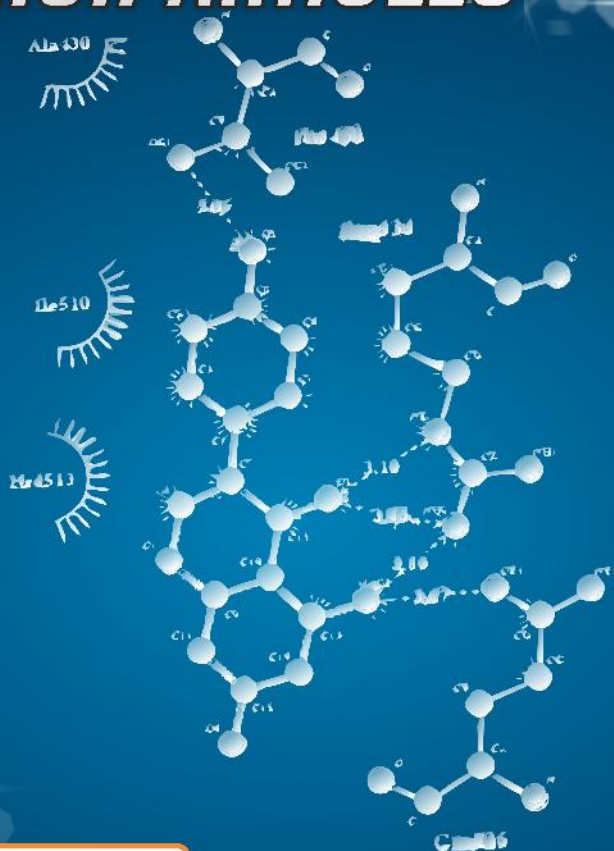




ISSN: 2614-8757 (Print)
2615-2347 (Online)

CHEESA

*CHEMICAL ENGINEERING
RESEARCH ARTICLES*



VOLUME 3 NO 1, JUNI 2020

DAFTAR ISI

CHEESA: Chemical Engineering Research Articles

Komparasi Logam Berat pada Kawasan Mangrove Alami dan Industri di Perairan Belawan, Pulau Sicanang

Khairul, Helentina Mariance Manullang

..... 1-6

Studi Awal Pembuatan Membran Chitosan-Silica Based dari Berbagai Limbah

Felix Arie Setiawan, I Made Arimbawa, Navisa Ayudia Putri, Boy Arief Fachri

..... 7-13

Optimasi Blending Peralite dengan Komponen Reformate di PT. XYZ Balikpapan

Eka Megawati, I Ketut Warsa, Mochammad Wahyu Setiawan

..... 14-20

Pengaruh Variasi Dopan Asam Terhadap Kinerja Baterai Sekunder Polianilina|Zn

Said Ali Akbar, Veinardi Suendo, Achmad Rochliadi

..... 21-32

Karakteristik Biokomposit Edible Film dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

Daril Ridho Zuchrillah, Lily Pudjiastuti, Niniek Fajar Puspita, Afan Hamzah, Achmad Dwitama Karisma, Agus Surono, Saidah Altway, Liana Ardiani, Nur Azizatur Rohmah, Eva Oktavia Ningrum

..... 33-41

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas Selama Penyimpanan

Kavadya Syska, Ropiudin

..... 42-54

Volume 3 Nomor 1, 2020

ISSN 2614-8757 (Print), ISSN 2615-2347 (Online)

Available online at: <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>

Copyright © 2020

EDITORIAL BOARD

CHEESA: Chemical Engineering Research Articles

CHEESA merupakan jurnal yang menjadi media kajian kimia dan teknik kimia. Jurnal ini sebagai media publikasi hasil penelitian bidang kimia dan teknik kimia yang ditujukan untuk kalangan akademisi, praktisi dan masyarakat pada umumnya. Tulisan yang dimuat dalam Jurnal CHEESA telah melalui penyuntingan sesuai kaidah yang telah ditetapkan tanpa mengubah naskah asli.

