

REKAYASA KEMASAN AKTIF DAN HALOKROMIK CERDAS BERBASIS NANO SENG OKSIDA ($n\text{ZnO}$) – POLIANILIN (PANI)

AUFA NISRINA FADHILA



**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Rekayasa Kemasan Aktif dan Halokromik Cerdas Berbasis Nano Seng Oksida – Polianilin (nZnO PANI)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2024

Aufa Nisrina Fadhila
NIM F3501211004



RINGKASAN

AUFA NISRINA FADHILA. Rekayasa Kemasan Aktif dan Halokromik Cerdas Berbasis Nano Seng Oksida (nZnO) – Polianilin (PANI). Dibimbing oleh ENDANG WARSIKI dan SRI YULIANI.

Penurunan mutu produk segar terkemas selama masa penyimpanan sering terjadi tanpa disadari oleh konsumen. Hal ini dikarenakan terbatasnya informasi mengenai kesegaran suatu produk pada kemasan mengakibatkan dibutuhkan suatu perkembangan teknologi kemasan untuk meningkatkan kualitas dan keamanan pangan. Kemasan multifungsi cerdas dan aktif menjadi salah satu tren inovasi dalam bidang pengemasan saat ini. Kemasan cerdas memiliki indikator sensorik yang dapat memberikan informasi mengenai kondisi aktual suatu produk dalam bentuk penanda visual. Di sisi lain, kemasan aktif memiliki kemampuan untuk melepaskan atau menyerap zat-zat dalam produk pangan secara langsung. Kombinasi kedua konsep ini menarik untuk diteliti dan diimplementasikan dalam pengembangan kemasan baru. Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan polianilin (PANI) sebagai material cerdas yang memiliki sensitivitas terhadap pH (halokromik). PANI dikombinasikan dengan bahan aktif nano seng oksida (nZnO) untuk menghasilkan kemasan cerdas aktif yang mampu mendeteksi penurunan mutu produk pangan dan memperpanjang umur simpan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain kemasan multifungsi aktif antimikroba dan indikator halokromik cerdas berbahan nZnO – PANI. Tujuan khusus penelitian ini meliputi (i) memproduksi kemasan aktif halokromik cerdas berbahan PVA – nZnO – PANI dan menentukan metode pewarnaan indikator cerdas; (ii) menganalisa sifat fisik dan mekanik kemasan; (iii) mengevaluasi kinerja kemasan dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*; (iv) mengaplikasikan kemasan pada produk ikan segar dan mengevaluasi parameter mutu uji berupa *Total Volatile Base Nitrogen* (TVBN), *Total Plate Count* (TPC), pH, warna dan tekstur; (v) membuat model kinetika perubahan warna kemasan dan parameter mutu ikan.

Penelitian ini dilakukan dalam empat tahap. Tahap pertama adalah sintesis PANI menggunakan metode polimerisasi interfasial. PANI yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi morfologi permukaan dan gugus fungsinya. Kemudian, pengujian stabilitas warna PANI terhadap pH dan stabilitas PANI terhadap kadar amonia juga dilakukan. Tahap kedua yaitu pembuatan film kemasan cerdas aktif dari PVA – nZnO – PANI dan dilakukan pengujian terhadap kuat tarik, elongasi, ketebalan, *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR) dan sifat antibakteri. Pada tahap tersebut dilakukan metode pembobotan untuk menentukan konsentrasi nZnO terpilih. Tahap ketiga adalah mengaplikasikan kemasan cerdas pada produk ikan segar pada 3 suhu penyimpanan berbeda ($5\pm 1^\circ\text{C}$; $28\pm 1^\circ\text{C}$; 37°C) selama 12 jam dengan melakukan pengukuran parameter mutu setiap 2 jam. Parameter mutu yang diukur pada ikan segar meliputi TVBN, TPC, pH, warna, dan tekstur. Perubahan warna yang terjadi pada kemasan diukur menggunakan kromameter untuk mendapatkan nilai $^{\circ}\text{hue}$. Nilai $^{\circ}\text{hue}$ digunakan untuk mengukur tingkat kehijauan atau kebiruan suatu warna kemasan. Semakin rendah nilai $^{\circ}\text{hue}$ maka semakin hijau warna yang dihasilkan, berkebalikan dengan peningkatan nilai $^{\circ}\text{hue}$ menghasilkan warna yang semakin biru. Tahap keempat yaitu pengembangan model kinetika

