101018

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul Pengembangan Sensor Kebocoran Berbasis Indikator *m-cresol purple* pada Kemasan Kerupuk Udang adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta 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 adanya ikatan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 8 Juni 2018

Yang menyatakan,

Liya Sanjaya

NIM 1422101010118

SKRIPSI

**PENGEMBANGAN SENSOR KEBOCORAN
BERBASIS INDIKATOR *m-CRESOL PURPLE*
PADA KEMASAN KERUPUK UDANG**

Oleh

Liya Sanjaya

NIM 142210101018

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Indah Purnama Sary., S.Si., Apt., M.Farm.

PENGESAHAN

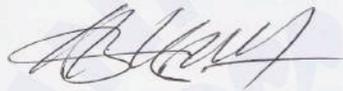
Skripsi yang berjudul “Pengembangan Sensor Kebocoran Berbasis Indikator *m-cresol purple* Pada Kemasan Kerupuk Udang telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Farmasi Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juni 2018

Tempat : Fakultas Farmasi Universitas Jember

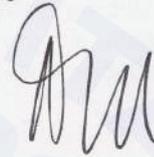
Tim Penguji:

Ketua,



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

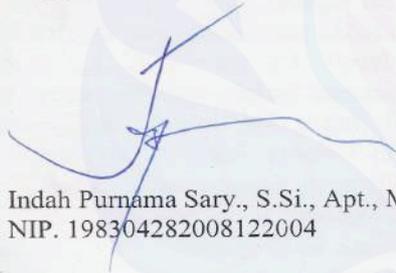
Anggota I,



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

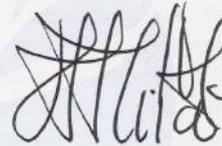
Tim Penguji

Anggota II,



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

Anggota III,



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

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Farmasi Universitas Jember,




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

RINGKASAN

Pengembangan Sensor Kebocoran Berbasis Indikator *m-cresol purple* pada Kemasan Kerupuk Udang; Liya Sanjaya, 142210101018; 2018:100 halaman; Jurusan Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Jember.

Kemasan merupakan salah satu aspek terpenting dalam makanan. Kemasan dikatakan baik jika dapat menjalankan fungsi perlindungan serta dapat menjaga kualitas makanan didalamnya. Kebocoran kemasan merupakan salah satu hal yang mengakibatkan fungsi perlindungan tidak berjalan baik. Udara yang masuk kedalam kemasan yang bocor akan mempengaruhi kualitas produk didalamnya. Adanya udara akan mempercepat proses pembusukan oleh mikroba, serta dapat memperpendek masa simpan. Kualitas produk yang akan cepat berkurang akibat adanya udara adalah kualitas kerupuk udang. Kerupuk udang merupakan salah satu makanan ringan yang kualitasnya dalam segi kerenyahan akan berkurang apabila terpapar udara.

Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sensor kebocoran berbasis indikator kolorimetri yaitu, *m-cresol purple*. Indikator ini bekerja dengan prinsip asam-basa dengan perubahan warna dari kuning menuju ungu dalam rentang pH 2,8-7,4 pada kondisi asam dan 7,5-9,0 dalam kondisi basa. Dalam penelitian ini dilakukan optimasi meliputi optimasi konsentrasi reagen dengan konsentrasi terpilih sebesar 1000 ppm. Lalu perbandingan volume dapar pH 4 dan reagen terpilih yaitu 1:2. Jenis matriks terpilih yang digunakan sebagai fase pendukung adalah matriks agar. Konsentrasi agar terpilih yang digunakan sebesar 250 mg, serta perbandingan volume agar dan reagen terpilih sebesar 1:1. Penelitian ini dilakukan pada kerupuk udang siap santap yang dikemas dalam kemasan dengan tiga tingkat kebocoran yang berbeda yaitu 2 mm, 5 mm dan 1 cm. Pengamatan perubahan warna sensor diamati menggunakan program *ImageJ* dengan menggunakan nilai $\Delta mean Red$ untuk mengetahui waktu respon yang dibutuhkan dalam tiga tingkat kebocoran yang berbeda. Pada tingkat kebocoran 2 mm waktu menunjukkan mulai *steady state* pada jam ke-11 dengan nilai $\Delta mean Red$ 56,50. Pada tingkat kebocoran 5 mm, waktu menunjukkan mulai *steady state* pada jam ke- 10 dengan nilai $\Delta mean Red$ 47,19. Pada tingkat kebocoran 1 cm waktu menunjukkan mulai *steady state* pada jam ke-8 dengan nilai $\Delta mean Red$ 46,67. Penentuan waktu pakai sensor dilakukan dengan pengamatan sensor dalam keadaan yang belum diaktivasi tanpa diletakkan didalam kemasan serta dilakukan juga pengamatan pada sensor yang telah diaktivasi yang berada didalam kemasan yang belum dilubangi. Pengamatan dilakukan hingga sensor menunjukkan perubahan karakteristik. Perubahan karakteristik terjadi setelah hari ke-7 dengan prosentase penurunan nilai *mean Red* <15% sehingga sensor dapat dikatakan stabil hingga 1 minggu.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara tingkat kebocoran terhadap waktu respon, perubahan intensitas warna dan kualitas dari kerupuk udang berbanding lurus. Artinya, semakin besar tingkat kebocoran maka

semakin cepat waktu respon yang dibutuhkan, serta ditandai dengan nilai $\Delta mean Red$ semakin besar yang menunjukkan bahwa kualitas kerupuk sudah tidak renyah. Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka sensor kebocoran *m-cresol purple* dapat digunakan sebagai sensor kebocoran kemasan karena mampu menunjukkan perubahan warna untuk menggambarkan kondisi makanan didalam kemasan.



PRAKATA

Puji syukur senantiasa tercurahkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah serta petunjuk-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari segala rintangan dan tantangan. Segenap cerita dan lika liku dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Drs. Bambang Kuswandi, M.Sc., Ph. D., selaku Dosen Pembimbing Utama, Indah Purnama Sary., S.Si., M.Farm., Apt., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan, ide, serta masukan yang berperan besar dalam penelitian ini;
2. Lestyo Wulandari S. Si., M.Farm., Apt., selaku Dosen Penguji Utama, dan Nia Kristiningrum, S. Farm., M.Farm., Apt., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu dalam proses pengujian skripsi ini;
3. Dwi Koko Pratoko, S.Farm., M.Sc., Apt., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberi arahan dan bimbingan selama menjadi mahasiswa;

Penulis memohon maaf apabila skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Makadari itu, penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun dari semua pihak Akhir kata besar harapan penulis agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Jember, 8 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vii
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	viii
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kemasan	5
2.2 Sensor	6
2.2.1 Pengertian Sensor	6
2.4 Indikator	8
2.4.1 Indikator Kebocoran (<i>Leakage Indicator</i>)	9
2.4.2 <i>m-cresol purple</i> (MCP).....	10

2.4.3	Natrium Bikarbonat (NaHCO_3)	10
2.4.4	Gliserol.....	11
2.4.5	Membran Natural Agar.....	12
2.4.6	Kertas Whatman	12
2.4.7	Reaksi Asam-Basa	13
2.5	Teknik Immobilisasi	14
2.5.1	Teknik Immobilisasi Adsorpsi.....	15
2.5.2	Teknik Immobilisasi Enkapsulasi.....	16
2.5.3	Teknik Immobilisasi <i>Entrapment</i>	16
2.5.4	Teknik Immobilisasi Interaksi Elektrostatik.....	17
2.5.5	Teknik Immobilisasi <i>Crosslinking</i>	18
2.5.6	Teknik Immobilisasi Ikatan Kovalen.....	18
2.6	Kemasan Pintar (<i>Intelligent Food Packaging</i>).....	19
2.7	Analisis Citra.....	20
2.7.1	Program <i>ImageJ</i>	20
2.8	Tinjauan Sampel.....	22
2.8.1	Kerupuk	22
BAB 3.	METODE PENELITIAN	24
3.1	Jenis Penelitian.....	24
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.3	Alat dan Bahan.....	24
3.3.1	Alat.....	24
3.3.2	Bahan	24
3.4	Variabel Penelitian	25
3.4.1	Variabel Bebas.....	25
3.4.2	Variabel Terkontrol.....	25
3.4.3	Variabel Terikat	25
3.5	Definisi Operasional	25
3.6	Diagram Alir Penelitian	27
3.7	Prosedur Penelitian.....	28
3.7.1	Optimasi Membran Sensor Kebocoran.....	28
3.7.2	Fabrikasi Sensor Kebocoran	30
3.7.3	Karakterisasi Sensor Kebocoran.....	32

3.7.4 Uji Kualitas Sampel.....	34
3.7.5 Analisa Data.....	35
3.7.6 Aplikasi Kerupuk Pada Kemasan Kerupuk Udang.....	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Optimasi Membran Sensor Kebocoran.....	37
4.1.1. Optimasi Konsentrasi Reagen <i>m-cresol purple</i>	37
4.1.2. Optimasi Perbandingan Volume Dapar pH 4 dengan Reagen.....	39
4.1.3. Pemilihan Jenis Matriks Sensor Kebocoran	41
4.1.4. Optimasi Konsentrasi Agar.....	43
4.1.5. Pengujian Konsistensi Matriks Agar	45
4.1.6. Optimasi Volume Agar dengan Reagen	46
4.2. Fabrikasi Sensor Kebocoran	48
4.2.1. Pembuatan sensor kebocoran.....	48
4.3. Karakterisasi Sensor Kebocoran.....	49
4.3.1. Waktu Respon.....	49
4.3.2. Reprodusibilitas Sensor Kebocoran.....	52
4.3.3. Waktu Pakai Sensor Kebocoran	53
4.4. Hubungan Perubahan Warna dengan Kualitas Kerupuk	56
4.4.1. Hubungan antara Tekstur Kerupuk dengan Perubahan Intensitas Warna Sensor.....	57
4.4.2. Hubungan Uji Penambahan Bobot terhadap Perubahan Intensitas Warna Sensor.....	60
4.4.3. Hubungan Evaluasi Sensori (Kerenyahan) terhadap Perubahan Intensitas Warna Sensor	62
4.2.2. Aplikasi Sensor Kebocoran Pada Kemasan Kerupuk Udang	66
4.5. Aplikasi dan Cara Penggunaan Sensor	67
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
5.1. Kesimpulan.....	68
5.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN	75

DAFTAR GAMBAR

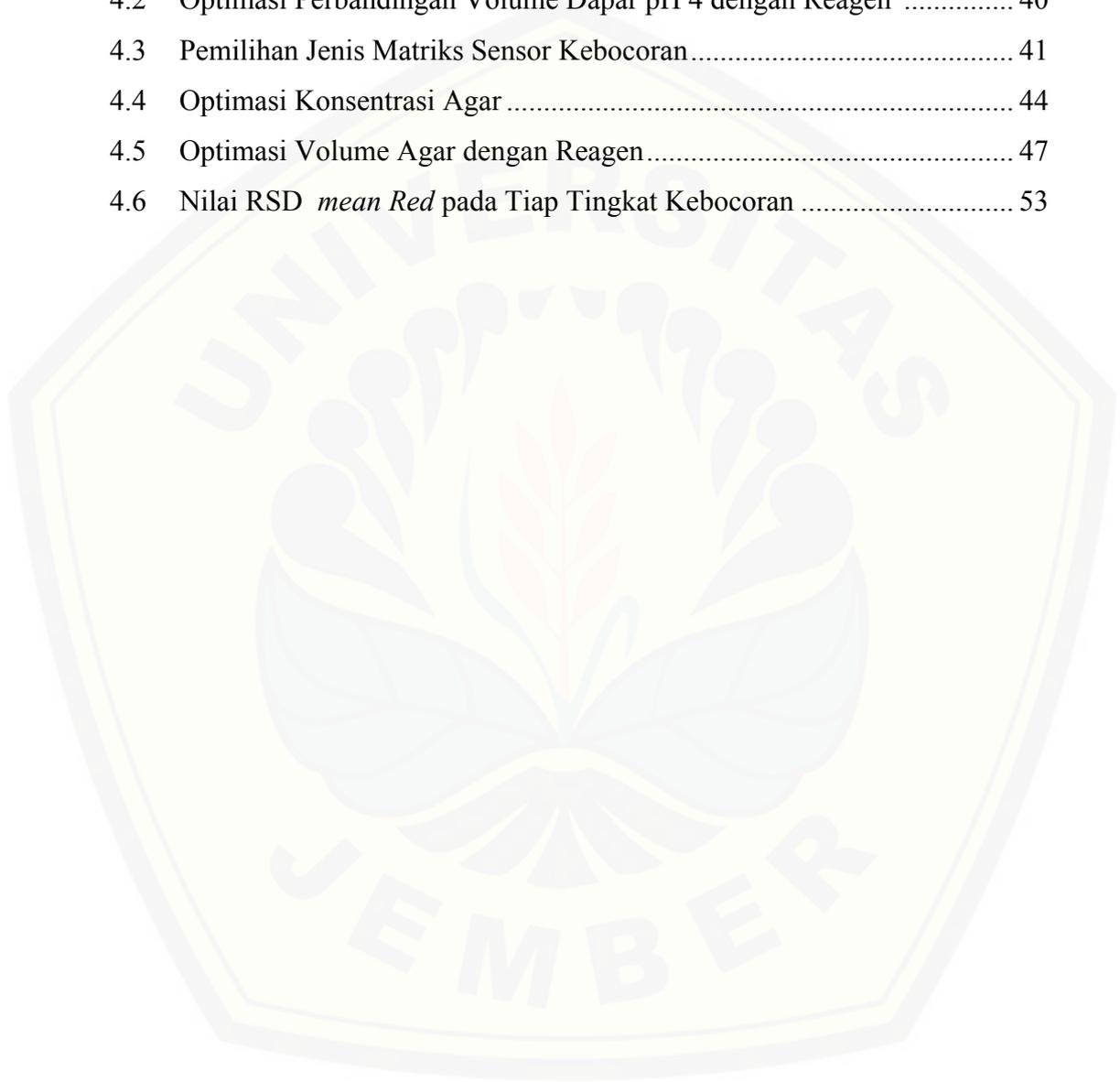
	Halaman
2.1 Skema Sensor Kimia	8
2.2 Struktur <i>m-cresol purple</i>	10
2.3 Teknik Immobilisasi Adsorpsi	15
2.4 Teknik Immobilisasi Enkapsulasi	16
2.5 Teknik Immobilisasi <i>Entrapment</i>	17
2.6 Teknik Immobilisasi Interaksi Elektrostatik	17
2.7 Teknik Immobilisasi <i>Crosslinking</i>	18
2.8 Teknik Immobilisasi Ikatan Kovalen	19
2.9 Contoh Aplikasi Kemasan Pintar	20
2.10 Program <i>ImageJ</i>	21
2.11 Cara Penentuan Nilai RGB	21
2.12 Kerupuk Udang	23
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Desain Sensor Kebocoran	31
3.3 Rancangan Sensor dan Uji Kebocoran.....	36
4.1 Grafik Prosentase Penurunan Bobot vs $\Delta mean Red$	45
4.2 Sensor <i>m-cresol purple</i> dan Perubahan Warna Sensor	49
4.3 Grafik Waktu Respon pada Tingkat Kebocoran (a) 2 mm, (b) 5 mm, (c) 1 cm.....	52
4.4 Grafik Stabilitas Sensor (a) $\Delta mean Red$ vs hari, (b) Stabilitas Sensor Pada Kemasan yang Tidak Dilubangi, (c) Prosentase Penurunan Nilai <i>mean Red</i>	56
4.5 Grafik Hubungan antara Tekstur dengan Perubahan Intensitas Warna Sensor (a) 2 mm, (b) 5 mm, (c) 1 cm	59
4.6 ... Grafik Hubungan Perubahan Intensitas Warna dengan Rata-Rata Prosentase Penambahan Bobot Pada Tingkat Kebocoran (a) 2 mm, (b) 5 mm, (c) 1 cm	62

4.7	Grafik Hubungan Panelis terhadap Perubahan Intensitas Warna Sensor (a) 2mm, (b) 5 mm, (c) 1 cm	65
4.8	Desain Sensor Kebocoran	67
4.9	Aplikasi Sensor pada Kemasan Kerupuk Udang	67
4.11	Desain Kemasan Sensor Kebocoran.....	68