Penerbit

UNIVERSITAS PGRI MADIUN

Editor in Chief

Mohammad Arfi Setiawan, Universitas PGRI Madiun

Editors

Khoirul Ngibad, Universitas Maarif Hasyim Latif

Iqbal Haitami, UIN Antasari Banjarmasin

Muhammad Imam Nugraha, Universitas Lambung Mangkurat

Dyan Hatining Ayu Sudarni, Universitas PGRI Madiun

Ade Trisnawati, Universitas PGRI Madiun

Supriadi Supriadi, Universitas Mataram

Andri Wahyu Wijayadi, Universitas Hasyim Asy'ari

Reviewer

Dr. Dian Kresnadipayana (SCOPUS ID: 57193447828), Universitas Setia Budi

Dr. Agus Muji Santoso, Universitas Nusantara PGRI Kediri

Wahyu Prasetyo Utomo (SCOPUS ID: 57114966400), Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Said Ali Akbar (SCOPUS ID: 57190374979), Universitas Serambi Mekkah

Heri Septya Kusuma (SCOPUS ID: 57188879331), Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Salfauqi Nurman (SCOPUS ID: 57193575828), Universitas Serambi Mekkah

Viona Natalia (SCOPUS ID: 57205220032), Universitas Sebelas Maret

Sri Budi Harmami (SCOPUS ID: 36161175400), Pusat Penelitian Kimia-LIPI

Ayu Ratna Permanasari (SCOPUS ID: 57195406707), Politeknik Negeri Bandung

Felix Arie Setiawan (SCOPUS ID: 57210575126), Universitas Jember

Rokiy Alfanaar (SCOPUS ID: 57202806877), Universitas Ma Chung

Nove Kartika Erliyanti (SCOPUS ID: 57208578104), UPN Veteran Jawa Timur

Vibianti Dwi Pratiwi, Institut Teknologi Nasional Bandung

Yazida Rizkayanti (SCOPUS ID: 57205611542), Universitas Gadjah Mada

Volume 3 Nomor 1, 2020

ISSN 2614-8757 (Print), ISSN 2615-2347 (Online)

Available online at: <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>

Copyright © 2020

Komparasi Logam Berat pada Kawasan Mangrove Alami dan Industri di Perairan Belawan, Pulau Sicanang

Comparison of Heavy Metal in Natural Mangrove and Industrial Areas in the Waters of Belawan, Sicanang Island

Khairul¹⁾, Helentina Mariance Manullang^{2*)}

¹⁾ Universitas Labuhanbatu, Prodi Pendidikan Biologi, Indonesia

²⁾ Universitas Dharmawangsa Medan, Prodi Akuakultur, Indonesia

*email: manullanghelen@gmail.com

Received: 17/02/20; Revised: 09/04/20; Accepted: 05/06/20

Abstrak

Perairan Belawan Pulau Sicanang merupakan kawasan yang rentan terhadap pencemaran logam berat, karena kawasan perairan ini berdekatan dengan kawasan industri, pelabuhan, dan permukiman. Logam berat sangat berbahaya bagi kehidupan hewan akuatik maupun bagi kesehatan manusia. Penelitian ini merupakan penelitian diskriptif eksploratif yang bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat berupa: Timbal (Pb), Cadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) pada perairan ekosistem mangrove Belawan Pulau Sicanang. Keberadaan ekosistem hutan mangrove di kawasan ini berfungsi sebagai penyangga kehidupan. Kandungan logam berat di perairan bisa diserap oleh tanaman mangrove sebagai fitoremediasi. Penentuan stasiun pengamatan berdasarkan *purposive sampling*, dengan Stasiun 1 yang merupakan kawasan hutan mangrove alami dan Stasiun 2 yang merupakan kawasan perusahaan dan pabrik). Metode uji sampel air dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Hasil analisis logam berat dari air sampel berupa: Pb (0,15 ppm) pada Stasiun 1 dan 0,33 ppm pada Stasiun 2, Cd (0,04 ppm) pada Stasiun 1 dan 0,11 ppm pada Stasiun 2, Sedangkan Hg (<0.1011 ppm) nilainya sama pada Stasiun 1 dan 2. Berdasarkan hasil analisis logam berat berupa: Pb, Cd dan Hg pada kedua perairan, dapat disimpulkan bahwa kawasan hutan mangrove alami memiliki kandungan logam lebih rendah daripada kawasan industri.