reaksi terhadap perubahan warna dan parameter mutu ikan menggunakan persamaan Arrhenius ordo nol dan ordo satu.

Penelitian ini menunjukkan kemasan cerdas aktif berhasil dapat berubah warna dari hijau menjadi biru ketika terpapar dengan pH >4 dan basa volatil berupa gas amonia. Penggunaan varian konsentrasi nZnO memberikan pengaruh signifikan pada kemasan ($p < 0,05$) terhadap sifat fisik dan mekanik (kuat tarik, elongasi, ketebalan) dan aktivitas antibakteri terhadap kedua kultur bakteri (*Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*). Penambahan PANI pada kemasan juga menunjukkan pengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap kuat tarik, elongasi, dan aktivitas antibakteri pada bakteri *Staphylococcus aureus*. Interaksi antara konsentrasi nZnO dan pewarna PANI dikaji dan menunjukkan pengaruh signifikan hanya pada kuat tarik dan aktivitas antibakteri pada bakteri *Staphylococcus aureus*. Formulasi terpilih PVA – nZnO 2% - PANI dalam kemasan cerdas aktif ditentukan berdasarkan metode pembobotan, dengan pertimbangan sifat fisik dan mekanik yang baik, nilai WVTR yang rendah, dan sifat antibakteri yang kuat. Formulasi tersebut terpilih dengan pertimbangan dari kemasan yang menghasilkan sifat fisik dan mekanik yang baik, nilai WVTR yang rendah, dan sifat antibakteri yang kuat.

Pengaplikasian kemasan cerdas aktif (PVA – nZnO – PANI) pada produk ikan terkemas menunjukkan keberhasilan dalam mempertahankan mutu ikan pada suhu $28 \pm 1^\circ\text{C}$ hingga lebih dari 10 jam. Kemasan cerdas aktif menunjukkan perubahan warna yang sejalan dengan kenaikan nilai TVBN, TPC, dan nilai hue ($^\circ\text{hue}$). Hasil uji korelasi *Pearson* menunjukkan hubungan positif kuat antara $^\circ\text{hue}$ dengan TVBN ($r = 0,839$; $p = 0,000$) dan korelasi positif sedang antara $^\circ\text{hue}$ dengan TPC ($r = 0,575$; $p = 0,006$). Pengembangan model kinetika Arrhenius dilakukan pada perubahan warna kemasan dan penurunan mutu produk. Ordo yang terpilih yaitu ordo satu untuk parameter mutu TVBN dan $^\circ\text{hue}$ ($k = 8,2 \cdot 10^5 e^{-39,79/T}$; $k = 3,2 \cdot 10^9 e^{-64,15/T}$) serta ordo nol untuk TPC ($k = 5,4 \cdot 10^4 e^{-31,46/T}$). Pemilihan ordo didasari dengan pemilihan nilai R^2 tinggi, nilai standar error rendah, pola grafik ordo yang sesuai dan pendugaan umur simpan yang memiliki hasil mendekati kondisi riil. Parameter mutu kritis pada penelitian ini yaitu pada parameter TPC dengan nilai energi aktivasi terendah sebesar 31,46 kJ/mol. Model ini dapat digunakan untuk memprediksi penurunan mutu produk ikan nila pada kondisi suhu yang berbeda.

Kata kunci: Halokromik, kemasan aktif, kemasan cerdas, nano seng oksida, polianilin.