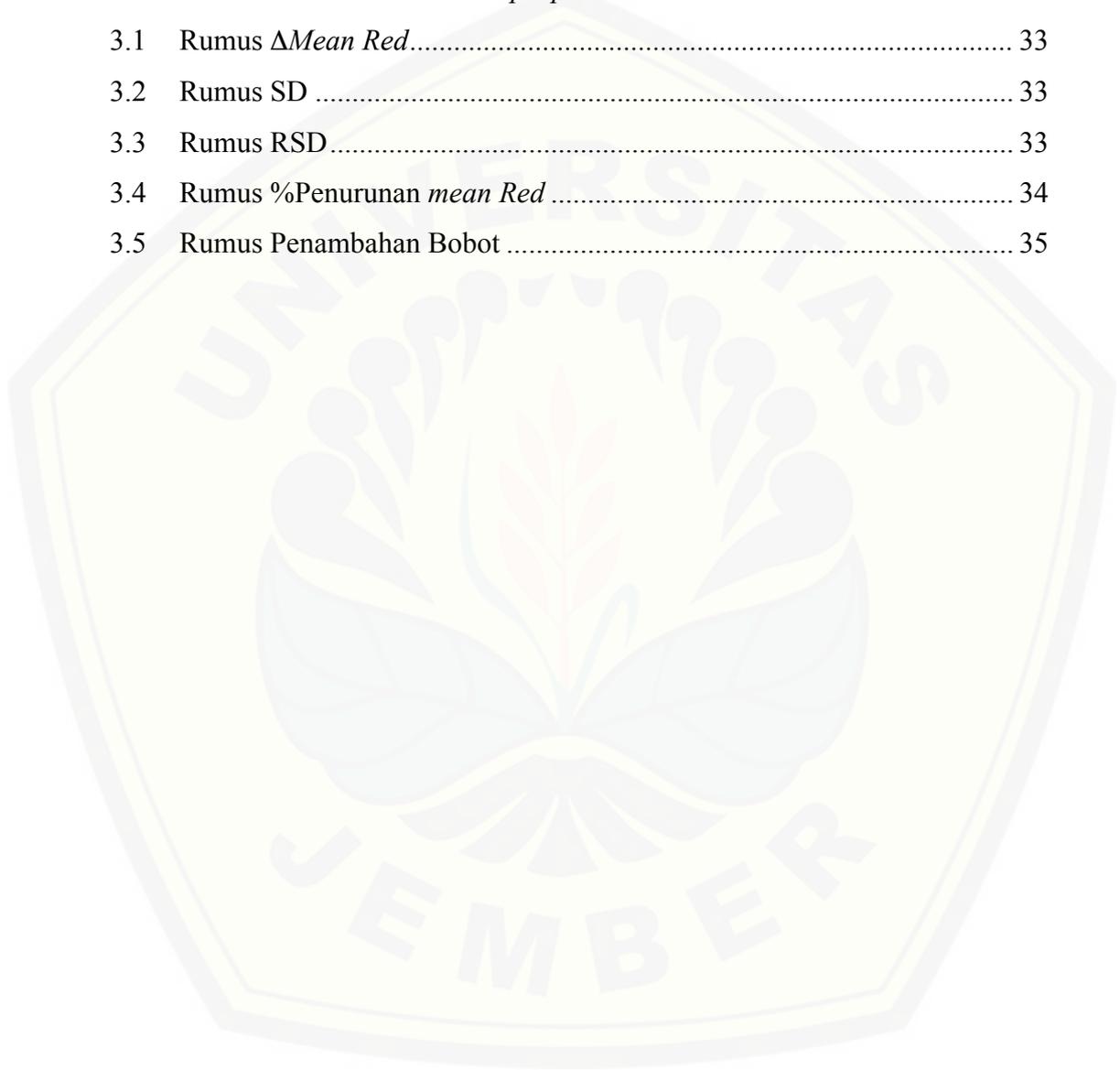
DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Optimasi Konsentrasi Reagen <i>m-cresol purple</i>	38
4.2 Optimasi Perbandingan Volume Dapar pH 4 dengan Reagen	40
4.3 Pemilihan Jenis Matriks Sensor Kebocoran.....	41
4.4 Optimasi Konsentrasi Agar	44
4.5 Optimasi Volume Agar dengan Reagen.....	47
4.6 Nilai RSD <i>mean Red</i> pada Tiap Tingkat Kebocoran	53



DAFTAR RUMUS

	Halaman
2.1 Persamaan Reaksi Perubahan Warna	14
2.2 Persamaan Reaksi <i>m-cresol purple</i>	14
3.1 Rumus $\Delta Mean Red$	33
3.2 Rumus SD	33
3.3 Rumus RSD.....	33
3.4 Rumus %Penurunan <i>mean Red</i>	34
3.5 Rumus Penambahan Bobot	35



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1 Waktu Respon dan Perubahan Intensitas Warna Sensor.....	76
2 Waktu Pakai Sensor	80
3 Uji Tekstur.....	81
4. Uji Penambahan Bobot.....	84
5. Evaluasi Sensori (Kerenyahan)	89
6. Konsistensi Matriks Agar.....	96
7. Kuisisioner Uji Hedonik	97
8. Dokumentasi.....	98
9. Brosur Kemasan	100

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemasan didefinisikan sebagai benda yang memiliki fungsi melindungi produk baik produk olahan atau produk yang disimpan dalam batas waktu tertentu. Oleh karena itu, kemasan dapat mengurangi pengaruh buruk dari unsur perusak luar yang dapat menurunkan kualitas suatu produk (Kaihatu, Thomas., 2014). Fungsi perlindungan ini juga perlu mempertimbangkan kualitas produk yang akan dilindungi. Kualitas produk ketika mencapai konsumen salah satunya tergantung pada kondisi penyimpanan. Kemasan dikatakan baik jika kemampuan daya pembungkusnya dapat melindungi isi kemasan dari udara, bau asing, benturan dan kontaminasi mikroorganisme (Mareta, D. T., 2011).

Makanan ringan merupakan makanan yang memiliki rasa, bentuk, dan tampilan yang dikemas dalam kemasan semenarik mungkin. Salah satu contoh produk makanan ringan yang sudah menjadi andalan komoditi lokal adalah kerupuk udang. Kerupuk udang merupakan produk makanan ringan yang telah tersedia dalam bentuk mentah maupun siap saji. Kerupuk udang kemasan siap saji telah dipasarkan di beberapa gerai waralaba maupun pusat oleh-oleh, warung, hingga rumah makan. Berdasarkan hal tersebut, kerupuk udang akan mengalami proses pendistribusian dan penyimpanan yang berpindah pindah. Proses distribusi dan penyimpanan kerupuk udang yang tidak tepat dapat mengurangi mutu dari aspek kerenyahan kerupuk udang itu sendiri.

Aspek kerenyahan kerupuk udang berkaitan dengan kemasan dari kerupuk. Kemasan kerupuk yang mengalami kerusakan seperti *micro leakage* akan mengakibatkan udara akan masuk. Apabila kerupuk udang terpapar udara secara terus menerus maka mengakibatkan kerenyahan kerupuk akan berkurang. Kerenyahan kerupuk salah satunya ditentukan oleh kadar air. Semakin tinggi kadar airnya, maka kerupuk akan semakin keras dan tidak renyah. Selain itu, Udara yang masuk dapat mengakibatkan mikroba berkembang pada kerupuk karena udara yang mengandung air merupakan tempat yang baik untuk

berkembangnya mikroba.

Hal tersebut menjadi pertimbangan dalam upaya meminimalisir adanya kebocoran pada produk kemasan kerupuk udang siap saji yang dipasarkan secara lokal. Antisipasi yang dapat dilakukan dalam mendeteksi adanya kerusakan seperti *micro leakage* atau kontaminasi mikroba yang diakibatkan oleh kebocoran yaitu dengan menggunakan kemasan pintar. Saat ini telah banyak dikembangkan kemasan pintar yang memiliki fungsi ganda yakni sebagai wadah pelindung sekaligus sebagai pendeteksi atau sensor. Tren pangsa pasar global menyatakan sistem pengemasan seperti kemasan terkontrol yang termasuk didalamnya kemasan aktif dan kemasan pintar terus meningkat dari tahun ke tahun, diestimasi sebesar \$ 33,3 milyar pada tahun 2012, dan diprediksi akan mencapai 44,3 milyar pada tahun 2017 (Widiastuti, 2016).

Kemasan pintar didefinisikan sebagai suatu sistem kemasan yang mampu menjalankan fungsi pintar (seperti penginderaan, mendeteksi, pelacakan, komunikasi, meningkatkan keamanan, meningkatkan kualitas) serta dapat memberikan informasi kepada konsumen mengenai kondisi suatu produk. Hal ini memungkinkan dalam menentukan masa simpan (*shelf life*) suatu produk serta memberikan peringatan dini pada produsen dan konsumen apabila produk mengalami kerusakan atau masalah (Zahera dkk., 2014). Fungsi pintar dari kemasan ini diperoleh dari indikator, sensor dan peralatan yang mampu mengkomunikasikan informasi dalam sistem kemasan. Indikator dapat memberikan informasi mengenai perubahan yang terjadi di dalam produk atau lingkungan sekitar produk melalui perubahan visual. Salah satu indikator yang dapat diaplikasikan pada kemasan pangan ialah indikator kebocoran gas (Widiastuti, 2016).

Indikator kebocoran gas merupakan salah satu aplikasi kemasan pintar yang saat ini sedang dikembangkan. Indikator kebocoran gas memberikan informasi mengenai kondisi makanan setelah terpapar gas atau udara. Peningkatan jumlah gas (seperti oksigen, karbondioksida, nitrogen) dalam kemasan makanan dapat mempercepat proses pembusukan, mengurangi kerenyahan serta memperpendek masa simpan (*shelf life*). Salah satu indikator kebocoran gas yang telah

dikembangkan yakni menggunakan prinsip kolorimetri, seperti *m-cresol purple*. Prinsip kerja indikator kolorimetri *m-cresol purple* yaitu mengamati perubahan warna indikator berdasarkan perubahan pH.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sensor kebocoran gas pada kemasan berbasis indikator kolorimetri *m-cresol purple* menggunakan prinsip reaksi asam-basa. Hal ini dapat diamati secara visual dari perubahan warna membran sensor dari kuning menjadi ungu. Adapun pada penelitian ini dilakukan optimasi kondisi meliputi penentuan konsentrasi reagen, perbandingan volume dapar pH 4 dengan agar, jenis matriks, konsentrasi agar, serta perbandingan agar dengan reagen. Selain itu dilakukan analisis perubahan intensitas warna pada membran sensor menggunakan program *ImageJ*.

Kemasan pintar yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat kepada konsumen sehingga konsumen dapat mengetahui kondisi makanan dalam kemasan tanpa perlu melakukan kontak fisik atau merusak kemasan dengan hanya mengamati secara visual melalui perubahan warna yang terjadi pada sensor kebocoran. Pada industri pangan juga diharapkan mampu memberi peringatan sedari dini jika makanan telah mengalami kebocoran sebelum diedarkan ke pasaran. Penelitian ini selanjutnya berpotensi dapat dikembangkan pada produk kefarmasian dari industri farmasi.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ingin diselidiki dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana kondisi optimal sensor kebocoran berbasis *m-cresol purple* meliputi penentuan konsentrasi reagen, perbandingan volume dapar pH 4 dengan reagen, pemilihan jenis matriks, konsentrasi agar, serta perbandingan volume agar dengan reagen pada kemasan kerupuk udang?
2. Bagaimana karakterisasi sensor kebocoran meliputi waktu respon, perubahan warna membran, reproduibilitas dan waktu pakai pada kerenyahan dan tekstur kerupuk udang?

3. Bagaimana penentuan uji kualitas meliputi tekstur, penambahan bobot, dan evaluasi sensori (kerenyahan) pada kerupuk udang?
4. Bagaimana aplikasi sensor tersebut pada kemasan kerupuk udang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kondisi optimal sensor kebocoran berbasis *m-cresol purple* meliputi konsentrasi reagen, perbandingan volume dapar pH 4 dengan reagen, pemilihan jenis matriks, konsentrasi agar, serta perbandingan volume agar dengan reagen pada kemasan kerupuk udang.
2. Menentukan karakterisasi sensor meliputi waktu respon, perubahan warna membran, reproduibilitas dan waktu pakai pada kerenyahan dan tekstur kerupuk udang.
3. Menentukan bagaimana uji kualitas meliputi tekstur, penambahan bobot, dan evaluasi sensori (kerenyahan) pada kerupuk udang.
4. Menentukan bagaimana aplikasi sensor pada kemasan kerupuk udang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan fungsi kemasan selain sebagai pelindung namun juga dapat mengkomunikasikan kondisi produk dengan indikator kebocoran.
2. Memberi kemudahan bagi konsumen serta industri pangan dalam mendeteksi kebocoran dari kemasan lebih dini.
3. Memberi informasi terkait peluang indikator kebocoran untuk dikembangkan pada produk kefarmasian dari industri farmasi.
4. Memberi informasi terkait pengembangan sensor kebocoran agar dapat digunakan pada penelitian yang lebih lanjut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kemasan

Kemasan memiliki fungsi ganda yakni sebagai pelindung suatu produk dan juga berperan penting dalam menampilkan produk kepada konsumen. Saat ini, fungsi kemasan banyak dikembangkan guna memberikan kemudahan kepada konsumen dalam segala hal, seperti dalam proses penyiapan dan penyimpanan, dan meningkatkan masa simpan suatu produk seperti makanan beku. Fungsi paling mendasar kemasan adalah menjaga serta melindungi makanan dari efek yang merugikan yang diperantarai kondisi lingkungan dan kerusakan yang diakibatkan oleh proses distribusi dan penyimpanan, serta sebagai informasi mengenai komposisi dan kandungan nutrisi dalam produk makanan (Lee dan Rahman, 2014).

Pengemasan makanan merupakan bagian terpenting dari masyarakat saat ini, proses distribusi makanan tidak akan tertangani dengan aman, baik dan efisien tanpa pengemasan. Sistem pengemasan yang buruk mengakibatkan lebih dari 25 % makanan terbuang. Oleh karena itu, sistem pengemasan yang optimal diperlukan untuk mengurangi jumlah makanan yang terbuang (Shin dan Selke, 2014).

Kemasan dapat dikatakan baik jika menjalankan fungsi perlindungan dari 3 faktor besar pengaruh eksternal meliputi, kimiawi, biologi, dan fisik. Perlindungan dari kerusakan kimiawi bertujuan untuk memperkecil perubahan komposisi produk yang diakibatkan pengaruh lingkungan (paparan gas/udara, kelembaban dan cahaya). Sedangkan perlindungan dari kerusakan biologis bertujuan untuk menghalangi kontaminasi mikroba (patogen atau perusak), serangga, tikus dan hewan lain yang merugikan. Hal tersebut dilakukan sebagai upaya agar produk terhindar dari serangan penyakit serta kerusakan dan kebocoran. Perlindungan secara fisik bertujuan untuk melindungi produk dari

kerusakan mekanis serta guncangan selama melalui proses distribusi (Marsh dan Bugusu, 2007).

Menurut Syarief, 1991 faktor kerusakan makanan yang dipengaruhi oleh kemasan dibagi menjadi 2 golongan, yaitu kerusakan yang tidak dapat dicegah hanya dengan kemasan karena ditentukan pula oleh sifat alamiah produk. Kerusakan ini meliputi perubahan fisik, perubahan biokimia, dan kimia serta mikrobiologi. Selanjutnya, kerusakan yang dapat dikontrol dengan kemasan karena hanya dipengaruhi lingkungan seperti, kerusakan mekanis, interaksi dengan udara, absorpsi, perubahan kadar air, interaksi dengan udara, serta kehilangan dan penambahan cita rasa yang tidak diinginkan.

Peningkatan kadar air atau kelembaban didalam suatu produk dapat memicu timbulnya kapang karena kapang memerlukan udara untuk proses respirasinya dan juga memicu timbulnya mikroba karena umumnya mikroba menyukai lingkungan hangat dan lembab. Bahan pangan yang mengandung mikroba akan mengalami perubahan komposisi karena adanya hidrolisis pati selulosa, hidrolisis lemak, sehingga menyebabkan ketengikan. Mikroba juga dapat mencerna protein sehingga menghasilkan bau busuk dan amonia. (Muchtadi dan R, 1989).

Produk yang baik dan berkualitas yang dikemas dalam kemasan yang aman dan sehat menjadi pilihan utama bagi para konsumen. Oleh karena itu, kemasan sebaiknya memenuhi beberapa kriteria antara lain kedap air, kedap udara, kedap air, tidak beracun, mudah dibuka dan ditutup, antimikroba, mudah dibuang, tidak merusak lingkungan serta dapat mencegah kebocoran produk (Kurnia, 2017).

2.2 Sensor

2.2.1 Pengertian Sensor

Sensor didefinisikan sebagai alat atau sistem untuk mendeteksi, mengkuantifikasi energi dengan memberi sinyal deteksi atau memperhitungkan

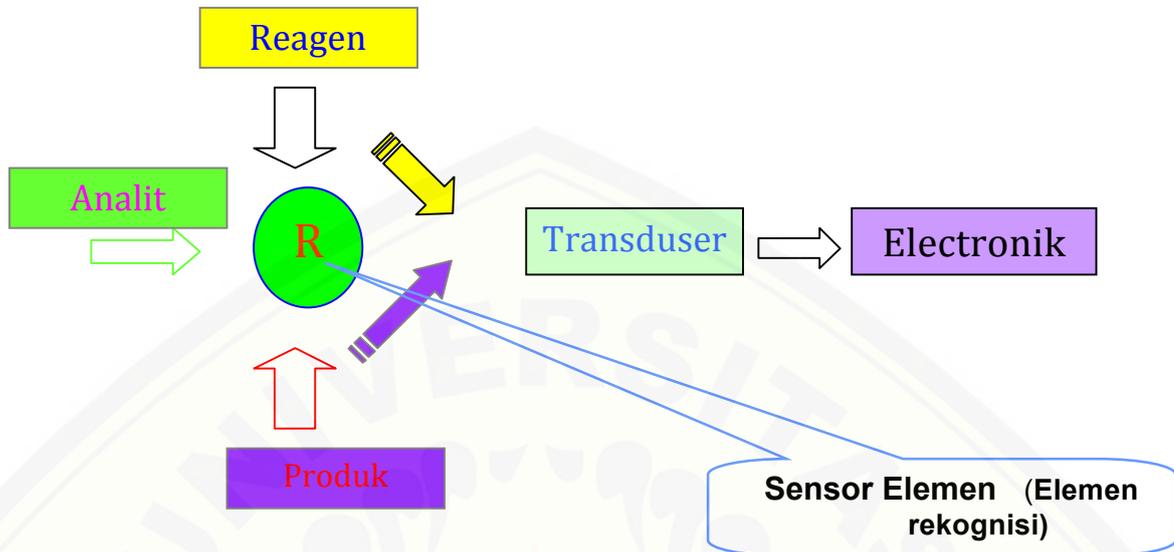
sifat fisika dan kimia terhadap respon alat. Dalam prakteknya, sensor menerjemahkan kuantitas kimia atau fisika untuk mendapat hasil yang dikuantifikasi dan dapat diukur (Ghaani dkk., 2016). Dengan kata lain, sensor didefinisikan sebagai alat yang memiliki kemampuan mengubah suatu energi menjadi energi lain atau suatu alat analisa yang berisi reagen sehingga dapat bereaksi dengan analit/zat tertentu dalam fase larutan atau gas dan selanjutnya dihasilkan perubahan fisika-kimiawi yang diubah menjadi sinyal elektrik proporsional dengan konsentrasi dari analit tersebut (Kuswandi, 2010). Menurut Gunawan (2010), sensor kimia yang terdiri dari 3 bagian penting yaitu, transduser, bagian penerima/ elemen sensoran serta analit. Pengubah dan penyeleksi sifat kimia yang dideteksi menjadi energi yang bisa diukur oleh transduser disebut dengan bagian penerima. Sedangkan bagian yang berfungsi untuk mengubah energi yang membawa sifat kimia menjadi suatu sinyal elektrik disebut dengan transduser.