Kata kunci: komparasi, logam berat, mangrove, perairan belawan

Abstract

The water of Belawan Sicanang Island is an area vulnerable to heavy metal pollution because this area is adjacent to industrial, harbours, and community areas. Considering heavy metals are very harmful to the life of aquatic animals as well as for human health. This research aims to determine the content of heavy metals in the form of: Plumbum (Pb), Cadmium (Cd), and Mercury (Hg) in the water of mangrove ecosystems the Belawan Sicanang Island. The region's mangrove forest ecosystem functions as a buffer of life. Determination of observation stations based on *purposive sampling*, where the station 1 lies the natural mangrove forest area and Station 2 lies company and factory area. Test method with *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Results of heavy metal analysis of the sample water in the form of: Pb (0.15 ppm) on Station 1 and 0.33 ppm on Station 2, Cd (0.04 ppm) on Station 1 and 0.11 ppm on Station 2, and Hg (< 0.1011 ppm) are same value on Stations 1 and 2. Based on the results of heavy metals analysis: Pb, Cd and Hg in the water, can be concluded that the Station 1 consist of heavy metal is lower than the Station 2.

Keywords: comparison, heavy metal, mangrove, Belawan water

Komparasi Logam Berat pada Kawasan Mangrove Alami dan Industri di Perairan Belawan, Pulau Sicanang

PENDAHULUAN

Sungai merupakan aliran air yang besar dan memanjang yang mengalir secara terus-menerus dari hulu (sumber air) menuju hilir (muara). Selanjutnya dijelaskan Yudo (2006) bahwa sungai sebagai unsur utama lingkungan yang mempunyai manfaat utama bagi kehidupan masyarakat disekitarnya. Salah satu sungai yang mengalir di Kota Medan adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) Belawan yang merupakan batas antar Kabupaten Deli Serdang dan Kota Medan. Sungai Belawan menurut Indirawati (2017) berdekatan dengan kawasan industri, pelabuhan dan perumahan masyarakat.

Yudo (2006) menyatakan bahwa kegiatan pembangunan dari berbagai sektor mempunyai dampak negatif secara langsung maupun tidak langsung bagi ekosistem sungai. Air yang mengalir dari sungai membawa limbah pencemar baik dari rumah tangga, perusahaan, dan industri. Pencemaran sungai perlu dikontrol seiring dinamika pembangunan yang terus jalan (Setiawan, 2014). Saat ini di kawasan Belawan menurut Grace dkk (2011) ada 35 perusahaan seperti penampungan *Crude Palm Oil* (CPO), semen, pupuk, dan Perusahaan Listrik Negara (PLN). Industri-industri tersebut menghasilkan sumber pencemaran yang dapat merusak ekosistem sungai, salah satunya adalah logam berat.

Yudo (2006) dan Nugraha (2009) menjelaskan limbah logam berat sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan biota laut. Limbah logam berat yang ada di badan air akan mengendap ke dasar tanah sehingga membentuk sedimentasi. Hal ini menyebabkan biota akuatik yang mencari makan di dasar perairan (udang, kerang, dan kepiting) akan memiliki peluang

sangat besar untuk terkontaminasi oleh logam berat tersebut. Menurut Khan dkk (2009) bahwa organisme akuatik yang terkontaminasi unsur logam berat akan sangat berbahaya jika dikonsumsi, karena dapat merusak sistem biokimia, serta merupakan ancaman serius bagi kesehatan hewan maupun manusia. Menurut Heriyanto & Subiandono (2011) bahan pencemar dari limbah industri dapat mencemari air sungai dan berdampak negatif terhadap kualitas air, antara lain: suhu, *Biological Oxygen Demand* (kebutuhan oksigen biologis), *Chemical Oxygen Demand* (kebutuhan oksigen kimia), pH, dan kandungan logam berat.

Salah satu ekosistem yang mampu menetralkan kandungan logam berat di perairan dan sedimentasi adalah vegetasi mangrove. Hal ini dijelaskan oleh Heriyanto & Subiandono (2011) tanaman mangrove dengan bentuk perakaran seperti cakar ayam yang masuk ke dalam tanah mampu menyerap logam berat di kawasan tersebut, sehingga daya racun limbah logam berat menjadi berkurang. Selain itu Mulyadi dkk (2009) menambahkan fungsi fisiologis lain dari ekosistem mangrove adalah sebagai pelindung garis pantai dari hempasan ombak maupun angin serta mencegah abrasi pantai.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2019. Lokasi pengambilan sampel pertama merupakan kawasan hutan mangrove alami (Stasiun 1) dan lokasi kedua pada kawasan pabrik dan perusahaan Pusat Listrik Negara (PLN) (Stasiun 2) yang masih merupakan daerah Perairan Belawan Pulau Sicanang.