SUMMARY

AUFA NISRINA FADHILA. Active and Smart Halochromic Packaging Engineering Based on Nano Zinc Oxide (nZnO) – Polyaniline (PANI). Supervised by ENDANG WARSIKI and SRI YULIANI.

The deterioration of packaged fresh food during storage without consumer's knowledge is a growing issue. This issue is due to the limited information on the freshness of a product on the packaging, which necessitates the development of packaging technology to improve food quality and safety. Smart and active multifunctional packaging is one of the current trends in packaging innovation. Smart packaging has sensory indicators that can provide information about the actual condition of a product in the form of visual cues. On the other hand, active packaging can release or absorb substances in food products directly. Combining these two concepts is interesting to research and implement in developing innovative packaging. This research focuses on using polyaniline (PANI) as a smart material with pH sensitivity (halochromic). PANI is combined with the active material nano zinc oxide (nZnO) to produce smart and active packaging that can detect changes in the freshness of food products.

This research aims to design multifunctional active antibacterial and smart halochromic indicators packaging made from nZnO – PANI. The specific objectives of this research include; (i) to produce smart halochromic and active packaging made from PVA – nZnO – PANI and determine the coloring method; (ii) to analyze the physical and mechanical properties of the packaging; (iii) to evaluate the performance of packaging in inhibiting the growth of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria; (iv) to apply packaging to fresh fish products and evaluate the quality test parameters (TVBN, TPC, pH, color and texture); (v) to develop a kinetic model of color change and fish quality parameters.

This research was carried out in four stages. The first stage is the synthesis of PANI using the interfacial polymerization method. The resulting PANI was then characterized for its surface morphology and functional groups. In addition, PANI color stability was tested for pH and PANI stability for ammonia levels. The second stage is making active smart packaging films from PVA – ZnO – PANI and testing tensile strength, elongation, thickness, WVTR, and antibacterial properties. At this stage, a weighting method is used to determine the concentration of selected ZnO. The third stage is applying smart packaging to fresh fish products at three different storage temperatures ($5 \pm 1^\circ\text{C}$; $28 \pm 1^\circ\text{C}$; 37°C) for 12 hours by measuring quality parameters every 2 hours. Quality parameters measured in fresh fish include TVBN, TPC, pH, color, and texture. Color changes on the packaging are measured using a chromameter to obtain the $^{\circ}\text{hue}$ value. The $^{\circ}\text{hue}$ value measures a packaging color's level of greenness or blueness. The lower the $^{\circ}\text{hue}$ value, the greener the color produced; on the contrary, increasing the $^{\circ}\text{hue}$ value produces a bluer color. The fourth stage is to develop a reaction kinetics model for the color changes and fish quality parameters using the zero and first-order Arrhenius equations.

The study demonstrated that the smart active packaging successfully changed color from green to blue when exposed to $\text{pH} > 5$ and volatile bases in the form of ammonia gas. The use of different concentrations of nZnO in the packaging significantly ($p < 0.05$) affected the physical and mechanical properties (tensile

strength, elongation, thickness) and antibacterial activity against both bacterial cultures (*Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*). The addition of the smart material PANI to the packaging also significantly ($p < 0.05$) affected the tensile strength, elongation, and antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* bacteria. The interaction between the concentration of nZnO and the PANI dye was investigated and found to significantly affect only the tensile strength and antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* bacteria. The selected formulation of PVA - nZnO 2% - PANI in the smart active packaging was determined based on a weighting method, considering good physical and mechanical properties, low WVTR value, and strong antibacterial properties.