Sensor kimia diharapkan mampu mengenali atau mendeteksi suatu zat yang ingin dideteksi dengan baik. Menurut Hooker (2002), kemampuan mendeteksi zat meliputi beberapa hal seperti,

1. Sensitivitas, Sensor baik dapat mendeteksi zat meskipun zat dalam jumlah yang sedikit,
2. Waktu respon, merupakan waktu dimana sensor mulai bereaksi dengan analit sehingga analit dapat diteksi. Semakin cepat waktu respon, maka semakin baik sensor tersebut,
3. Waktu pakai/stabilitas merupakan ukuran sejauh mana sensor dapat konsisten memberikan sensitifitas yang sama terhadap suatu zat, serta berapa lama sensor dapat mempertahankan karakteristiknya dalam periode waktu tertentu,

Sensor yang membutuhkan energi yang rendah dalam menjalankan fungsinya serta memiliki harga yang terjangkau dapat menjadi pertimbangan serta memiliki peluang untuk dikembangkan atau digunakan pada produk-produk yang akan dipasarkan.

Berikut merupakan skema dari sensor kimia :



Gambar 2.1 Skema Sensor Kimia, (Kuswandi, 2010)

2.4 Indikator

Indikator didefinisikan sebagai suatu alat atau senyawa kimia untuk mengindikasikan kehadiran senyawa target atau yang biasa disebut analit ditunjukkan dengan perubahan karakteristik, seperti perubahan warna. Perbedaan antara sensor dengan indikator terletak dari ada tidaknya komponen reseptor dan transduser. Indikator tidak memiliki reseptor dan transduser namun dapat menyampaikan informasi melalui perubahan visual secara langsung (Lee dan Rahman, 2014).

Indikator pH merupakan salah satu macam dari indikator yang terdiri dari suatu senyawa kompleks yang memiliki prinsip reaksi asam dan basa. Reaksi antara indikator dengan asam atau basa dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu asam basa. Zat-zat dalam indikator dapat berupa asam atau basa, larut, stabil serta memiliki perubahan warna yang kuat. Masing-masing indikator memiliki derajat ionisasi yang berbeda, sehingga akan menunjukkan warna pada

rentang pH yang berbeda (Khopkar, 1990). Terdapat asam basa organik lemah bentuk tak terurainya dan bentuk ioniknya memiliki warna yang berbeda pada pH yang berbeda. Perubahan pH minimum yang dibutuhkan dalam perubahan warna disebut sebagai rentang indikator (R.A. Day dan Underwood, 2002).

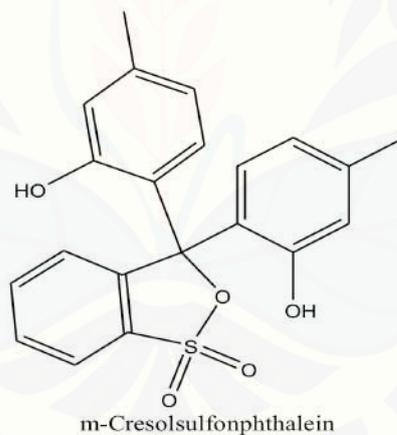
2.4.1 Indikator Kebocoran (*Leakage Indicator*)

Upaya dalam mempertahankan mutu dan keamanan suatu produk makanan sedang banyak dikembangkan, Salah satunya dengan pengembangan indikator kebocoran sebagai pendeteksi adanya kebocoran pada produk. Beberapa indikator kebocoran gas diaplikasikan dalam bentuk label atau yang tercetak dalam kemasan sehingga dapat memonitor keamanan serta kualitas didalam produk. Indikator ini menunjukkan perubahan warna akibat reaksi kimia atau reaksi enzimatik. Indikator ini biasanya memberikan informasi berupa keberadaan udara atau gas dalam suatu kemasan (Lee dan Rahman, 2014).

Udara dalam atmosfer yang sebagian besar meliputi gas nitrogen, oksigen serta karbondioksida merupakan salah satu faktor yang berperan dalam kerusakan makanan, keberadaan udara dalam kemasan makanan dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri serta mikroba dalam makanan, reaksi pencoklatan dari buah dan sayur, oksidasi asam askorbat, serta mempengaruhi rasa dan tekstur makanan. Indikator visual gas telah banyak dikembangkan menggunakan senyawa kimia seperti (*Bromocresol purple, meta-cresol purple* atau *methyl red*). Indikator tersebut tidak hanya memberi informasi terkait konsentrasi gas dalam kemasan selama penyimpanan dan pendistribusian, namun juga mendeteksi kerusakan dini dari makanan tanpa perlu merusak kemasan. Sistem dari indikator ini berdasarkan pada perubahan warna yang bergantung pada pH (Lee dan Rahman, 2014).

2.4.2 *m-cresol purple* (MCP)

m-cresol purple merupakan senyawa kimia yang memiliki nama lain *m-cresolsulfonphthalein* dan berfungsi sebagai indikator pH yang memiliki rumus molekul $C_{21}H_{18}O_5S$. Berat molekul *m-cresol purple* 384,43 g/mol. Senyawa ini berwarna kristal hijau gelap dan tidak berbau. *m-cresol purple* sangat mudah larut dalam air dan etanol (PubChem, 2005). Senyawa ini sensitif terhadap udara. Apabila berinteraksi dengan udara akan menimbulkan reaksi asam-basa yang mengakibatkan perubahan warna dari kuning ke ungu. Perubahan warna kuning terjadi saat kondisi asam dan menjadi ungu pada kondisi basa. Pada kondisi asam *m-cresol purple* berada pada rentang pH 2,8–7,4. Sedangkan pada kondisi basa berada dalam rentang pH 7,4–9,0 (Bishop, 1972). Struktur *m-cresol purple* ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur *m-cresol purple*

2.4.3 Natrium Bikarbonat ($NaHCO_3$)

Natrium bikarbonat merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul $NaHCO_3$ yang memiliki berat molekul 84,01 g/mol mengandung tidak kurang dari 99,0% dan tidak lebih dari 100,0% $NaHCO_3$. Natrium bikarbonat memiliki pemerian berupa serbuk hablur putih, stabil di udara kering, tetapi dalam udara

lembab secara perlahan terurai. Senyawa ini larut sempurna dalam air, namun tidak larut dalam etanol. Natrium bikarbonat meleleh pada suhu 50 °C, dan memiliki densitas sebesar 2,519 pada 20 °C (Inchem, 2002). Natrium bikarbonat bersifat basa, kebasaaan bertambah apabila larutan dibiarkan atau dipanaskan (Depkes RI, 1995). Natrium bikarbonat merupakan alkali natrium yang mempunyai pH 8,3 dalam larutan air dalam konsentrasi 0,85% (Siregar dan Wikarsa, 2010). Natrium bikarbonat memiliki harga yang cukup murah dan banyak ditemukan karena dijual secara komersil dipasaran.

2.4.4 Gliserol

Gliserol merupakan senyawa alkohol trihidrat yang memiliki nama lain propana-1,2,3-triol atau dalam USP disebut gliserin. Gliserol berwarna jernih, kental, dan sedikit terasa manis. Penamaan gliserol hanya digunakan pada senyawa kimia murni 1,2,3-propanatriol atau $\text{CH}_2\text{OHCHOHCH}_2\text{OH}$. Sedangkan penamaan gliserin banyak digunakan pada produk komersial yang mengandung $\geq 95\%$ gliserol. Gliserol memiliki berat molekul 92 g/mol dan memiliki densitas sebesar 1,26 g/cm³. Gliserol sangat mudah larut dalam air dan alkohol, namun sedikit larut dalam dietil eter, etilasetat dan hidrokarbon (UNEP, 2002). Pada pengemasan makanan gliserol banyak digunakan sebagai *plastisizer* untuk memberi kelenturan dan keawetan sehingga kompatibel dengan bahan baku yang digunakan dan tidak mengkristal (Kirk dan Othmer, 1996). Dalam prinsip kerja sensor kebocoran ini, gliserol digunakan sebagai *plastisizer* yang dapat meningkatkan waktu respon (Mills dan Skinner, 2010). Selain itu, fungsi *plastisizer* sendiri adalah untuk menghasilkan ikatan silang pada polimer sehingga mengakibatkan terbentuknya ruang kosong dalam rantai polimer yang membatasi bagian rantai hingga menjadi terfasilitasi serta menambah dari kelenturan polimer itu sendiri (Giant, 2012).

2.4.5 Membran Natural Agar

Agar merupakan dinding sel polisakarida yang diekstrak dari alga merah pilihan (Rhodophyta) kelompok *agarophyte* dan mengandung agarobiose yang tersusun dari beberapa jenis polisakarida seperti, 3,6-anhidro-L-galaktosa, D-galaktopiranosida dan sejumlah kecil metil D-galaktosa. Selain itu juga mengandung kalsium dan mineral lainnya (Angka dan Suhartono, 2000). Substituen kimia tersebut yang bertanggung jawab terhadap berbagai macam sifat gel polisakarida dalam air. Agar banyak digunakan dalam dunia kesehatan, farmasi, industri serta karena memiliki kemampuan membentuk gel yang baik (Romero dkk., 2008).

Agar bersifat reversibel terhadap suhu dimana tidak larut dalam air dingin, namun larut dalam air panas. Gel terbentuk pada suhu 32-39 °C dan tidak mencair lagi pada suhu lebih rendah dari 80°C. Pada suhu 35-50 °C mampu untuk membuat gel yang kuat dengan titik cair 80-100 °C (Imeson, 2010). Kekuatan gel agar sangat bergantung pada perbandingan kandungan agarose terhadap agaropektin (Winarno, 1990). Karakteristik pembentukan gel agar disebabkan oleh tiga buah atom H pada residu 3,6-anhidro-L-galaktosa yang membentuk struktur heliks. Interaksi antar struktur heliks menyebabkan gel terbentuk. Semakin tinggi kandungan gula, maka gel akan menjadi semakin keras dan kohesifitas teksturnya lebih rendah, peningkatan konsentrasi agar juga dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan gel (Glicksman, 1983). Secara keseluruhan sifat *gelling agent* dari agar yang memiliki *range* suhu yang cukup luas merupakan hal yang terpenting dalam pengaplikasian agar dalam sensor kimia ini.

2.4.6 Kertas Whatman

Kertas whatman merupakan salah satu jenis kertas saring yang digunakan pada banyak teknik penyaringan. Whatman dapat mempertahankan kualitas, reproduktifitas, dan menjamin keseragaman untuk semua saringannya. Kertas

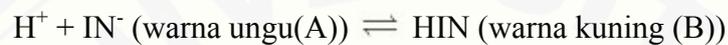
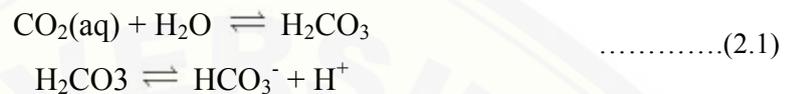
whatman tersedia dalam beberapa jenis diantaranya *cellulose filter papers* serta *qualitative filter papers*. *Cellulose filter papers* whatman dibuat dari kapas lintars berkualitas tinggi, yang telah diuji sedemikian rupa untuk mendapatkan kandungan selulosa α paling sedikit 98%. Kertas saring selulosa ini digunakan untuk filtrasi umum atau biasa yang menunjukkan tingkat retensi partikel hingga 2,5 μm (Spieker, 2011).

Sedangkan *Qualitative filter papers* digunakan dalam teknik analisis kualitatif untuk menentukan dan mengidentifikasi bahan. kertas saring kualitatif ini memberikan laju alir yang lebih baik. Kertas saring berukuran 1 μm merupakan kertas saring yang banyak digunakan dalam aplikasi dengan laju alir serta retensi yang medium. Rentang ukurannya mencakup lingkaran berdiameter 10 mm sampai 500 mm dan lembaran 460 mm x 570 mm. kertas saring ini mudah digunakan dan sekali pakai. Kertas saring ini sering digunakan dalam berbagai macam aplikasi laboratorium dan untuk mengklarifikasi cairan. Selain itu, kertas saring tipe 1 ini juga digunakan dalam pemisahan analitik kualitatif untuk presipitat seperti timbal sulfat, kalsium oksalat dan kalsium karbonat (Spieker, 2011).

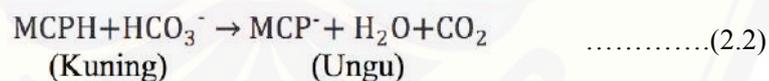
2.4.7 Reaksi Asam-Basa

Reaksi asam-basa merupakan reaksi yang melibatkan asam basa atau reaksi perpindahan/transfer proton H^+ dari asam ke basa. Beberapa teori mengenai asam basa telah dijabarkan salah satunya adalah teori menurut Bronsted Lowry yang mendefinisikan bahwa reaksi asam basa melibatkan transfer proton dari asam ke basa dimana asam merupakan senyawa yang dapat mendonorkan proton H^+ berupa kation atau molekul netral. Sedangkan basa didefinisikan sebagai zat/senyawa yang dapat menerima proton H^+ dapat berupa anion atau molekul netral dan seringkali disebut sebagai akseptor proton. Teori asam-basa Bronsted-Lowry digunakan untuk reaksi dalam larutan dengan pelarut air (Weininger dan Stermitz, 2005). Indikator asam-basa *m-cresol purple* merupakan indikator yang

sensitif terhadap udara. Prinsip kerja dari indikator asam basa itu sendiri ialah ketika terdapat udara misal, karbondioksida yang terlarut dalam larutan penyangga maka akan membentuk senyawa asam karbonat yang berdisosiasi membentuk ion hidrogen dan ion bikarbonat. Selanjutnya ion hidrogen berfungsi sebagai proton. Ion hidrogen akan bereaksi dengan indikator yang menghasilkan bentuk asam yang terprotonasi dimana akan membentuk perubahan warna dari indikator (Puligundla dkk., 2012).



Dalam reaksi asam basa yang terjadi pada *m-cresol purple* perubahan warna terjadi karena interaksi antara indikator dengan proton dimana A merupakan warna dari indikator yang terdeprotonasi dan membentuk B yang merupakan bentuk terprotonasi (Mills dan Skinner, 2010). Namun dalam reaksi yang digunakan pada sensor kebocoran ini menggunakan sistem yang dibalik dimana perubahan warna akan terjadi dari kuning menjadi ungu. Perubahan warna kuning terjadi akibat penambahan larutan dapar pH 4 yang membuat larutan dalam kondisi asam dan ketika berinteraksi dengan udara akan berubah menjadi bentuk terdeprotonasi nya yang berwarna ungu. Reaksi berjalan sebagai berikut :



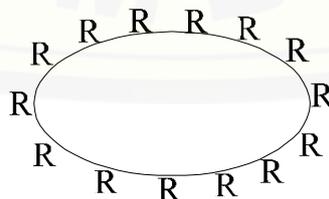
2.5 Teknik Immobilisasi

Pengikatan molekul pada reagen dalam fase pendukung biasa disebut dengan immobilisasi, molekul reagen yang tersebar didalam fase pendukung secara merata dan homogen memungkinkan untuk terjadinya pertukaran dengan larutan sampel dimana terdapat analit untuk dideteksi. Pada sensor kimia, reagen yang digunakan di immobilisasi terlebih dahulu kedalam fase padat agar mudah dikendalikan. Secara umum, tiap teknik immobilisasi tidak selalu dapat digunakan untuk semua jenis reagen. Pemilihan teknik immobilisasi ditentukan oleh

kesesuaiannya dengan sifat reagen. Apabila reagen tidak kompatibel dengan fase pendukungnya, maka proses immobilisasi tidak akan berhasil. Secara garis besar metode immobilisasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu secara fisik dan kimia. Metode proses penyerapan (adsorpsi), enkapsulasi, pemerangkapan (*entrapment*), dan interaksi elektrostatis adalah metode immobilisasi secara fisik. Sedangkan pembentukan ikatan kovalen dan *crosslinking* merupakan metode immobilisasi secara kimia (Kuswandi, 2010).

2.5.1 Teknik Immobilisasi Adsorpsi

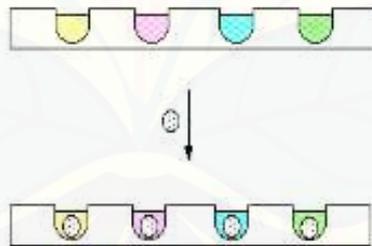
Teknik immobilisasi adsorpsi merupakan teknik yang membutuhkan sedikit preparasi sederhana serta mampu mengikat berbagai macam reagen dari material reagen organik hingga anorganik. Interaksi reagen dengan fase padat biasanya lebih lemah, interaksi tersebut berupa ikatan ion atau ikatan *van der waals* (Eggins, 1996). Secara garis besar, adsorpsi merupakan proses dimana reagen diserap oleh fase pendukung. Adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Pada adsorpsi fisik (fisisorpsi) ikatan yang terbentuk biasanya ikatan *van der waals* atau ikatan hidrogen sehingga ikatan yang terbentuk cukup lemah. Sedangkan adsorpsi kimia (kemisorpsi) memiliki ikatan yang cukup kuat karena proses ini melibatkan ikatan kovalen. Namun, adsorpsi fisik merupakan teknik immobilisasi yang banyak digunakan (Kuswandi, 2010). Berikut ini merupakan contoh gambar dari teknik immobilisasi adsorpsi.