Komparasi Logam Berat pada Kawasan Mangrove Alami dan Industri di Perairan Belawan, Pulau Sicanang

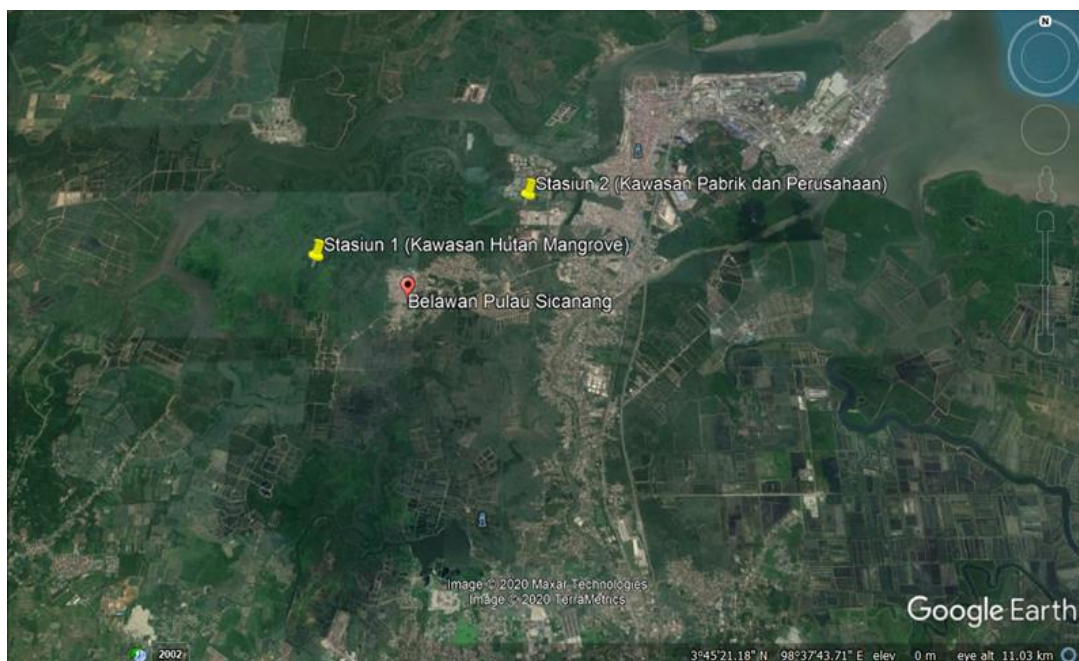
Penentuan Stasiun Pengamatan

Stasiun pengamatan pada penelitian ini diambil berdasarkan titik koordinat menggunakan *Global Positioning System* (GPS). Stasiun pengamatan dibagi ke dalam dua lokasi, yakni: Stasiun 1 (kawasan hutan mangrove alami) pada koordinat 3°45'35.32"N 98°38'34.28"E dan Stasiun 2 (kawasan perusahaan dan pabrik) pada koordinat 3°46'5.47"N 98°40'5.71"E dapat dilihat pada Gambar 1. Hal ini bertujuan untuk membandingkan kandungan logam berat pada masing-masing stasiun pengamatan yang berbeda.

Pengambilan dan Analisis Sampel Air

Sampel air diambil menggunakan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebanyak 2 buah dengan kapasitas 1,600 mL. Pengambilan sampel air dilakukan pada saat air surut, untuk mendapatkan analisis sampel uji yang lebih akurat.

Sampel air yang diambil, pada hari itu juga langsung dimasukan ke Laboratorium Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan yang beralamat di Jl. Brigjen Katamso No 51, Medan. Sampel air yang diuji untuk logam berat adalah berupa Pb, Cd, dan Hg.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari hasil uji logam berat (Pb, Cd, dan Hg) di Laboratorium PPKS Medan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) atau Spectrophotometri Serapan Atom tipe 7000 Series. Hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada stasiun_1 kandungan Pb sebesar 0,15 ppm sedangkan pada stasiun 2 sebesar 0,33 ppm. Kandungan Cd pada Stasiun 1 adalah 0,04 ppm sedangkan pada stasiun 2 adalah 0,11 ppm. Namun kandungan nilai Hg pada Stasiun 1 dan 2 adalah sama yaitu < 0,1011 ppm. Hal ini diduga pencemaran logam berat Hg memang masih dalam ambang bawah dan sesuai baku mutu.