The application of smart active packaging (PVA-nZnO-PANI) on packaged fish products has shown success in maintaining fish quality at $28 \pm 1^\circ\text{C}$ for more than 10 hours. Active intelligent packaging exhibited a color change that correlated with increases in TVBN, TPC, and hue (ohue) values. Pearson correlation test results showed a strong positive correlation between °hue and TVBN ($r = 0.839$; $p = 0.000$) and a moderate positive correlation between °hue and TPC ($r = 0.575$; $p = 0.006$). The development of the Arrhenius kinetic model was carried out on the color change of the packaging and the decrease in product quality. The selected order was first order for the quality parameters TVBN and °hue ($k = 8,2 \cdot 10^5 e^{-39,79/T}$; $k = 3,2 \cdot 10^9 e^{-64,15/T}$) and zero order for TPC ($k = 5,4 \cdot 10^4 e^{-31,46/T}$). The selection of the order was based on the selection of a high R^2 value, a low standard error value, a suitable order graph pattern, and the prediction of shelf life that has results close to real conditions. The critical quality parameter in this study was the TPC parameter with the lowest activation energy value of 31.46 kJ/mol. This model can be used to predict the decrease in quality of tilapia fish products under different temperature conditions.

Keywords: Active packaging, halochromic, nano zinc oxide, polyaniline, smart packaging

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



REKAYASA KEMASAN AKTIF DAN HALOKROMIK CERDAS BERBASIS NANO SENG OKSIDA (nZnO) – POLIANILIN (PANI)

AUFA NISRINA FADHILA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
1 Dr. Indah Yuliasih, S.T.P., M.Si.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Rekayasa Kemasan Aktif dan Halokromik Cerdas Berbasis Nano
Seng Oksida – Polianilin (nZnO – PANI)
Nama : Aufa Nisrina Fadhila
NIM : F3501211004

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Endang Warsiki, S.TP, M.Si

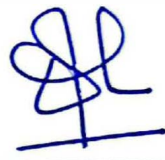


Pembimbing 2:
Dr. Ir. Sri Yuliani, M.T

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S
NIP. 19580521 198211 2 001

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M. Agr
NIP. 196105021986031002




Tanggal Ujian:
16 Mei 2024

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2022 sampai bulan November 2023 ini ialah kemasan cerdas aktif, dengan judul “Rekayasa Kemasan Aktif dan Halokromik Cerdas Berbasis Nano Seng Oksida (nZnO) – Polianilin (PANI)”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Endang Warsiki, S.TP, M.Si dan Dr. Ir. Sri Yuliani, M.T yang telah membimbing dan banyak memberi saran, arahan, dan motivasi dalam penyelesaian tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Kemdikbudrisek, BRIN, beserta staf Laboratorium Teknologi Kimia, Laboratorium Pengemasan, Laboratorium Bioindustri, Laboratorium Dasar Ilmu Terapan, dan Laboratorium Pengawasan Mutu yang telah banyak membantu dalam proses penelitian dari ketersediaan bahan, pengujian sampel hingga pengumpulan data. Secara khusus, ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada keluarga tersayang Papa, Mama, Adek yang telah memberikan dukungan doa dan kasih sayang tanpa batas hingga penulis menyelesaikan studinya. Tak lupa juga saya ucapkan terimakasih kepada teman-teman seperjuangan TIP 2021 (Tyo, Ani, Savira, Dwi, Ipeh, Firman), Penghuni sekret Formatip (Grisel, Kak Listi, Kak Roza, Efri, Bang Pino), dan teman seperjuangan lainnya, Isna, Kak April, Kak Nanda, atas support, semangat dan kehadiran mereka yang menemani saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2024

Aufa Nisrina Fadhila

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kemasan Cerdas Halokromik	5
2.2 Kemasan Aktif Antibakteri	6
2.3 Polianilin (PANI)	8
2.4 Nano Seng Oksida (nZnO)	9
2.5 Polivinil alkohol (PVA)	10
III METODE	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Tahapan Penelitian	12
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Karakteristik PANI	23
4.2 Pembuatan dan karakterisasi film kemasan cerdas aktif	27
4.3 Aplikasi kemasan cerdas pada penyimpanan produk	37
4.4 Korelasi mutu ikan dengan perubahan warna	48
4.5 Model kinetika dan prediksi umur simpan	50
4.6 Potensi Aplikasi Kemasan Cerdas Aktif	57
V SIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Simpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	68
RIWAYAT HIDUP	80