Gambar 2.3 Teknik Immobilisasi Adsorpsi (Kuswandi, 2010)

2.5.2 Teknik Immobilisasi Enkapsulasi

Teknik immobilisasi enkapsulasi menggunakan penjeratan reagen pada material pendukung berupa membran semipermeabel. Teknik ini cukup stabil terhadap perubahan pH, kekuatan ion dan komposisi kimia (Kuswandi, 2010). Enkapsulasi reagen memanfaatkan komponen biologis sebagai membran yang bersifat semipermeabel. Membran ini dapat melindungi reagen sehingga teknik ini menghasilkan reformasi biosensor yang cukup baik. Ukuran pori-pori membran akan menentukan ukuran molekul yang dapat melewatinya. Metode enkapsulasi ini mirip dengan metode *entrapment* dimana reagen berada dalam bentuk bebas namun memiliki ruang terbatas. Banyak material yang telah dimanfaatkan untuk membuat mikrokapsul yang ukurannya bervariasi 10-100 μm sebagai contoh nylon dan selulosa (Eggins, 1996). Kerugiannya adalah terjadi proses difusi akut yang akan dapat mengakibatkan hancurnya membran jika produk dari reaksi terakumulasi dengan cepat serta waktu simpannya yang pendek (Kuswandi, 2010). Teknik immobilisasi enkapsulasi ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

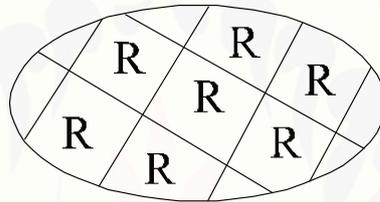


Gambar 2.4 Teknik Immobilisasi Enkapsulasi (Kuswandi, 2010)

2.5.3 Teknik Immobilisasi *Entrapment*

Pada teknik *entrapment* reagen diperangkap dalam sebuah polimer yang semipermeabel. Reagen dicampur dalam larutan monomer, saat terjadi polimerisasi dan membentuk membran, reagen akan terperangkap pada polimer tersebut. Teknik sol-gel merupakan salah satu teknik *entrapment* yang sedang dikembangkan (Eggins, 1996). Cara lain yang dapat digunakan ialah dengan

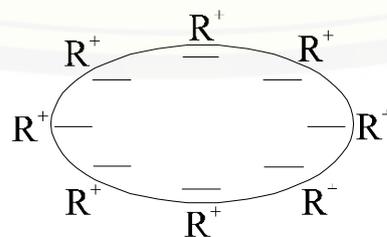
mencampurkan reagen dalam larutan dari polimer dan menambahkan bahan tertentu sebagai *plastisizer*. *Plastisizer* dapat menghasilkan ikatan silang pada polimer yang digunakan. Hal tersebut akan membentuk ruang kosong dalam rantai polimer yang membatasi bagian rantai hingga terfasilitasi, dan menambah kelenturan polimer (Giant, 2012). Teknik immobilisasi *entrapment* memiliki beberapa keuntungan diantaranya memiliki kapasitas pengikatan yang tinggi, memiliki stabilitas yang cukup baik, memiliki waktu simpan yang lama serta biaya yang diperlukan terjangkau (Kuswandi, 2010). Immobilisasi reagen secara *entrapment* ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.5 Teknik Immobilisasi *Entrapment* (Kuswandi, 2010)

2.5.4 Teknik Immobilisasi Interaksi Elektrostatis

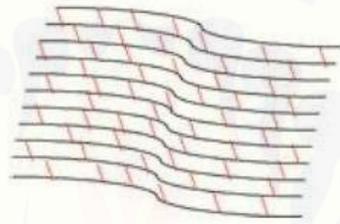
Interaksi elektrostatis atau ionik biasanya digunakan untuk reagen yang mempunyai muatan negatif dengan fase pendukung yang memiliki muatan positif atau sebaliknya. Fase pendukung yang digunakan dalam teknik immobilisasi jenis ini berupa resin penukar ion.



Gambar 2.6 Teknik Immobilisasi Interaksi Elektrostatis (Kuswandi, 2010)

2.5.5 Teknik Immobilisasi *Crosslinking*

Pada metode immobilisasi *crosslinking* biasanya terdapat agen penghubung untuk membentuk ikatan reagen dengan membran atau bahan pendukung lainnya secara kimia. Senyawa dengan dua gugus fungsi dapat mengikatkan reagen pada membran atau bahan pendukung lainnya. Kekurangan dari metode *crosslinking* adalah keterbatasan difusi membran sehingga dapat merusak membran. Hasil dari metode *crosslinking* merupakan senyawa yang sangat kaku (Eggins, 1996).

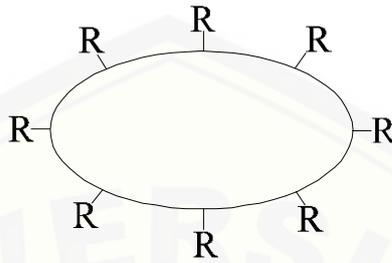


Gambar 2.7 Teknik Immobilisasi *Crosslinking* (Kuswandi, 2010)

2.5.6 Teknik Immobilisasi Ikatan Kovalen

Immobilisasi menggunakan teknik ikatan kovalen bekerja dengan melibatkan ikatan gugus fungsi material pada material pendukungnya sehingga memungkinkan terjadi ikatan antara bioaktif molekul dengan gugus fungsi yang ditambahkan. Bagian dari bioaktif molekul yang dikaitkan bukan merupakan sisi aktif (katalis). Gugus-gugus nukleofilik digunakan seperti, NH_2 , COOH , OH , $\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$, SH dan imidazol. Pada teknik ini reaksi harus dijaga dalam temperatur yang rendah, pH netral serta memiliki kekuatan ionik yang rendah (Eggins, 1996). Kelebihan teknik ikatan kovalen adalah ikatan yang terjadi sangat kuat sehingga tidak terjadi pelepasan material pada matriksnya, stabilitas yang tinggi serta waktu simpan yang lama. Namun teknik ini memiliki kekurangan seperti prosedur yang

cukup rumit, serta biaya yang diperlukan tidak cukup terjangkau (Kuswandi, 2010).

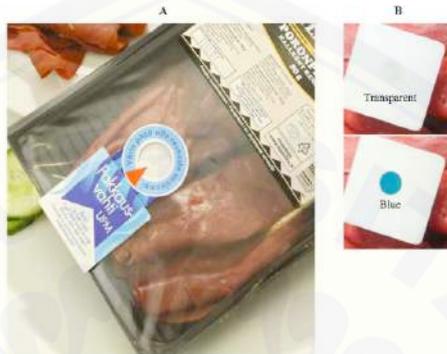


Gambar 2.8 Teknik Immobilisasi Ikatan Kovalen (Kuswandi, 2010)

2.6 Kemasan Pintar (*Intelligent Food Packaging*)

Kemasan pintar didefinisikan sebagai bagian dari sistem pengemasan yang mampu menjalankan fungsi pintar seperti mendeteksi, mengindera, melacak, merekam, mengkomunikasikan untuk mempermudah pengambilan keputusan dalam memperpanjang masa simpan, meningkatkan keamanan, memastikan kualitas, dan menyediakan informasi mengenai kondisi dari suatu produk karena suatu kemasan dapat mengalami kerusakan saat proses distribusi maupun saat penyimpanan (Zahera dkk., 2014). Kebutuhan masyarakat saat ini dapat dikaitkan dengan potensi kemasan pintar untuk dikembangkan. Konsumen, pedagang eceran, industri makanan membutuhkan suatu metode untuk menilai keamanan suatu produk secara cepat, hemat, mudah dan efisien. Metode tersebut juga diharapkan dapat menunjukkan kondisi didalam produk secara *real time* tanpa perlu merusak kemasan (Janjarasskul dan Suppakul, 2009). Kemasan dikatakan pintar jika memiliki kemampuan dalam melacak produk, mengetahui kondisi lingkungan didalam dan diluar produk, dan mampu mengkomunikasikan kepada konsumen. Kemasan pintar juga diharapkan dapat memonitor kualitas atau keamanan dari kondisi suatu produk dan dapat memberikan peringatan secara dini kepada konsumen atau pabrik saat produk mengalami kerusakan. Tren pangsa pasar

global dalam sistem kemasan terkontrol dan komponen *advanced packaging*, termasuk kemasan aktif dan kemasan pintar terus meningkat dari tahun ke tahun, diestimasi sebesar \$ 33,3 milyar pada tahun 2012, dan diprediksi akan mencapai 44,3 milyar pada tahun 2017 (Widiastuti, 2016).



Gambar 2.9 Contoh Aplikasi Kemasan Pintar (Lee dan Rahman, 2014)

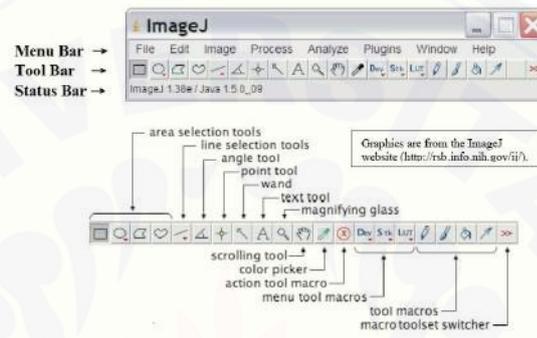
2.7 Analisis Citra

2.7.1 Program *ImageJ*

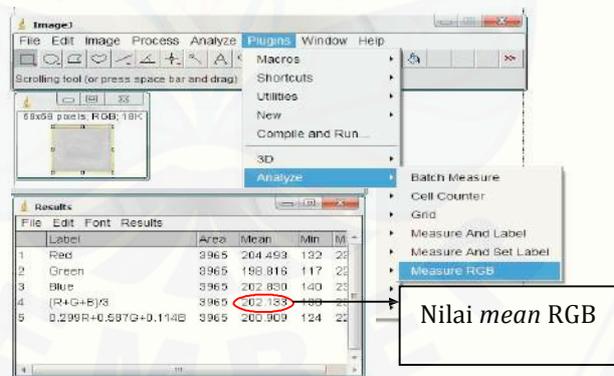
National Institute of Health (NIH) mengembangkan suatu program analisis gambar bernama *ImageJ*. Program tersebut terinspirasi dari *NIH Image*. Program ini dapat mengukur jarak dan sudut, serta mengkalkulasikan area dan pixel sesuai dengan yang diinginkan pengguna. Pada program *ImageJ* terdapat serangkaian menu yang mendukung pengoperasiannya seperti menu *tool bar*, *bar*, dan *status bar*. Ketika kursor menyeleksi area gambar, maka di tampilkan nilai koordinat dan koordinat tersebut diukur dalam pixel/detik. Titik tunggal dalam pencitraan atau elemen terkecil dari gambar yang dapat dikenali itulah yang disebut dengan pixel (Reinking, 2007).

Perhitungan dari nilai warna merah, hijau dan biru merupakan perhitungan warna yang digunakan dalam penentuan nilai RGB program *ImageJ*. Warna cahaya tersebut dapat menghasilkan spektrum sehingga pembaca dapat

melihatnya. Ketika ketiga warna tersebut bercampur maka akan terbentuk warna apapun secara bersamaan. Saat intensitas tertinggi dari tiap warna dicampur maka akan diperoleh cahaya putih. Sedangkan saat intensitas sama dengan nol dicampur, maka akan menghasilkan cahaya hitam. (T. Ferreira, 2012). Cara perhitungan nilai RGB dengan menggunakan program *ImageJ* ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.10 Program *ImageJ*, (Reinking, 2007)



Gambar 2.11 Cara Penentuan Nilai RGB (Reinking, 2007)

2.8 Tinjauan Sampel

2.8.1 Kerupuk

Salah satu jenis makanan kering yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat salah satunya adalah kerupuk. Kerupuk biasanya dikonsumsi sebagai makanan selingan hingga sebagai variasi dalam lauk pauk. Menurut Wijandi (1975), kerupuk dibagi menjadi dua jenis yaitu kerupuk halus dan kerupuk kasar. Kerupuk kasar terbuat dari pati dengan penambahan bumbu lain sedangkan kerupuk halus terbuat dari pati yang ditambahkan bahan lain seperti ikan, udang, telur, garam, gula, pewarna dan bumbu. Kerupuk udang merupakan salah satu jenis kerupuk halus yang eksistensi merambah ke mancanegara dalam bentuk mentahnya (Subekti, 1998). Kerupuk udang terbuat dari bahan baku utama tepung tapioka dan udang disertai penambahan bumbu lain. Spesifikasi udang yang digunakan meliputi udang segar dengan ciri transparan, tidak berbau dan tidak berlendir (Afifah dan Anjani, 2008).

Pengembangan volume pada kerupuk akan membentuk produk kerupuk yang berpori dan memiliki densitas rendah selama digoreng (Siaw dkk., 1985). Tekstur kerupuk berongga dan renyah. Kerenyahan tersebut berpengaruh terhadap kualitas dan dalam metode penyimpanan suatu produk kerupuk (Wiratakusumah dkk., 1989). Salah satu sifat yang dimiliki oleh kerupuk adalah mudah melempem/tidak renyah karena hal ini berkaitan dengan tingkat kelembaban udara dan tingkat penyerapan air pada produk kerupuk. Kadar air berpengaruh besar terhadap kerenyahan kerupuk yang diproduksi. Semakin banyak mengandung air, maka kerupuk akan semakin kurang renyah (Soemarmo, 2005)

Menurut Muliawan (1991), faktor yang mempengaruhi mutu kerupuk udang, antara lain kadar air, daya kembang dan kemasan. Daya kembang dipengaruhi oleh kadar air kerupuk serta penggorengan. Daya kembang kerupuk menentukan kerenyahannya. Semakin tinggi daya kembang kerupuk, maka semakin tinggi pula kerenyahannya (Sudarminto dkk., 2000). Kerenyahan merupakan penentu utama dalam tingkat penerimaan kerupuk pada konsumen (Siaw dkk., 1985). Sedangkan kemasan menjadi salah satu bagian penting dalam

melindungi mutu kerupuk dari pengaruh lingkungan, mempermudah distribusi dan memperpanjang masa simpan kerupuk. Kemasan berperan penting dalam menjaga kualitas kerupuk dari perubahan aroma, warna, tekstur yang dipengaruhi oleh perpindahan uap air dan oksigen (Syarief dan Halid, 1989).



Gambar 2.12 Kerupuk Udang

Secara umum kadar air yang tinggi serta kelembaban relatif dalam kerupuk maupun bahan pangan juga dapat memicu berkembangnya kapang. Berdasarkan data BPOM tahun 2015, tingkat keracunan makanan di Indonesia masih tinggi. Salah satu penyebab keracunan yaitu adanya toksin yang dihasilkan dari kapang. Salah satu jenis toksin tersebut adalah mikotoksin jenis aflatoksin. *Aspergillus flavus* merupakan salah satu jenis kapang yang menghasilkan aflatoksin. Aflotoksin merupakan kelompok metabolit sekunder yang dapat memberi efek berbahaya bagi kesehatan manusia dan hewan karena sifatnya yang mutagenik, karsinogenik, teratogenik dan immunosupresif (Agustina A., Erliana 2011). Keracunan makanan yang marak terjadi di Indonesia pada umumnya terjadi karena terdapat mikroorganisme yang berkembang dalam bahan pangan. Segala macam bahan pangan merupakan tempat yang sesuai untuk perkembangbiakan mikroorganisme. Mikroorganisme dapat mengakibatkan bahan makanan membusuk dan mengalami kerusakan sehingga dapat mempengaruhi kandungan nutrisi makanan tersebut.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental *laboratories*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan November 2017 sampai bulan April 2018, bertempat di laboratorium Sensor Kimia dan Biosensor Fakultas Farmasi dan laboratorium Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Gelas kimia, timbangan digital, pH-meter, batang pengaduk, vial, pipet tetes, pipet volume, mikropipet, *hot plate*, *magnetic stirrer*, blister obat diameter 1,3 cm, rheometer (*rheotex® Type SD-700 Ogawa Seiki*), kamera digital, *scanner*.

3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *m-cresol purple* dalam aquadestilata dengan konsentrasi 1000 ppm, serbuk agar “Agarpac” produksi PT. Dunia Bintang Walet Jakarta-Indonesia, kertas whatman *grade 1*, aluminum foil, NaHCO₃, gliserol, larutan dapar pH 4 (HCl, NaOH, asam sitrat), nipagin serta kerupuk udang.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tingkat kebocoran pada kemasan kerupuk udang.

3.4.2 Variabel Terkontrol

Beberapa variabel yang harus dikendalikan pada penelitian ini meliputi konsentrasi reagen, perbandingan volume dapar pH 4 dengan reagen, pemilihan jenis matriks, konsentrasi agar, serta perbandingan volume agar dengan reagen.

3.4.3 Variabel Terikat

Variabel tergantung pada penelitian ini adalah waktu respon, perubahan warna membran, resprodusibilitas dan waktu pakai.