Komparasi Logam Berat pada Kawasan Mangrove Alami dan Industri di Perairan Belawan, Pulau Sicanang

Tabel 1. Hasil Uji Laboratorium Logam Berat pada Stasiun 1 dan 2

Unsur	Unit	Hasil uji		Baku Mutu
		Stasiun 1	Stasiun 2	
Pb	ppm	0,15	0,33	0,03
Cd	ppm	0,04	0,11	0,01
Hg	ppm	<0,1011	<0,1011	-

Berdasarkan hasil penelitian ini diduga bahwa vegetasi mangrove turut menentukan kandungan beberapa logam berat (dalam hal ini Pb dan Cd) yang terdapat di ekosistem mangrove Belawan. Apabila ekosistem mangrove baik maka kandungan logam berat yang ada di suatu kawasan perairan akan semakin sedikit, sebaliknya jika ekosistem mangrove rusak maka akan semakin besar kandungan nilai logam berat perairan tersebut.

Utami *dkk* (2018) menjelaskan bahwa vegetasi mangrove sebagai fitoremiadiasi, yakni dapat menyerap unsur logam berat di alam (berupa: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, dan Zn) yang fungsi ekologisnya disebut sebagai biosorpsi dan meningkatkan kualitas air. Selain itu, vegetasi mangrove merupakan biofilter untuk mengendalikan pencemaran lingkungan, terutama logam berat (Manikasari & Mahayani, 2018).

Khairuddin *dkk.* (2018) melakukan penelitian dengan mengambil sampel akar dan daun mangrove dengan menggunakan alat pemotong atau secara manual untuk 2 spesies yaitu perepat dan bakau minyak. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium menggunakan AAS, menemukan unsur Pb dan Cd pada jaringan akar dan daun kedua spesies mangrove tersebut. Hasil penelitian menunjukkan kandungan unsur logam berat Pb dari teluk Bima pada perepat masing-masing 3,74 ppm dan 4,15 ppm. Kandungan Pb pada jaringan daun

bakau minyak sebesar 3,21 ppm dan pada akarnya sebesar 1,85 ppm. Kadar Cd pada daun perepat sebesar 0,24 ppm, dan pada akarnya sebesar 0,19 ppm. Sementara kadar Cd pada daun bakau minyak sebesar 0,41 ppm dan pada akarnya sebesar 0,18 ppm.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Heriyanto & Subiandono (2011) di tiga lokasi hutan mangrove, yaitu Blanakan Subang Jawa Barat, Cilacap Jawa Tengah dan Taman Nasional Alas Purwo Banyuwangi, Jawa Timur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umumnya akumulasi terbesar Pb pada bagian akar dan daun sedangkan Hg pada bagian batang dan daun mangrove yang dekat dengan sumber pencemar. Kemampuan menyerap zat pencemar jenis *Avicennia marina* lebih baik dari *Rhizophora apiculata* dan *Ceriops tagal*. Hal ini ditunjukkan oleh akumulasi zat tersebut pada bagian pohonnya. Pada jenis *Avicennia marina* terbesar pada jarak 0-500 m dari Sungai Cilamaya, yaitu pada bagian akar dan batang masing-masing sebesar 15,28 ppm dan 10,39 ppm. Zat pencemar Pb terbesar pada bagian daun dan akar masing-masing sebesar 110,81 ppm dan 105,6 ppm pada jarak 0-500 m dari Sungai Cilamaya. Kandungan zat pencemar Hg terbesar terakumulasi di bagian batang dan daun pada jarak 0-500 m dari sumber pencemar, yaitu masing-masing sebesar 0,059 ppm dan 0,026 ppm.