DAFTAR TABEL

1	Kombinasi perlakuan antar dua faktor	18
2	Penentuan faktor pembobot (ω)	19
3	Penentuan nilai sifat berskala	19
4	Penentuan indeks sifat berbobot	20
5	Sifat fisik-mekanik kemasan cerdas aktif	29
6	Hasil luasan zona bening antibakteri pada kemasan cerdas aktif	33
7	Perbandingan hasil variabel respon sampel kemasan konsentrasi nZnO pada setiap variabel uji	35
8	Indeks sifat berbobot kemasan cerdas aktif	35
9	Total score indeks sifat berbobot	36
10	Nilai °Hue pada setiap suhu penyimpanan	38
11	Standar nilai TVBN untuk produk ikan	42
12	Korelasi <i>Pearson</i> hubungan parameter mutu terhadap perubahan warna °hue.	50
13	Nilai konstanta laju reaksi dan nilai koefisien korelasi (R^2) ordo nol	51
14	Nilai konstanta laju reaksi dan nilai koefisien korelasi (R^2) ordo satu	51
15	Perhitungan umur simpan menggunakan persamaan ordo nol dan ordo satu	52
16	Model kinetika penurunan mutu dan perubahan warna pada kemasan	55

DAFTAR GAMBAR

1	Struktur PANI pada kondisi <i>emeraldine base</i> ke <i>emeraldine salt</i>	8
2	Bubuk PANI komersil	9
3	Bubuk ZnO komersil	9
4	Bubuk PVA komersil	11
5	Diagram alir alur penelitian	13
6	Diagram alir sintesis PANI	14
7	Residu penyaringan PANI	14
8	Pembuatan kemasan aktif cerdas PVA – nZnO – PANI	16
9	Rancangan desain aplikasi kemasan cerdas aktif	20
10	Morfologi permukaan PANI	23
11	Spektrum FTIR PANI	24
12	Nilai absorbansi PANI terhadap pH (ganti sumbu Y)	25
13	Perubahan warna PANI pada pH 1 - 13	26
14	Sensitivitas PANI pada amonia terhadap waktu	26
15	Mekanisme interaksi antara polimer PANI dengan amonia dari bentuk ES ke EB (Chia <i>et al.</i> 2022)	27
16	Kemasan PVA – nZnO	28
17	Pewarna PANI pada larutan film (a) dan setelah dikeringkan menjadi kemasan fim (b)	28
18	Kemasan setelah pewarnaan PANI (b) dan kondisi siap untuk diaplikasikan	29

19	Nilai WVTR kemasan PVA - nZnO sebelum dan sesudah pengolesan PANI	32
20	(a) Preparasi ikan nila segar dan (b) pengaplikasian dengan kemasan	38
21	Perubahan nilai hue ^o terhadap waktu penyimpanan	41
22	Nilai TVBN terhadap waktu penyimpanan	42
23	Nilai TPC terhadap waktu penyimpanan	43
24	Nilai pH terhadap waktu penyimpanan	45
25	Nilai uji kekerasan pada ikan nila terhadap waktu penyimpanan	47
26	Hubunga nilai TVBN, TPC dan °hue pada suhu penyimpanan 5±1°C	48
27	Hubungan nilai TVBN, TPC dan °hue pada suhu penyimpanan 28±1°C	49
28	Hubungan nilai TVBN, TPC dan °hue pada suhu penyimpanan 37°C	49
29	Plot 1/T dengan ln k pada perubahan TVBN	53
30	Plot 1/T dengan ln k pada perubahan TPC	54
31	Plot 1/T dengan ln k pada perubahan nilai °hue	55
32	Ilustrasi pedoman warna kemasan cerdas aktif	57

DAFTAR LAMPIRAN

1	Metode penelitian	69
2	Data statistik ANOVA	71
3	Metode Pembobotan	78
4	Korelasi Pearson	79