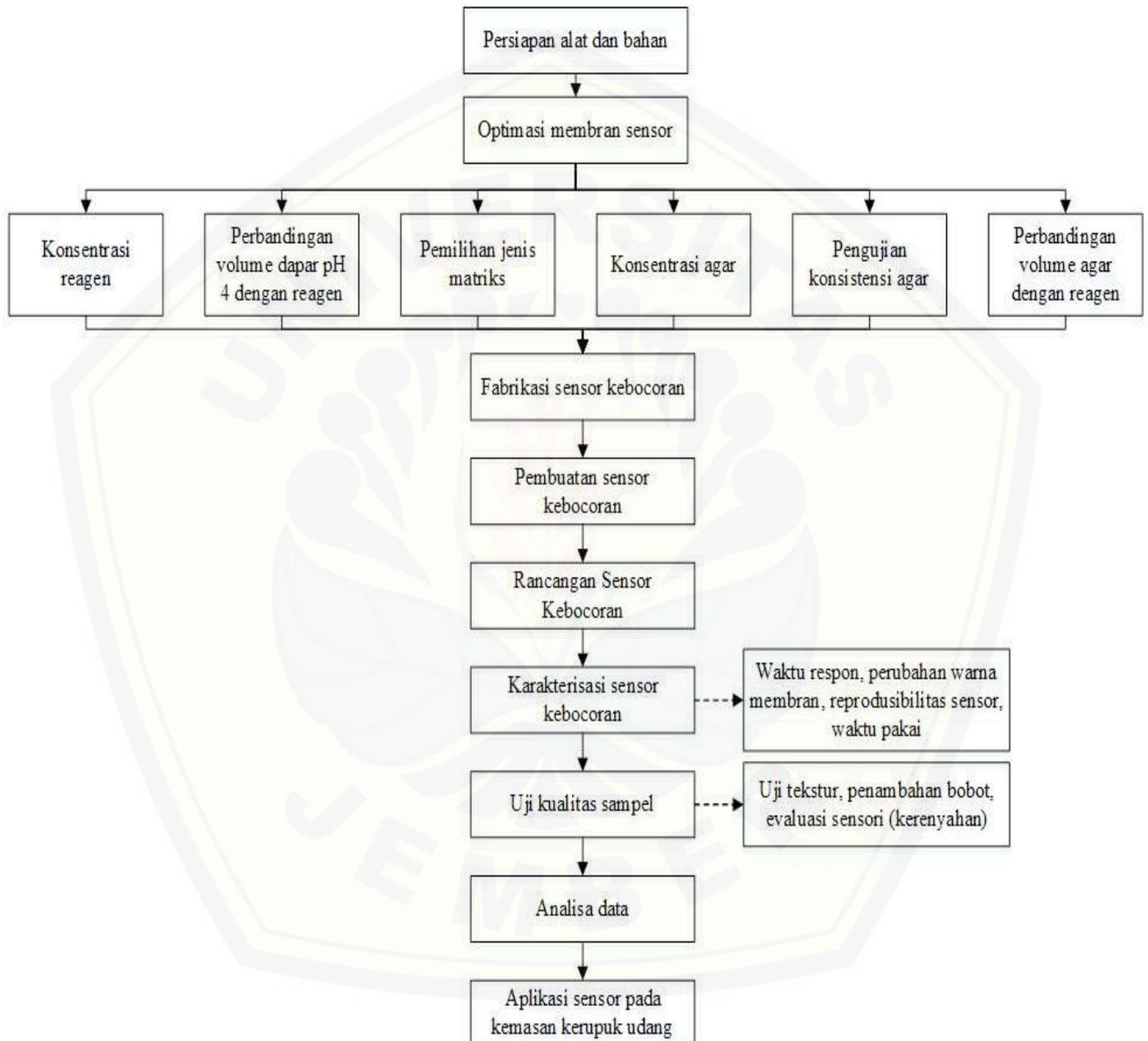
3.5 Definisi Operasional

Definisi operasional dalam penelitian ini adalah:

- a. Kerupuk yang digunakan pada penelitian ini adalah kerupuk udang matang siap santap dalam kemasan plastik merk “Krupuk Udang Palembang” produksi Suryadi Jakarta-Indonesia yang didapatkan di Indomart. Kerupuk udang dipilih karena memiliki masa simpan yang relatif singkat apabila terekspos oleh udara. Kerupuk udang yang digunakan memiliki kerenyahan yang masih baik.
- b. Kerenyahan yang diharapkan meliputi kerupuk yang memiliki tekstur serta rasa yang sudah tidak enak. Kerenyahan tidak dinilai dari patahannya karena kerupuk yang patahannya masih renyah belum tentu memiliki tekstur dan rasa yang enak pula.

- c. Sensor kebocoran terdiri dari larutan indikator yang telah di immobilisasi dalam agar sebagai fase pendukung lalu dicetak dalam blister obat yang ditutup aluminium foil.
- d. Jenis kemasan yang digunakan pada aplikasi sensor kebocoran ini adalah kemasan berbahan plastik bening.
- e. Panelis untuk evaluasi sensori meliputi mahasiswa Fakultas Farmasi Universitas Jember yang berjumlah 11 orang.
- f. Analisis citra menggunakan nilai $\Delta mean Red$ dalam *software ImageJ*.
- g. $\Delta mean Red$ merupakan selisih antara nilai *mean Red* akhir dengan *mean Red* awal.
- h. Membran sensor terdiri dari larutan indikator dan agar.
- i. Penentuan kebocoran udara dilakukan berdasarkan perubahan warna sensor kebocoran dari kuning menjadi ungu.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Optimasi Membran Sensor Kebocoran

3.7.1.1 Optimasi Konsentrasi Reagen

Optimasi konsentrasi *m-cresol purple* dilakukan dengan cara dibuat dalam tiga macam konsentrasi, yaitu: 500 ppm, 1000 ppm dan 2000 ppm. Masing-masing konsentrasi dicampurkan dengan larutan dapar pH 4 dengan perbandingan tertentu. Larutan tersebut diteteskan dalam plat tetes dibiarkan dalam keadaan terbuka untuk memastikan jika larutan indikator *m-cresol purple* dapat bekerja. Dipilih konsentrasi yang dapat memberikan perbedaan perubahan warna signifikan dan paling jelas serta dapat ditangkap secara visual.

3.7.1.2 Optimasi Perbandingan Volume Dapar pH 4 dengan Reagen

Optimasi perbandingan volume dapar pH 4 dengan reagen dilakukan dengan cara dibuat beberapa perbandingan volume dapar pH 4 dengan reagen, yaitu 1:10, 1:4, 1:2, dan 1:1. Volume dapar pH 4 dibuat tetap sebesar 1000 μ l. Perbandingan volume yang dipilih adalah perbandingan yang dapat menunjukkan perubahan warna terbaik serta waktu respon yang sesuai untuk membentuk perubahan warna tersebut.

3.7.1.3 Pemilihan Jenis Matriks Sensor Kebocoran

Pemilihan matriks sensor kebocoran *m-cresol purple* bertujuan untuk menentukan matriks yang paling stabil dan dapat bekerja dengan larutan indikator sehingga menghasilkan perubahan warna yang sama dengan warna pada fase larutan dan memiliki waktu respon yang sesuai. Pemilihan jenis matriks dilakukan dengan cara dibuat tiga jenis matriks, yaitu matriks yang menggunakan kertas whatman, kertas whatman yang dilapisi agar, serta agar.

3.7.1.3.1 Matriks Kertas Whatman

Larutan indikator *m-cresol purple* dengan dapar pH 4 diteteskan pada matriks kertas whatman yang berdiameter 6 mm sebesar 20 μ l pada kertas *whatman* hingga terbasahi semua. Selanjutnya diamati perubahan intensitas warna serta waktu respon yang terjadi untuk memastikan sensor dapat bekerja.

3.7.1.3.2 Matriks Kertas Whatman dengan Agar

Dibuat larutan indikator *m-cresol purple* yang telah berisi larutan dapar pH 4 dalam sejumlah larutan agar dengan perbandingan tertentu. Larutan agar *m-cresol purple* tersebut diteteskan sebesar 30 μ l pada kertas whatman hingga terbasahi semua. Selanjutnya diamati perubahan intensitas warna serta waktu respon yang terjadi untuk memastikan sensor dapat bekerja.

3.7.1.3.3 Matriks Agar

Dibuat larutan agar dengan mencampurkan agar sejumlah tertentu dalam 10 ml aquades dan dipanaskan pada *hotplate* serta *magnetic stirrer*. Selanjutnya larutan indikator *m-cresol purple* yang telah berisi larutan dapar pH 4 dicampurkan kedalam larutan agar dengan perbandingan tertentu hingga homogen. Campuran larutan agar dan indikator *m-cresol purple* tersebut diteteskan sejumlah 200 μ l ke dalam blister obat diameter 1,3 cm. Selanjutnya diamati perubahan intensitas warna serta respon yang terjadi.

3.7.1.4 Optimasi Konsentrasi Agar

Optimasi konsentrasi agar dilakukan dengan beberapa macam penimbangan yaitu, 100 mg, 150 mg, 200 mg, 250 mg, dan 300 mg kemudian masing-masing dilarutkan dalam aquades sampai 10 ml menggunakan *hotplate* serta *stirrer* pada suhu 100°C hingga mendidih. Konsentrasi agar dikatakan optimal apabila memiliki konsistensi membran yang baik, perubahan warna dari kuning menjadi ungu relatif sama dengan fase larutan serta dipilih konsentrasi

yang mampu membentuk membran dengan campuran reagen yang menghasilkan waktu respon yang sesuai serta warna yang homogen.

3.7.1.5 Pengujian Konsistensi Matriks Agar

Pengujian konsistensi dilakukan pada untuk mengetahui konsistensi matriks agar dalam kurun waktu tertentu. Pertama-tama dibuat 6 membran agar yang terdiri dari campuran larutan indikator dan dapar pH 4 yang dilarutkan dalam larutan agar yang telah dipanaskan pada suhu 100°C. Membran agar yang telah siap dicetak dalam blister obat dan ditutup dengan aluminium foil agar udara tidak kontak langsung dengan membran. Selanjutnya dilakukan pengamatan dan penimbangan sejak hari ke-0 hingga hari selanjutnya untuk mengetahui prosentase penyusutan bobotnya.

3.7.1.6 Optimasi Perbandingan Volume Agar dengan Reagen

Dibuat campuran volume agar dengan reagen dalam vial dengan perbandingan volume masing masing 1:10, 1:4, 1:2, dan 1:1. Volume agar dibuat tetap yaitu 1000 µl. Perbandingan volume reagen dan matriks agar terpilih dikatakan optimal apabila mampu menunjukkan perubahan warna membran yang jelas dan dapat dibedakan saat terjadi reaksi dengan udara.

3.7.2 Fabrikasi Sensor Kebocoran

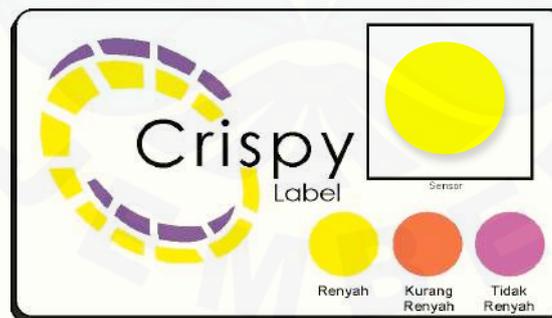
3.7.2.1 Pembuatan Sensor Kebocoran

Dibuat larutan indikator *m-cresol purple* berdasarkan hasil optimasi sebesar 1000 ppm dengan ditimbang sejumlah 0,0105 g *m-cresol purple* dan dilarutkan dalam 7,5 ml aquades lalu ditambahkan 3 ml NaHCO₃. Diambil sebanyak 9 ml dari larutan tersebut dan ditambahkan 4,5 ml NaHCO₃ serta 7 ml gliserol dicampur ad homogen. Larutan di ultrasonik selama 15 menit. Larutan tersebut ditambahkan larutan dapar pH 4 dengan perbandingan 1:2. Setelah

terbentuk larutan indikator, dibuat membran sensor dengan ditimbang 250 mg agar dan dilarutkan dalam 10 ml aquades lalu dipanaskan menggunakan *hot plate* dan *stirrer* pada suhu 100°C sampai mendidih. Kemudian ditambahkan larutan indikator ke dalam larutan agar dengan perbandingan 1:1 dan ditambahkan nipagin 0,1 %. Campuran tersebut dicetak dalam kemasan blister obat dan ditutup dengan aluminium foil.

3.7.2.2 Rancangan Sensor Kebocoran

Rancangan sensor kebocoran kemasan bertujuan untuk memudahkan dalam interpretasi kondisi *real time* kerupuk udang yang disimpan dalam kemasan tanpa perlu membuka kemasan. Hal tersebut dapat meningkatkan nilai tambah dari kerupuk udang. Pada bagian depan kemasan dilengkapi dengan sensor kebocoran yang diletakkan dalam blister dengan permukaan bening. Blister ditutup dengan aluminium foil lalu direkatkan dengan bagian depan kemasan. Pada bagian bawah sensor telah berisi keterangan renyah (warna kuning/*orange*), kurang renyah (warna kuning kemerahan) dan tidak renyah (warna membran sensor berubah menjadi ungu/jelas yang dapat dibedakan).



Gambar 3.2 Desain Sensor

Keterangan :

-  = Sensor *m-cresol purple*
-  = Warna kuning menunjukkan sampel renyah
-  = Warna *orange* kemerahan menunjukkan sampel kurang renyah
-  = Warna ungu menunjukkan sampel tidak renyah/melempem

3.7.3 Karakterisasi Sensor Kebocoran

3.7.3.1 Waktu Respon

Waktu pertama kali sensor direaksikan dengan sampel dan waktu pertama kali respon sensor menghasilkan sinyal yang tetap (*steady state*) disebut dengan waktu respon. Waktu respon seringkali memberikan respon sebesar 90 % dari total respon yang dihasilkan (Kuswandi, 2010). Penentuan waktu respon dilakukan dengan mengukur waktu perubahan warna membran sensor dari kuning menjadi ungu ketika terpapar udara akibat kebocoran kemasan. Sensitifitas waktu respon dapat dilihat dari diameter lubang kebocoran kemasan yang dibuat berbeda, yaitu: 2 mm, 5 mm, 1 cm. Kemudian dihitung secara kuantitatif berdasarkan nilai $\Delta mean Red$ pada kondisi *steady state*.

3.7.3.2 Perubahan Warna Membran Sensor

Perubahan warna sensor dari kuning menjadi ungu menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi udara dalam kemasan. Hal tersebut dapat diuji secara kuantitatif melalui nilai $\Delta mean Red$ dengan menggunakan program “*imageJ*” yang diamati dengan interval waktu setiap 1 jam. Setiap perubahan warna yang

dihasilkan *discan* menggunakan *scanner*. Hasil *scan* dianalisis dengan *software ImageJ*. Hasil yang didapatkan berupa nilai *mean Red* yang digunakan untuk mencari nilai Δ *mean Red*.

$$\Delta \text{ Mean Red} = \text{Mean Red data yang diamati} - \text{Mean Red awal} \dots \dots \dots (3.1)$$

3.7.3.3 Reprodusibilitas Sensor

Reprodusibilitas dapat ditentukan dengan menghitung standar deviasi relatif (RSD) dari 6 kali pengukuran presisi dilakukan selama 3 hari yang diwakili oleh 3 tingkat kebocoran yang berbeda pada masing-masing hari. Data yang diperoleh dihitung dengan menggunakan nilai Δ *mean Red* dalam program “*ImageJ*” serta dihitung nilai RSD. Reprodusibilitas sensor dapat dikatakan baik apabila kesesuaian respon satu dengan yang lain memiliki nilai RSD < 5% (Kuswandi, 2010). Perolehan SD dan RSD dinyatakan dalam rumus 3.2 dan 3.3.

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

$$RSD = \left[\frac{SD}{X} \right] 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

Hasil pengulangan untuk reprodusibilitas disebut presisi. Presisi dalam sensor kimia didefinisikan sebagai kedekatan respon sensor terhadap analit atau derajat pengulangan yang dinyatakan sebagai RSD dari simpangan baku. SD merupakan Standar Deviasi, \bar{x} merupakan sinyal rata-rata sampel dan RSD merupakan Standar Deviasi Relatif. Standar deviasi berfungsi untuk mengukur seberapa luas penyimpangan data tersebut dari nilai rata-ratanya sedangkan standar deviasi relatif (RSD) merupakan nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung (Soewarno, 1995).

3.7.3.4 Penentuan Waktu Pakai Sensor

Kemampuan sensor dapat dikatakan stabil jika membran sensor dapat mempertahankan karakteristiknya dalam kurun periode waktu tertentu dan biasa disebut dengan waktu pakai (Kuswandi, 2010). Pada penentuan waktu pakai pengamatan dilakukan pada sensor tanpa diaktivasi serta sensor yang telah diaktivasi dan diletakkan dalam kemasan yang belum dilubangi. Selanjutnya, pengukuran intensitas warna dengan nilai *mean Red* dan pengukuran perubahan intensitas warna dengan Δ *mean Red* yang dilakukan sejak hari ke-0. Pengukuran kembali dilakukan setiap hari hingga sensor menunjukkan perubahan karakteristik. Kemudian dibuat hubungan antara waktu terhadap nilai *mean Red* dan Δ *mean Red*. Sensor dikatakan masih dapat digunakan atau stabil apabila mengalami penurunan nilai *mean Red* tidak lebih dari 15% (Kuswandi, 2010). Lalu dibandingkan dengan nilai *mean Red* pada hari ke-nol. Perolehan prosentase penurunan *mean Red* dinyatakan dalam rumus 3.4.

$$\% \text{penurunan } mean Red = \frac{mean Red \text{ awal} - mean Red \text{ akhir}}{mean Red \text{ awal}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

3.7.4 Uji Kualitas Sampel

3.7.4.1 Uji Tekstur (g/mm)

Pengujian tekstur ditentukan secara kuantitatif dengan menggunakan rheotex (Sudarmadji dkk., 1989). Pertama-tama ujung jarum rheotex di tempatkan hingga menyentuh permukaan kerupuk dengan *distance* 3 mm. Selanjutnya, ditekan tombol start beberapa detik hingga ujung jarum menekan permukaan kerupuk sampai terdengar bunyi selesai. Lalu dilanjutkan dengan pembacaan angka yang tertera pada rheotex. Uji tekstur dilakukan pengulangan pada 5 titik berbeda lalu diambil nilai rata-ratanya.