Menurut Sanadi *dkk* (2018) dan Mulyadi *dkk.* (2009) pada vegetasi mangrove, selain akumulasi, diduga pohon *Sonneratia alba* dan *Rhizophora apiculata* memiliki upaya penanggulangan toksik diantaranya dengan melemahkan efek racun melalui pengenceran, yaitu dengan menyimpan banyak air untuk

Komparasi Logam Berat pada Kawasan Mangrove Alami dan Industri di Perairan Belawan, Pulau Sicanang

mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya sehingga mengurangi toksisitas logam tersebut. Pengenceran dengan penyimpanan air di dalam jaringan biasanya terjadi pada daun dan diikuti dengan terjadinya penebalan daun (sukulensi). Ekskresi juga merupakan upaya yang mungkin terjadi, yaitu dengan menyimpan materi toksik logam berat di dalam jaringan yang sudah tua seperti daun yang sudah tua dan kulit batang yang mudah mengelupas, sehingga dapat mengurangi konsentrasi logam berat.

Setiabudi (2005) menyatakan bahwa apabila unsur logam berat di lingkungan melebihi nilai baku mutu lingkungan yang ditetapkan maka bersifat toksik (racun), seperti logam berat Pb yang berbahaya bagi manusia jika ikut dikonsumsi lewat makanan atau minuman. Selain itu logam berat Pb juga sangat berbahaya jika masuk ke dalam lingkungan ekosistem secara berlebihan karena dapat merusak lingkungan dan sangat berbahaya bagi biota dan tumbuhan yang berada di sekitarnya.

Menurut Palar (1994), kadar Hg sebesar 0,23-0,8 ppm, Pb 188 ppm, dan Cd 22-55 ppm dapat mematikan ikan pada pemaparan 96 jam. Selanjutnya dijelaskan oleh Lestari & Edward (2004) bahwa kadar Hg, Pb, Cd yang diuji dari perairan Teluk Jakarta berbahaya bagi kehidupan biota laut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukan pada Stasiun 1 yang merupakan kawasan mangrove alami akumulasi logam berat Pb dan Cd lebih rendah pada Stasiun 2 yang merupakan kawasan industri, sedangkan Hg mempunyai nilai yang sama. Pencemaran Pb dan Cd di atas ambang

baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 artinya kondisi logam berat untuk Pb dan Cd sudah mencemari perairan Belawan Pulau Sicanang, sedangkan Hg masih dalam batas toleransi. Untuk menanggulangi pencemaran logam berat, perlu dilakukan reboisasi hutan mangrove di lokasi kajian, mengingat vegetasi mangrove jenis *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* merupakan fitoremediasi (*phytoremediation*) yang akarnya mampu menyerap logam berat terutama Pb, Cd, dan Hg.

DAFTAR PUSTAKA

- Grace, L., Ulqodry, T. Z., & Putri, W. A. (2011). Kandungan Logam Berat Pb Dalam Muatan Padatan Tersuspensi dan Terlarut di Perairan Pelabuhan Belawan dan Sekitarnya, Provinsi Sumatera Utara. *Maspari Journal*, 2(1), 48-53, <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/maspari/article/view/1158>
- Heriyanto, N. M., & Subiandono, E. (2011). Penyerapan Polutan Logam Berat (Hg, Pb Dan Cu). *Penelitian Alam Dan Konservasi Hutan*, 8(2), 177-188, <http://ejournal.fordamof.org/ejournal-litbang/index.php/JPHKA/article/view/1057>
- Indirawati, S. M. (2017). Pencemaran Logam Berat Pb Dan Cd Dan Keluhan Kesehatan. *Jumantik*, 2(2), 54-60, <http://jurnal.uinsu.ac.id/index.php/kesmas/article/view/1165>
- Khairuddin, Yamin, M., & Syukur, A. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat Pada Tumbuhan Mangrove. *Biologi Tropis*, 18(1), 69-79, <https://jurnalfkip.unram.ac.id/index.php/JBT/article/view/731>
- Khan, S. Farooq, R. Shahbaz, S. Khan, M. A. & Sadique, M. (2009). Health

Komparasi Logam Berat pada Kawasan Mangrove Alami dan Industri di Perairan Belawan, Pulau Sicanang