3.7.4.2 Penambahan Bobot

Penambahan bobot ditentukan berdasarkan prosentase penambahan bobot bahan sejak awal dikemas hingga saat terjadi kebocoran kemasan. Kerupuk udang dikemas dalam kemasan berisi sensor yang telah diberi lubang kebocoran 2 mm, 5mm, dan 1 cm lalu ditimbang setiap hari untuk mengetahui prosentase penambahan bobot yang terjadi. Persamaan yang digunakan :

$$\text{Penambahan bobot (\%)} = (W_a - W) \div W_a \times 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan :

W_a = bobot bahan awal (g)

W = bobot bahan akhir (g)

3.7.4.3 Evaluasi Sensori (Kerenyahan)

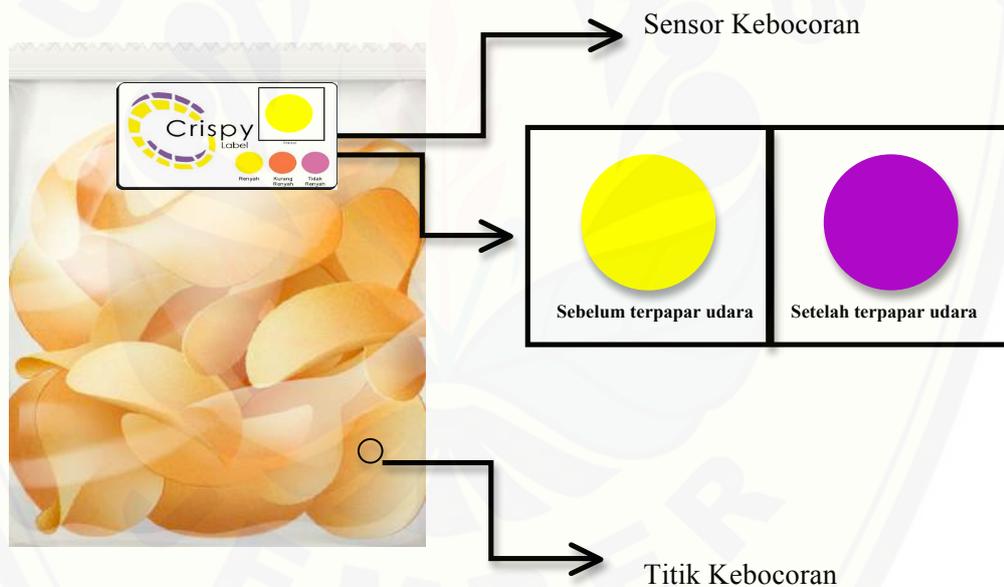
Pada pengujian sifat organoleptik ini digunakan 11 orang panelis dari mahasiswa Fakultas Farmasi Universitas Jember yang dianggap mewakili konsumen dan dapat menilai secara langsung perubahan intensitas warna sensor sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Kriteria panelis yang ditetapkan meliputi berbadan sehat dan tidak sedang menderita flu dan batuk. Panelis diminta menilai berdasarkan kriteria yang telah disediakan dengan skala hedonik mulai dari 1 mewakili renyah yang menunjukkan warna sensor kuning, angka 2 mewakili kurang renyah yang menunjukkan warna sensor kuning kemerahan dan angka 3 mewakili melempem atau tidak renyah yang menunjukkan warna sensor ungu.

3.7.5 Analisa Data

Analisa data penelitian menggunakan metode deskriptif. Metode deskriptif didefinisikan sebagai metode yang bertujuan untuk membuat gambaran, deskripsi sistematis, aktual dan akurat mengenai berbagai sifat serta hubungan antara fenomena yang diselidiki (Nazir, 1998). Data hasil penelitian dibuat dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah dalam intreprtasi.

3.7.6 Aplikasi Kerupuk Pada Kemasan Kerupuk Udang

Aplikasi sensor kebocoran pada kemasan kerupuk udang sebagai pendeteksi adanya peningkatan konsentrasi udara atau gas dilakukan dengan cara sensor diletakkan pada bagian dalam kemasan plastik bening yang telah berisi kerupuk udang. Sensor diletakkan pada bagian atas kemasan. Pada bagian bawah sensor terdapat keterangan dari perubahan warna yang terjadi. Apabila terdapat udara yang masuk lama kelamaan sensor akan berubah. Konsumen dapat membandingkan perubahan warna dengan keterangan yang telah disediakan.



Gambar 3.3 Rancangan Sensor dan Uji Kebocoran Kemasan

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. Kondisi optimal pada sensor kebocoran dengan konsentrasi reagen *m-cresol purple* yang memberikan perubahan warna signifikan dengan nilai $\Delta mean Red$ $76,518 \pm 1,853$ adalah konsentrasi 1000 ppm. Pada perbandingan volume reagen dengan dapar pH 4 yang memberikan perubahan warna dengan intensitas tertinggi dengan nilai $\Delta mean Red$ sebesar $103,100 \pm 1,787$ adalah perbandingan 1:2. Selain itu jenis matriks berdasarkan tingkat perubahan intensitas warna tertinggi serta waktu respon yang sesuai adalah matriks agar dengan nilai $\Delta mean Red$ $90,568 \pm 1,769$. Sedangkan konsentrasi agar yang memiliki konsistensi tertinggi, warna yang homogen, waktu respon yang sesuai serta perubahan intensitas warna tertinggi dengan nilai $\Delta mean Red$ $113,626 \pm 0,243$ adalah konsentrasi 250 mg. Perbandingan volume reagen dengan matriks agar yang memiliki perubahan intensitas warna tertinggi dengan nilai $\Delta mean Red$ $98,351 \pm 2,753$ adalah perbandingan 1:1.
2. Karakterisasi perubahan warna membran sensor pada tingkat kebocoran yang berbeda memberikan korelasi berbanding lurus. Artinya, semakin besar tingkat kebocoran maka perubahan intensitas warna yang ditandai dengan nilai $\Delta mean Red$ semakin besar maka kerupuk semakin tidak renyah. Reprodusibilitas berdasarkan intensitas warna atau nilai *mean Red* menunjukkan bahwa perubahan intensitas warna selama 6 kali replikasi memiliki RSD <5% sehingga dapat dikatakan sensor memiliki keterulangan yang baik. Stabilitas sensor cukup baik karena dapat bertahan dalam waktu 1 minggu dengan prosentase penurunan nilai *mean Red* <15%.

3. Secara umum, uji kualitas kerupuk udang berbanding lurus dengan perubahan intensitas warnanya. Artinya saat sensor semakin berwarna ungu maka semakin besar nilai parameter uji kualitas sampel. Pada parameter uji kualitas tekstur kerupuk dikatakan tidak renyah dengan rata-rata tekstur sebesar 518,3 g/mm. Pada uji penambahan bobot kerupuk dikatakan tidak renyah dengan prosentase rata-rata penambahan bobot sebesar 1,90%. Pada evaluasi sensori, nilai rata-rata panelis saat kerupuk tidak renyah sebesar 2,97 dengan nilai rata-rata $\Delta mean Red$ sebesar 50,12.
4. Aplikasi sensor kebocoran pada sampel kerupuk udang digunakan dengan cara ditempelkan pada bagian dalam kemasan plastik bening yang disertai keterangan perubahan warna yang berfungsi untuk memberikan informasi kepada konsumen tentang kebocoran kemasan selama penyimpanan melalui perubahan warna dari kuning menjadi ungu.

5.2. Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai sensor kebocoran berbasis *m-cresol purple* pada jenis kemasan MAP (*Modified Atmosphere Packaging*).
2. Diperlukan inovasi dalam pengembangan desain sensor kebocoran berbasis indikator *m-cresol purple* agar stabilitas dari sensor dapat lebih baik sehingga dapat memperpanjang masa simpannya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada macam-macam indikator kebocoran lainnya misalnya menggunakan 2,6-dikloroindofenol

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, D. N. dan G. Anjani. 2008. Sistem produksi dan pengawasan mutu kerupuk udang berkualitas ekspor. Palembang
- Angka, S. dan M. Suhartono. 2000. *Bioteknologi Hasil Laut*. Bogor: Pusat Kajian Sumber Daya Pesisir dan Lautan. IPB.
- Agustina, A. dan Erliana Ginting. 2011. Kontaminasi Aflatoksin dan Cara Pengendaliannya Melalui Penanganan Pra dan Paskapanen. *Monograf Balitkabi*. 13:329-347.
- Ayustaningwarno, F. 2014. *Teknologi Pangan (Teori Praktis Dan Aplikasi)*. Edisi 1. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Bishop, E. 1972. *Indicators: International Series of Monographs in Analytical Chemistry*. Jerman: Pergamon Press Ltd.
- DeMan. 1997. *Kimia Makanan*. Edisi 2. Bandung: ITB Press.
- Depkes RI. 1995. *Farmakope Indonesia*. Edisi IV. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Eggins, B. 1996. *Biosensors: An Introduction. C. Advances in Molecular and Cell Biology*.
- 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.
- Giant, B. 2012. Pengembangan Sensor Kebocoran Oksigen Berbasis Metilen Biru (*Methylene Blue*) Pada Produk Makanan Kemasan. *Skripsi*. Jember. Fakultas Farmasi Universitas Jember

- Glicksman, M. 1983. *Food and Hydrocolloids Volume II*. Florida: CRC Press Inc.
- Gunawan, B. 2010. *Teknologi Sensor Kimia*. Mawas: Teknik Elektro Sunan Muria Kudus.
- Hooker, S. A. 2002. Nanotechnology advantages applied to gas sensor development. *The Nanoparticles Conference Proceeding*
- Imeson, A. 2010. *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agent*. United Kingdom: Willey Blackwell Publishing Ltd.
- Janjarasskul, T. dan P. Suppakul. 2009. Active and intelligent packaging: the indication of quality and safety. (January):1–94.
- Kaihatu, T. 2014. *Manajemen Pengemasan*. Edisi I. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Katz, E. dan T. . Labuza. 1981. Effect of water activity on the sensori crispiness and mechanical dhefonation of food product. *Food and Science*. 49:403–408.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analisis*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Kirk, R. . dan D. . Othmer. 1996. *Kirk-Othmer-Encyclopedia-of-Chemical-Technology-Vol-12-.Pdf*. Dalam Encyclopedia of Chemical Technology. Editor by-Watcher. New York: A Willey Interscience Publication, John Wiley and Sons Co.
- Kurnia, E. 2017. Pengaruh desain, label dan kemasan terhadap mutu produk olahan makanan (studi kasus pusat sentra jajanan khas oleh-oleh di bengkel perbaungan, sumatera utara). 1(3):114–121.
- Kuswandi, B. 2010. *Sensor Kimia: Teori, Praktek & Aplikasi*. Jember: Bagian Kimia Farmasi, PS Farmasi Universitas Jember.

- Lee, S. J. dan A. T. M. M. Rahman. 2014. *Chapter 8. Intelligent Packaging for Food Products*. Elsevier Ltd. *Innovations in Food Packaging*.
- Mareta, D. T., dan S. Nu. 2011. Pengemasan produk sayuran dengan bahan kemasan plastik pada penyimpanan suhu ruang dan suhu dingin. *Jurnal Ilmu - Ilmu Pertanian*. 7(1):26–40.
- Marsh, K. dan B. Bugusu. 2007. Food packaging - roles, materials, and environmental issues: scientific status summary. *Journal of Food Science*. 72(3)
- Martini, T. 2002. Kajian Pembuatan Tepung Cake Tape Ubi Kayu (*Manihot Esculenta Crantz*) Instan Dan Penerimaan Konsumen Terhadap Mutu Organoleptik Cake. IPB.
- Mills, A. dan G. A. Skinner. 2010. Water-based colourimetric optical indicators for the detection of carbon dioxide. *The Analyst*. 135(8):1912.
- Muchtadi dan T. R. 1989. *Teknologi Proses Pengolahan Pangan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Muliawan, D. 1991. Pengaruh Berbagai Tingkat Kadar Air Terhadap Pengembangan Kerupuk Sagu Goreng. Institut Pertanian Bogor.
- Nazir, M. 1998. *Metode Penelitian*. Edisi 9. Bogor: Ghalia Indonesia.
- PubChem. 2005. M-Cresol Purple. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/m-Cresol_purple#section=Classification [Diakses pada 20 Februari, 2018].
- Puligundla, P., J. Jung, dan S. Ko. 2012. Carbon dioxide sensors for intelligent food packaging applications. *Food Control*. 25(1):328–333.
- R.A. Day, J. dan A. Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.

- Reinking, L. 2007. ImageJ basics. *Word Journal Of The International Linguistic Association*. (June):1–22.
- Romero, J. B., R. D. Villanueva, dan M. N. E. Montaña. 2008. Stability of agar in the seaweed gracilaria eucheumatoides (gracilariales, rhodophyta) during postharvest storage. *Bioresource Technology*. 99(17):8151–8155.
- Shin, J. dan S. E. M. Selke. 2014. Food packaging. *Food Processing: Principal and Applications*. 249–273.
- Siaw, C. L., A. Z. Idrus, dan S. Y. Yu. 1985. Intermediate technology for fish crackers (kerupuk) production. *Food Technology*
- Siregar, C. J. P. dan S. Wikarsa. 2010. *Teknologi Farmasi Sediaan Tablet: Dasar-Dasar Praktis*. Jakarta: EGC.
- Soekarto, S. 1985. *Penilaian Organoleptik Untuk Industri Pangan Dan Hasil Pertanian*. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Soemarmo. 2005. *Kerupuk Udang*. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Soewarno. 1995. *Analisa Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Jakarta: Erlangga.
- Spieker, M. 2011. Touching lives. *Imprint*. 51(4):61–62.
- Subekti, E. I. 1998. Optimasi Perencanaan Produksi Industri Kerupuk Udang/Ikan Di Perusahaan Kerupuk Indrasari, Indramayu, Jawa Barat. Institut Pertanian Bogor.
- Sudarmadji, S., B. Haryono, dan Suhardi. 1989. *Prosedur Analisa Untuk Bahan Makanan Dan Pertanian*. Edisi 1. Yogyakarta: Liberty.
- Sudarminto, Susanto, dan Florbella. 2000. Pengaruh lama perebusan pada pembuatan rambak sapi. *Makanan Tradisional Indonesia*.

- Syarief, R. 1991. *Pengemasan dan perlindungan mutu bahan pangan*. 1–27. Jakarta: Arcan.
- Syarief, R. dan H. Halid. 1989. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Jakarta: Arcan.
- T. Ferreira, W. R. 2012. ImageJ user guide ij 1.46r. *IJ 1.46r*. 185.
- United Nation Environment Programme (UNEP). 2002. Introduction sodium bicarbonate cas n ° : 144-55-8. 1–130.
- United Nation Environment Programme (UNEP). 2002. Glycerol cas n ° : 56-81-5. 56–81.
- Weininger, S. J. dan F. R. Stermitz. 2005. *Organic chemistry*. 1121.
- Widiastuti, D. W. I. R. 2016. *Kajian kemasan pangan aktif dan cerdas (active and intelligent food packaging)*. Jakarta: BPOM.
- Wijandi, D. 1975. *Pengelolaan Kerupuk Di Sidoarjo*. Bogor:IPB.
- Winarno, F. G. 1990. *Teknologi Pengolahan Rumput Laut*. Jakarta: Pustaka Sinar Harapan.
- Winarno, F. G. 2002. *Kimia Pangan Dan Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Wiratakusumah, M. A., A. Subarna, M. Arpah, D. Syah, dan Siti Isyanu Budiwa. 1989. *Prinsip Teknik Pangan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Zahera, D., B. Mohammed, dan S. Zaki. 2014. The performance of intelligent packaging in the planning of poultry supply chain. *Management*. 4(1):1–9.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Waktu Respon dan Perubahan Intensitas Warna Sensor

1.1 Tingkat Kebocoran 2 mm

Waktu (Jam)	Nilai Red						Mean Red	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
0	233,231	243,744	242,471	237,793	239,809	236,304	238,892	3,93	1,64%
1	224,188	227,816	223,988	230,423	231,718	230,432	228,094	3,35	1,47%
2	223,977	221,923	231,754	227,753	220,852	221,193	224,575	4,34	1,93%
3	215,999	214,275	227,324	219,161	228,411	216,769	220,323	6,06	2,75%
4	218,338	211,863	212,343	217,807	213,930	207,693	213,662	3,99	1,87%
5	195,778	209,615	218,122	204,674	206,771	207,393	207,059	7,24	3,50%
6	199,174	207,844	190,170	196,065	199,664	205,026	199,657	6,31	3,16%
7	203,265	188,070	191,333	183,315	198,059	204,966	194,835	8,66	4,44%
8	197,319	188,725	191,032	174,346	198,027	193,351	190,467	8,67	4,55%
9	186,975	183,424	188,716	184,335	190,766	184,258	186,412	2,91	1,56%
10	191,001	180,515	185,326	184,793	182,026	181,049	184,118	3,90	2,12%
11	183,063	185,588	185,327	183,082	177,084	180,200	182,391	3,25	1,78%
12	184,572	181,302	182,807	176,584	180,008	185,585	181,810	3,28	1,80%
13	183,788	183,384	182,116	176,827	183,301	177,871	181,215	3,06	1,69%

1.2 Tingkat Kebocoran 5 mm

Waktu (Jam)	Nilai Red						Mean Red	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
0	230,959	228,546	228,969	234,815	227,665	235,978	231,155	3,48	1,50%
1	225,064	227,682	222,179	221,307	217,267	221,042	222,424	3,59	1,61%
2	220,527	215,401	213,745	214,000	227,884	216,399	217,993	5,43	2,49%
3	209,775	212,163	208,898	212,378	217,539	214,530	212,547	3,16	1,49%
4	201,834	205,905	209,402	209,696	208,858	213,932	208,271	4,07	1,95%
5	212,505	210,019	192,965	195,059	199,546	209,964	203,343	8,52	4,19%
6	190,103	198,366	201,219	196,065	194,453	199,134	196,557	3,95	2,01%
7	188,027	195,035	180,892	192,942	195,657	194,336	191,148	5,72	2,99%
8	186,943	188,778	183,338	193,013	188,349	181,806	187,038	4,04	2,16%
9	182,647	178,909	181,292	194,705	182,499	195,409	185,910	7,21	3,88%
10	189,836	186,541	172,670	178,085	187,379	189,268	183,963	6,97	3,79%
11	176,259	189,133	184,155	181,551	184,181	187,073	183,725	4,50	2,45%
12	179,268	194,320	183,068	186,859	185,983	172,077	183,596	7,52	4,10%
13	184,345	185,695	182,751	179,087	182,685	185,792	183,393	2,51	1,37%

1.3 Tingkat Kebocoran 1 cm

Waktu (Jam)	Nilai Red						Mean Red	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
0	229,085	224,458	231,815	230,653	235,284	231,032	230,388	3,56	1,55%
1	227,129	222,569	219,915	231,636	221,675	224,084	224,501	4,26	1,90%
2	220,381	213,677	210,139	214,531	209,542	213,573	213,641	3,88	1,82%
3	206,644	205,402	206,193	209,370	209,542	213,573	208,454	3,03	1,45%
4	196,442	192,801	195,956	199,532	196,229	198,289	196,542	2,30	1,17%
5	187,116	192,222	191,853	195,099	193,284	197,649	192,871	3,54	1,83%
6	188,425	190,507	185,808	190,141	185,055	185,728	187,611	2,40	1,28%
7	181,761	188,340	184,961	184,176	188,715	187,458	185,902	2,73	1,47%
8	181,411	185,708	180,525	187,786	179,890	186,979	183,717	3,50	1,91%
9	186,226	182,685	185,214	177,332	184,731	185,793	183,664	3,34	1,82%
10	182,580	188,290	190,064	179,602	170,150	190,475	183,527	7,86	4,28%
11	180,171	185,446	181,173	181,795	185,777	186,070	183,405	2,64	1,44%
12	185,809	185,155	185,708	172,927	183,854	186,014	183,245	5,11	2,79%
13	188,339	175,996	180,444	185,774	182,862	184,669	183,014	4,35	2,38%

Hubungan waktu dan rata rata Mean Red

Waktu (Jam)	Tingkat Kebocoran		
	2 mm	5 mm	1 cm
0	238,892	231,155	230,388
1	228,094	222,424	224,501
2	224,575	217,993	213,641
3	220,323	212,547	208,454
4	213,662	208,271	196,542
5	207,059	203,343	192,871
6	199,657	196,557	187,611
7	194,835	191,148	185,902
8	190,467	187,038	183,717
9	186,412	185,910	183,664
10	184,118	183,963	183,527
11	182,391	183,725	183,405
12	181,810	183,596	183,245
13	181,215	183,393	183,014

Nilai RSD nilai *Mean Red* sensor

Waktu (Jam)	Tingkat Kebocoran		
	2 mm	5 mm	1 cm
0	1,64%	1,50%	1,55%
1	1,47%	1,61%	1,90%
2	1,93%	2,49%	1,82%
3	2,75%	1,49%	1,45%
4	1,87%	1,95%	1,17%
5	3,50%	4,19%	1,83%
6	3,16%	2,01%	1,28%
7	4,44%	2,99%	1,47%
8	4,55%	2,16%	1,91%
9	1,56%	3,88%	1,82%
10	2,12%	3,79%	4,28%
11	1,78%	2,45%	1,44%
12	1,80%	4,10%	2,79%
13	1,69%	1,37%	2,38%

Nilai Δ *Mean Red*

Tingkat Kebocoran 2 mm

Waktu (Jam)	Nilai Δ <i>Red</i>						Δ <i>Mean Red</i>	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00%
1	9,043	15,928	18,483	7,370	8,091	5,872	10,80	5,13	47,55%
2	9,254	21,821	10,717	10,040	18,957	15,111	14,32	5,20	36,34%
3	17,232	29,469	15,147	18,632	11,398	19,535	18,57	6,08	32,73%
4	14,893	31,881	30,128	19,986	25,879	28,611	25,23	6,55	25,96%
5	37,453	34,129	24,349	33,119	33,038	28,911	31,83	4,57	14,36%
6	34,057	35,900	52,301	41,728	40,145	31,278	39,23	7,47	19,04%
7	29,966	55,674	51,138	54,478	41,750	31,338	44,06	11,48	26,06%
8	35,912	55,019	51,439	63,447	41,782	42,953	48,43	10,09	20,83%
9	46,256	60,320	53,755	53,458	49,043	52,046	52,48	4,79	9,13%
10	42,230	63,229	57,145	53,000	57,783	55,255	54,77	7,03	12,83%
11	50,168	58,156	57,144	54,711	62,725	56,104	56,50	4,13	7,31%
12	48,659	62,442	59,664	61,209	59,801	50,719	57,08	5,85	10,25%
13	49,443	60,360	60,355	60,966	56,508	58,433	57,68	4,36	7,55%

Tingkat Kebocoran 5 mm

Waktu (Jam)	Nilai Δ Red						Δ Mean Red	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00%
1	5,895	0,864	6,790	13,508	10,398	14,936	8,73	5,25	60,12%
2	10,432	13,145	15,224	20,815	0,219	19,579	13,24	7,47	56,43%
3	21,184	16,383	20,071	22,437	10,126	21,448	18,61	4,66	25,02%
4	29,125	22,641	19,567	25,119	18,807	22,046	22,88	3,80	16,62%
5	18,454	18,527	36,004	39,756	28,119	26,014	27,81	8,80	31,63%
6	40,856	30,180	27,750	38,750	33,212	36,844	34,60	5,09	14,73%
7	42,932	33,511	48,077	41,873	32,008	41,642	40,01	6,10	15,25%
8	44,016	39,768	45,631	41,802	39,316	54,172	44,12	5,49	12,45%
9	48,312	49,637	47,677	40,110	45,166	40,569	45,25	4,07	9,00%
10	41,123	42,005	56,299	56,730	40,286	46,710	47,19	7,56	16,01%
11	54,700	39,413	44,814	53,264	43,484	48,905	47,43	5,93	12,50%
12	51,691	34,226	45,901	47,956	41,682	63,901	47,56	9,99	21,01%
13	46,614	42,851	46,218	55,728	44,980	50,186	47,76	4,58	9,59%

Tingkat Kebocoran 1 cm

Waktu (Jam)	Nilai Δ Red						Δ Mean Red	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6			
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00%
1	1,956	1,889	11,900	0,983	13,609	6,948	6,21	5,51	88,66%
2	8,704	10,781	21,676	16,122	25,742	17,459	16,75	6,42	38,36%
3	22,441	19,056	25,622	21,283	25,742	17,459	21,93	3,38	15,41%
4	32,643	31,657	35,859	31,121	39,055	32,743	33,85	3,04	8,97%
5	41,969	32,236	39,962	35,554	42,000	33,383	37,52	4,35	11,60%
6	40,660	33,951	46,007	40,512	50,229	45,304	42,78	5,65	13,22%
7	47,324	36,118	46,854	46,477	46,569	43,574	44,49	4,31	9,69%
8	47,674	38,750	51,290	42,867	55,394	44,053	46,67	6,04	12,94%
9	42,859	41,773	46,601	53,321	50,553	45,239	46,72	4,47	9,56%
10	46,505	36,168	41,751	51,051	65,134	40,557	46,86	10,31	22,01%
11	48,914	39,012	50,642	48,858	49,507	44,962	46,98	4,35	9,26%
12	43,276	39,303	46,107	57,726	51,430	45,018	47,14	6,52	13,82%
13	40,746	48,462	51,371	44,879	52,422	46,363	47,37	4,33	9,14%

Hubungan waktu dan rata rata Δ Mean Red

Waktu (Jam)	Tingkat Kebocoran		
	2 mm	5 mm	1 cm
0	0,00	0,00	0,00
1	10,80	8,73	6,21
2	14,32	13,24	16,75
3	18,57	18,61	21,93
4	25,23	22,88	33,85
5	31,83	27,81	37,52
6	39,23	34,60	42,78
7	44,06	40,01	44,49
8	48,43	44,12	46,67
9	52,48	45,25	46,72
10	54,77	47,19	46,86
11	56,50	47,43	46,98
12	57,08	47,56	47,14
13	57,68	47,76	47,37

Lampiran 2. Waktu Pakai Sensor

Hari ke-	Nilai Red				Mean Red	Δ Mean Red	% Penurunan mean Red	SD	RSD
	1	2	3	4					
0	219,247	220,119	220,901	218,474	219,685	0,00	0%	1,05	0,48%
1	214,060	211,366	213,233	214,871	213,383	6,30	2,87%	1,50	0,70%
2	209,049	213,455	211,624	212,894	211,756	7,93	3,61%	1,96	0,93%
3	209,796	211,278	208,190	206,498	208,941	10,74	4,89%	2,06	0,99%
4	211,587	207,377	205,073	203,838	206,969	12,72	5,79%	3,41	1,65%
5	203,001	198,687	205,092	203,514	202,574	17,11	7,79%	2,74	1,35%
6	199,271	204,187	197,538	197,230	199,557	20,13	9,16%	3,22	1,61%
7	195,433	199,453	194,391	200,554	197,458	22,23	10,12%	3,00	1,52%
8	190,542	181,770	184,056	187,792	186,040	33,65	15,32%	3,89	2,09%

Stabilitas Sensor pada Kemasan Tanpa Dilubangi

Hari ke-	Nilai Red			<i>Mean Red</i>	Δ <i>Mean Red</i>	SD	RSD
	Rep 1	Rep 2	Rep 3				
1	239,714	235,962	237,696	237,791	0,000	1,88	0,79%
2	233,900	227,225	228,738	229,954	7,836	3,50	1,52%
3	222,300	223,743	219,086	221,710	16,081	2,38	1,08%
4	214,714	219,400	213,914	216,009	21,781	2,96	1,37%
5	209,616	202,551	204,362	205,510	32,281	3,67	1,79%
6	198,366	196,065	194,453	196,295	41,496	1,97	1,00%
7	197,212	196,115	195,210	196,179	41,612	1,00	0,51%
8	197,006	195,883	194,725	195,871	41,919	1,14	0,58%

Lampiran 3. Uji Tekstur

4.1. Tingkat Kebocoran 2 mm

Waktu (Jam)	Replikasi						Tekstur (g/mm)	SD	RSD
	1	2	3	4	5	6			
0	194,6	205,6	194,2	202,8	190,2	216,6	200,7	9,70	4,84%
1	223,6	207,8	208,0	216,8	220,0	219,0	215,9	6,55	3,03%
2	227,8	231,2	211,2	233,4	219,6	224,6	224,6	8,20	3,65%
3	246,8	240,0	232,8	229,2	234,2	252,6	239,3	8,99	3,76%
4	266,4	255,4	248,6	266,8	263,8	264,4	260,9	7,31	2,80%
5	296,8	302,6	281,6	282,2	275,2	279,4	286,3	10,82	3,78%
6	306,2	292,2	306,2	313,2	300,4	304,6	303,8	7,02	2,31%
7	356,0	335,2	349,8	321,0	356,2	354,4	345,4	14,34	4,15%
8	377,0	383,6	390,4	401,4	377,2	379,6	384,9	9,53	2,48%
9	420,0	462,0	475,8	433,4	452,2	449,2	448,8	19,91	4,44%
10	501,4	477,4	493,8	484,2	476,4	480,4	485,6	9,98	2,05%
11	521,2	519,8	509,2	525,0	514,2	504,0	515,6	7,94	1,54%
12	529,4	507,8	530,2	526,6	531,2	525,0	525,0	8,75	1,67%
13	558,6	569,6	556,4	547,2	565,6	554,0	558,6	8,07	1,45%

Hubungan antara Δ Mean Red dan nilai tekstur

Waktu (Jam)	Δ Mean Red	Tekstur (g/mm)
0	0,00	200,7
1	10,80	215,9
2	14,32	224,6
3	18,57	239,3
4	25,23	260,9
5	31,83	286,3
6	39,23	303,8
7	44,06	345,4
8	48,43	384,9
9	52,48	448,8
10	54,77	485,6
11	56,50	515,6
12	57,08	525,0
13	57,68	558,6

4.2. Tingkat Kebocoran 5 mm

Waktu (Jam)	Replikasi						Tekstur (g/mm)	SD	RSD
	1	2	3	4	5	6			
0	215,2	198,8	208,6	203,0	195,4	213,2	205,7	7,95	3,86%
1	219,0	215,8	217,8	227,8	213,6	222,6	219,4	5,10	2,32%
2	251,8	242,2	247,0	259,0	250,2	245,4	249,3	5,87	2,35%
3	264,4	260,4	277,6	280,4	264,8	268,6	269,4	7,95	2,95%
4	299,4	300,2	316,6	300,8	301,0	295,0	302,2	7,41	2,45%
5	339,8	323,8	333,2	325,0	323,8	332,2	329,6	6,51	1,98%
6	366,8	333,4	370,0	360,4	364,4	367,6	360,4	13,64	3,78%
7	393,0	415,6	396,4	412,6	416,0	413,4	407,8	10,31	2,53%
8	457,2	449,2	452,2	439,4	453,4	447,6	449,8	6,11	1,36%
9	497,4	474,8	454,8	472,6	487,2	491,0	479,6	15,44	3,22%
10	492,8	513,0	507,8	496,6	531,2	533,4	512,5	17,03	3,32%
11	567,0	515,0	513,0	529,8	510,0	540,0	529,1	21,81	4,12%
12	558,2	550,8	562,2	558,8	510,0	540,0	546,7	19,63	3,6%
13	577,4	580	589,6	597,8	577,2	582,4	584,1	8,13	1,39%

Hubungan antara Δ Mean Red dan nilai tekstur

Waktu (Jam)	Δ Mean Red	Tekstur (g/mm)
0	0,00	205,7
1	8,73	219,4
2	13,24	249,3
3	18,61	269,4
4	22,88	302,2
5	27,81	329,6
6	34,60	360,4
7	40,01	407,8
8	44,12	449,8
9	45,25	479,6
10	47,19	512,5
11	47,43	529,1
12	47,56	546,7
13	47,76	584,1

4.3. Tingkat Kebocoran 1 cm

Waktu (Jam)	Replikasi						Tekstur (g/mm)	SD	RSD
	1	2	3	4	5	6			
0	206,0	202,6	210,6	208,6	199,0	200,0	204,5	4,70	2,30%
1	222,2	237,0	213,2	219,2	219,8	231,6	223,8	8,80	3,93%
2	259,2	242,8	247,8	248,6	264,2	239,2	250,3	9,60	3,84%
3	307,6	301,0	293,2	303,8	284,6	318,4	301,4	11,69	3,88%
4	342,6	357,2	353,2	348,8	352,8	355,6	351,7	5,29	1,51%
5	408,2	392,6	400,8	398,8	401,2	399,2	400,1	5,02	1,25%
6	459,0	441,0	455,2	444,4	441,4	447,4	448,1	7,47	1,67%
7	500,2	504,6	505,6	499,6	504,8	507,4	503,7	3,11	0,62%
8	521,4	513,0	535,4	526,2	531,2	533,4	526,8	8,45	1,60%
9	549,6	524,6	537,2	532,8	538,8	521,2	534,0	10,30	1,93%
10	557,2	566,4	559,8	534,8	554,8	546,6	553,3	11,12	2,01%
11	558,8	576,6	585,8	569,8	576,6	561,6	571,5	10,19	1,78%
12	579,0	591,8	585,0	598,0	599,8	572,4	587,7	9,89	1,68%
13	594,2	608,8	588,6	626,2	607,4	594,6	603,3	13,76	2,28%

Waktu (Jam)	Δ Mean Red	Tekstur (g/mm)
0	0,00	204,5
1	6,21	223,8
2	16,75	250,3
3	21,93	301,4
4	33,85	351,7
5	37,52	400,1
6	42,78	448,1
7	44,49	503,7
8	46,67	526,8
9	46,72	534,0
10	46,86	553,3
11	46,98	571,5
12	47,14	587,7
13	47,37	603,3

Lampiran 4. Uji Penambahan Bobot

4.1. Tingkat Kebocoran 2 mm

Waktu	Replikasi						Rata-rata	SD	RSD
	1	2	3	4	5	6			
0	2,5207	2,4296	2,4796	2,4178	2,3696	2,2095	2,4045	0,1088	4,53%
1	2,5210	2,4310	2,4803	2,4188	2,3702	2,2109	2,4054	0,1085	4,51%
2	2,5216	2,4320	2,4815	2,4212	2,3720	2,2110	2,4066	0,1088	4,52%
3	2,5222	2,4330	2,4830	2,4229	2,3742	2,2130	2,4081	0,1083	4,50%
4	2,5261	2,4345	2,4848	2,4238	2,3756	2,2139	2,4098	0,1091	4,53%
5	2,5289	2,4376	2,4879	2,4257	2,3772	2,2167	2,4123	0,1092	4,53%
6	2,5333	2,4428	2,4926	2,4294	2,3824	2,2222	2,4171	0,1088	4,50%
7	2,5391	2,4492	2,4990	2,4301	2,3896	2,2290	2,4227	0,1084	4,47%
8	2,5483	2,4579	2,5102	2,4437	2,3967	2,2368	2,4323	0,1094	4,50%
9	2,5583	2,4616	2,5140	2,4488	2,4066	2,2450	2,4390	0,1088	4,46%
10	2,5626	2,4675	2,5194	2,4542	2,4139	2,2510	2,4448	0,1082	4,43%
11	2,5698	2,4699	2,5221	2,4595	2,4158	2,2520	2,4482	0,1099	4,49%
12	2,5710	2,4777	2,5294	2,4662	2,4180	2,2541	2,4527	0,1108	4,52%
13	2,5755	2,4807	2,5317	2,4702	2,4200	2,2563	2,4557	0,1114	4,53%

Prosentase penambahan Bobot Sampel

Waktu (Jam)	Replikasi						% Rata-rata penambahan bobot
	1	2	3	4	5	6	
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1	0,01%	0,06%	0,03%	0,04%	0,03%	0,06%	0,04%
2	0,04%	0,10%	0,08%	0,14%	0,10%	0,07%	0,09%
3	0,06%	0,14%	0,14%	0,21%	0,19%	0,16%	0,15%
4	0,21%	0,20%	0,21%	0,25%	0,25%	0,20%	0,22%
5	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,32%	0,33%	0,33%
6	0,50%	0,54%	0,52%	0,48%	0,54%	0,57%	0,53%
7	0,73%	0,81%	0,78%	0,51%	0,84%	0,88%	0,76%
8	1,09%	1,16%	1,23%	1,07%	1,14%	1,24%	1,16%
9	1,49%	1,32%	1,39%	1,28%	1,56%	1,61%	1,44%
10	1,66%	1,56%	1,61%	1,51%	1,87%	1,88%	1,68%
11	1,95%	1,66%	1,71%	1,72%	1,95%	1,92%	1,82%
12	2,00%	1,98%	2,01%	2,00%	2,04%	2,02%	2,01%
13	2,17%	2,10%	2,10%	2,17%	2,13%	2,12%	2,13%

Hubungan antara Δ Mean Red dan nilai rata-rata penambahan bobot

Waktu (Jam)	Δ Mean Red	% Rata-rata penambahan bobot
0	0,00	0,00%
1	10,80	0,04%
2	14,32	0,09%
3	18,57	0,15%
4	25,23	0,22%
5	31,83	0,33%
6	39,23	0,53%
7	44,06	0,76%
8	48,43	1,16%
9	52,48	1,44%
10	54,77	1,68%
11	56,50	1,82%
12	57,08	2,01%
13	57,68	2,13%

4.2. Tingkat Kebocoran 5 mm

Waktu	Replikasi						Rata-rata	SD	RSD
	1	2	3	4	5	6			
0	2,4784	2,2275	2,2533	2,3525	2,2286	2,4598	2,3334	0,1149	4,92%
1	2,4792	2,2281	2,2549	2,3544	2,2292	2,4615	2,3346	0,1151	4,93%
2	2,4809	2,2283	2,2553	2,3573	2,2314	2,4616	2,3358	0,1151	4,93%
3	2,4823	2,2317	2,2572	2,3589	2,2328	2,4633	2,3377	0,1148	4,91%
4	2,4856	2,2325	2,2618	2,3613	2,2333	2,4632	2,3396	0,1148	4,91%
5	2,4910	2,2388	2,2647	2,3675	2,2388	2,4692	2,3450	0,1151	4,91%
6	2,4974	2,2458	2,2783	2,3758	2,2463	2,4786	2,3537	0,1145	4,87%
7	2,5049	2,2545	2,2811	2,3870	2,2539	2,4851	2,3611	0,1149	4,87%
8	2,5112	2,2614	2,2901	2,3933	2,2625	2,4885	2,3678	0,1133	4,79%
9	2,5175	2,2658	2,2944	2,3983	2,2697	2,4993	2,3742	0,1147	4,83%
10	2,5195	2,2693	2,3011	2,4020	2,2752	2,5119	2,3798	0,1156	4,86%
11	2,5220	2,2708	2,3021	2,4067	2,2761	2,5132	2,3818	0,1161	4,87%
12	2,5268	2,2713	2,3032	2,4084	2,2770	2,5145	2,3835	0,1172	4,92%
13	2,5312	2,2738	2,3071	2,4099	2,2788	2,5193	2,3867	0,1181	4,95%

Prosentase penambahan bobot sampel

Waktu (Jam)	Replikasi						% Rata-rata penambahan bobot
	1	2	3	4	5	6	
0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1	0,03%	0,03%	0,07%	0,08%	0,03%	0,07%	0,05%
2	0,10%	0,04%	0,09%	0,20%	0,13%	0,07%	0,10%
3	0,16%	0,19%	0,17%	0,27%	0,19%	0,14%	0,19%
4	0,29%	0,22%	0,38%	0,37%	0,21%	0,14%	0,27%
5	0,51%	0,51%	0,51%	0,64%	0,46%	0,38%	0,50%
6	0,77%	0,82%	1,11%	0,99%	0,79%	0,76%	0,87%
7	1,07%	1,21%	1,23%	1,47%	1,14%	1,03%	1,19%
8	1,32%	1,52%	1,63%	1,73%	1,52%	1,17%	1,48%
9	1,58%	1,72%	1,82%	1,95%	1,84%	1,61%	1,75%
10	1,66%	1,88%	2,12%	2,10%	2,09%	2,12%	1,99%
11	1,76%	1,94%	2,17%	2,30%	2,13%	2,17%	2,08%
12	1,95%	1,97%	2,21%	2,38%	2,17%	2,22%	2,15%
13	2,13%	2,08%	2,39%	2,44%	2,25%	2,42%	2,28%

Hubungan antara Δ Mean Red dan nilai rata-rata penambahan bobot

Waktu (Jam)	Δ Mean Red	% Rata-rata penambahan bobot
0	0,00	0,0%
1	8,73	0,05%
2	13,24	0,10%
3	18,61	0,19%
4	22,88	0,27%
5	27,81	0,50%
6	34,60	0,87%
7	40,01	1,19%
8	44,12	1,48%
9	45,25	1,75%
10	47,19	1,99%
11	47,43	2,08%
12	47,56	2,15%
13	47,76	2,28%

4.3. Tingkat Kebocoran 1 cm

Waktu	Replikasi						Rata-rata	SD	RSD
	1	2	3	4	5	6			
0	2,5874	2,6552	2,5888	2,7955	2,8632	2,1603	2,6084	0,2465	9,45%
1	2,5920	2,6590	2,5957	2,8010	2,8698	2,1635	2,6135	0,2475	9,47%
2	2,5964	2,6763	2,6010	2,8099	2,8777	2,1695	2,6218	0,2488	9,49%
3	2,6044	2,6859	2,6038	2,8125	2,8810	2,1738	2,6269	0,2485	9,46%
4	2,6142	2,6870	2,6175	2,8263	2,8903	2,1852	2,6368	0,2480	9,41%
5	2,6179	2,7010	2,6198	2,8299	2,8957	2,1889	2,6422	0,2488	9,42%
6	2,6257	2,7054	2,6253	2,8341	2,9001	2,1932	2,6473	0,2487	9,40%
7	2,6347	2,7073	2,6350	2,8382	2,9045	2,2019	2,6536	0,2468	9,30%
8	2,6377	2,7126	2,6397	2,8413	2,9093	2,2054	2,6577	0,2471	9,30%
9	2,6412	2,7147	2,6415	2,8456	2,9119	2,2098	2,6608	0,2467	9,27%
10	2,6452	2,7163	2,6465	2,8484	2,9138	2,2112	2,6636	0,2469	9,27%
11	2,6493	2,7188	2,6498	2,8502	2,9159	2,2128	2,6661	0,2470	9,27%
12	2,6502	2,7203	2,6509	2,8521	2,9188	2,2152	2,6679	0,2470	9,26%
13	2,6542	2,7254	2,6548	2,8589	2,9229	2,2193	2,6726	0,2475	9,26%

Prosentase penambahan bobot

Waktu (Jam)	Replikasi						% Rata-rata penambahan bobot
	1	2	3	4	5	6	
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1	0,18%	0,14%	0,27%	0,20%	0,23%	0,15%	0,19%
2	0,35%	0,79%	0,47%	0,52%	0,51%	0,43%	0,51%
3	0,66%	1,16%	0,58%	0,61%	0,62%	0,62%	0,71%
4	1,04%	1,20%	1,11%	1,10%	0,95%	1,15%	1,09%
5	1,18%	1,72%	1,20%	1,23%	1,14%	1,32%	1,30%
6	1,48%	1,89%	1,41%	1,38%	1,29%	1,52%	1,50%
7	1,83%	1,96%	1,78%	1,53%	1,44%	1,93%	1,75%
8	1,94%	2,16%	1,97%	1,64%	1,61%	2,09%	1,90%
9	2,08%	2,24%	2,04%	1,79%	1,70%	2,29%	2,02%
10	2,23%	2,30%	2,23%	1,89%	1,77%	2,36%	2,13%
11	2,39%	2,40%	2,36%	1,96%	1,84%	2,43%	2,23%
12	2,43%	2,45%	2,40%	2,02%	1,94%	2,54%	2,30%
13	2,58%	2,64%	2,55%	2,27%	2,09%	2,73%	2,48%

Hubungan antara Δ Mean Red dan nilai rata-rata penambahan bobot

Waktu (Jam)	Δ Mean Red	% Rata-rata penambahan bobot
0	0,00	0,00%
1	6,21	0,19%
2	16,75	0,51%
3	21,93	0,71%
4	33,85	1,09%
5	37,52	1,30%
6	42,78	1,50%
7	44,49	1,75%
8	46,67	1,90%
9	46,72	2,02%
10	46,86	2,13%
11	46,98	2,23%
12	47,14	2,30%
13	47,37	2,48%

Sampel 3

Waktu (Jam)	Panelis											Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1,18
7	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1,73
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2,18
10	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2,55
11	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2,91
12	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
13	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Nilai rata-rata atribut kerenyahan panelis

Waktu (Jam)	Sampel			Rata-rata kerenyahan	SD
	1	2	3		
0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0
2	1	1	1	1	0
3	1	1	1	1	0
4	1	1	1	1	0
5	1	1,09	1	1,03	0,04
6	1,27	1,27	1,18	1,24	0,04
7	1,55	1,64	1,73	1,64	0,07
8	1,91	1,91	2	1,94	0,04
9	2,18	2,27	2,18	2,21	0,04
10	2,36	2,91	2,55	2,61	0,23
11	2,82	3,00	2,91	2,91	0,07
12	3	3	3	3	0
13	3	3	3	3	0

Nilai rata-rata kerenyahan panelis

Waktu (Jam)	Sampel			Rata-rata kerenyahan	SD
	1	2	3		
0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0
2	1	1	1	1	0
3	1	1	1	1	0
4	1,18	1	1,27	1,15	0,14
5	1,36	1,36	1,45	1,39	0,05
6	1,45	1,82	1,64	1,64	0,18
7	2	2	2,09	2,03	0,05
8	2,27	2,36	2,36	2,33	0,05
9	2,73	2,82	2,91	2,82	0,09
10	3	3	3	3	0
11	3	3	3	3	0
12	3	3	3	3	0
13	3	3	3	3	0

Hubungan antara Δ Mean Red dan nilai rata rata kerenyahan panelis

Waktu (Jam)	Δ Mean Red	Rata-rata kerenyahan
0	0,00	1
1	8,73	1
2	13,24	1
3	18,61	1
4	22,88	1,15
5	27,81	1,39
6	34,60	1,64
7	40,01	2,03
8	44,12	2,33
9	45,25	2,82
10	47,19	3
11	47,43	3
12	47,56	3
13	47,76	3

Sampel 3

Waktu (Jam)	Panelis											Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,09
4	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1,64
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	3	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2,36
7	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	3	2,73
8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
13	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Nilai rata-rata atribut kerenyahan panelis

Waktu (Jam)	Sampel			Rata-rata kerenyahan	SD
	1	2	3		
0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0
2	1	1	1	1	0
3	1,18	1,09	1,09	1,12	0,05
4	1,64	1,45	1,64	1,58	0,10
5	2	2	2	2	0
6	2,36	2,45	2,36	2,39	0,05
7	2,64	3	2,73	2,79	0,19
8	3	3	3	3	0
9	3	3	3	3	0
10	3	3	3	3	0
11	3	3	3	3	0
12	3	3	3	3	0
13	3	3	3	3	0

Hubungan antara Δ Mean Red dan nilai rata rata kerenyahan panelis

Waktu. (Jam)	Δ Mean Red	Rata-rata kerenyahan
0	0,00	1
1	6,21	1
2	16,75	1
3	21,93	1,12
4	33,85	1,58
5	37,52	2
6	42,78	2,39
7	44,49	2,79
8	46,67	3
9	46,72	3
10	46,86	3
11	46,98	3
12	47,14	3
13	47,37	3

Lampiran 6. Konsistensi Matriks Agar

Hari ke-	Replikasi					Rata- rata	% Penurunan bobot	Mean Red	Δ Mean Red
	1	2	3	4	5				
0	0,923	0,949	0,901	0,930	0,960	0,932	0,0%	219,685	0
1	0,914	0,940	0,896	0,923	0,944	0,923	1,0%	213,383	6,303
2	0,911	0,939	0,894	0,922	0,945	0,922	1,1%	211,756	7,930
3	0,908	0,933	0,892	0,919	0,939	0,918	1,5%	208,941	10,745
4	0,906	0,927	0,889	0,905	0,937	0,913	2,1%	206,969	12,717
5	0,903	0,919	0,882	0,899	0,915	0,904	3,1%	202,574	17,112
6	0,901	0,914	0,880	0,898	0,899	0,898	3,6%	199,557	20,129
7	0,894	0,907	0,877	0,894	0,884	0,891	4,4%	197,458	22,228
8	0,884	0,900	0,874	0,890	0,861	0,882	5,5%	186,040	33,645

Lampiran 7. Kuisisioner Uji Hedonik

KUISISIONER PENELITIAN**Uji Kerenyahan dan Rasa**

Nama panelis :
 Tanggal pengujian :
 Jenis sampel : Kerupuk Udang
 Instruksi : Dihadapan anda disediakan beberapa sampel kerupuk udang. Anda diminta untuk memberikan penilaian terhadap kerenyahan sesuai dengan kriteria. Sebelum mencicipi sampel minumlah air mineral terlebih dahulu. Selanjutnya cicipi sampel dan berikan penilaian anda dengan cara memasukan nomor dari skala 1 sampai 3 (lihat keterangan yang ada di bawah tabel) berdasarkan tingkat kerenyahan. Sampel tidak boleh dibandingkan satu dengan yang lainnya. Minumlah air mineral tiap berpindah sampel

Sampel 1

Penilaian	Waktu (Jam)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerenyahan											

Sampel 2

Penilaian	Waktu (Jam)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerenyahan											

Sampel 3

Penilaian	Waktu (Jam)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kerenyahan											

Kriteria :

Rasa :

- 1 = Renyah
- 2 = Kurang Renyah
- 3 = Tidak Renyah

Lampiran 8. Dokumentasi

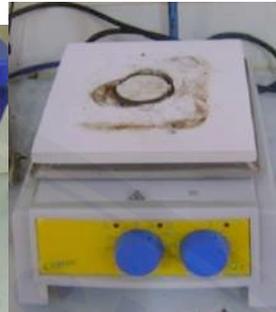
Alat penelitian :



A



B



C



D



E



F



G



H

Keterangan :

A = *Scanner*B = *Ultrasonik*C = *Hotplate*D = *Rheotex*E = *Beaker Glass*F = *Gelas Ukur*G = *Pipet Tetes*H = *Mikropipet*

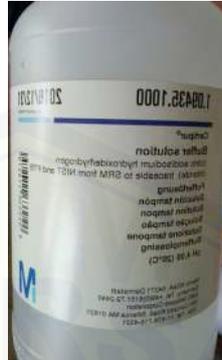
Bahan penelitian :



A



B



C



D



E



F

Keterangan :

A = Aquades

B = *m-cresol purple sodium salt*

C = Larutan Dapar pH 4

D = Gliserol

E = Larutan *m-cresol purple*

F = Sampel Kerupuk Udang

Lampiran 9. Brosur

Sensor *m-cresol purple* merupakan alat mendeteksi kebocoran pada kemasan. Secara lebih mudah, cepat dan efisien.

Aturan penggunaan :

1. Sensor diaktivasi dengan melubangi bagian tengah aluminium foil dengan jarum.
2. Sensor diletakkan pada bagian dalam kemasan produk yang akan dideteksi kebocorannya.
3. Amati perubahan warna yang terjadi dan bandingkan dengan parameter perubahan warna yang telah ditetapkan

Cara Pembacaan Hasil Tes :

Perubahan terjadi dari warna kuning yang menunjukkan produk masih baik, sedangkan warna ungu menunjukkan kemasan telah bocor dan produk sudah tidak layak dikonsumsi.

Peringatan dan perhatian :

- Simpan sensor dalam suhu ruang 25°C
- Jangan membuka bungkus blister apabila tidak segera digunakan.
- Hindari dari cahaya/sinar matahari langsung.
- Jauhkan dari jangkauan anak-anak

PT.CBS Farmasi UNEJ
Jember-Indonesia