- Risk Assessment of Heavy Metals for Population Via Consumption of Vegetables. *World Appl. Sci*, 6(12), 1602-1606,
https://www.researchgate.net/publication/255574646_Health_Risk_Assessment_of_Heavy_Metals_for_Population_via_Consumption_of_Vegetables
- Lestari & Edward. (2004). Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Kualitasair Laut Dan Sumberdaya Perikanan (Studi Kasus Kematian Massal Ikan-Ikan di Teluk Jakarta). *Makara, Sains*, 8(2), 52-58,
<http://journal.ui.ac.id/index.php/science/article/view/414>
- Manikasari, G. P., & Mahayani, N. P. D. (2018). Peran Hutan Mangrove Sebagai Biofilter Dalam Pengendalian Polutan Pb dan Cu Di Hutan Mangrove Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan*, 2(2), 105–117,
<https://jurnal.ugm.ac.id/jnt/article/view/42721>
- Mulyadi, E., Laksmono, R., & Aprianti, D. (2009). Fungsi Mangrove Sebagai Pengendali Pencemar Logam Berat. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, (1)Edisi khusus, 33-39,
<http://eprints.upnjatim.ac.id/1263/>
- Nugraha, W. A. (2009). Kandungan Logam Berat Pada Air dan Sedimen di Perairan. *Jurnal Kelautan*, 2(2), 158-164,
<https://journal.trunojoyo.ac.id/jurnalkelautan/article/view/863>
- Palar, H. (1994). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sanadi, T. H., Schadu, J. N. W., Tilaar, S. O., Mantiri, D., Bara, R., & Pelle, W. (2018). Analisis Logam Berat Timbal (Pb) Pada Akar Mangrovedi Desa Bahowo dan Desa Talawaan Bajo Kecamatan Tongkaina. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropi*, 6(2), 9-18,
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jplt/article/view/21382>
- Setiabudi, B. T. (2005). *Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emasdi Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta*. Yogyakarta: Kolokium Hasil Lapangan-Dim, 2005,
<http://psdg.bgl.esdm.go.id/kolokium/Konservasi/61.%20konservasi%20-%20Sangon,%20Yogyakarta.pdf>
- Setiawan, H. (2014). Pencemaran Logam Berat Di Perairan Pesisir Kota. *Buletin Eboni*, 11(1), 1-13,
<http://ejournal.fordamof.org/ejournal-litbang/index.php/buleboni/article/view/5028>
- Utami, R., Rismawati, W., & Sapanli, K. (2018). Pemanfaatan Mangrove Untuk Mengurangi Logam Berat di Perairan. *Seminar Nasional Hari Air Dunia 2018*, 141-153,
<http://conference.unsri.ac.id/index.php/semnashas/article/view/799>
- Yudo, S. (2006). Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai. *JAI*, 2(1), 1-15,
<http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JAI/article/view/2275/1897>

Studi Awal Pembuatan Membran *Chitosan-Silica Based* dari Berbagai Limbah

Preliminary Study on Chitosan-Silica Based Membrane Production from Several Waste

Felix Arie Setiawan^{1*)}, I Made Arimbawa¹⁾, Navisa Ayudia Putri¹⁾, Boy Arief Fachri¹⁾

¹⁾ Universitas Jember, Teknik Kimia, Indonesia

*email: felix.arie@unej.ac.id

Received: 25/12/19; Revised: 09/06/20; Accepted: 09/06/20

Abstrak

Jember memiliki potensi perikanan terutama udang sebagai sumber kitin yang merupakan dasar pembuatan kitosan. Kitosan berasal dari limbah kulit udang yang dicampur dengan limbah lain yaitu padatan silika dari Pembangkit Listrik Panas Bumi dan *fly ash* dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap untuk menghasilkan membran yang dapat digunakan dalam filtrasi logam berat dalam air. Membran tanpa silika dibuat sebagai *negative control* dan dengan silika murni sebagai *positive control*. Membran kitosan dibuat dengan cara mencampurkan 1,0 gram kitosan dalam 100 mL larutan asam asetat 2% v/v dan 0,8 gram senyawa silika serta 0,5 gram *polyethylene glycol*. Membran yang telah dibuat diuji untuk menyaring larutan yang mengandung logam berat Cu dan Pb. Konsentrasi optimum dari Cu dan Pb dalam badan cairan dapat dikurangi sebesar 87% dan 80% menggunakan membran kitosan-silika.

Kata kunci: kitosan, logam berat, membran, *power plant waste*, silika

Abstract

Jember has fishery potential, especially shrimp as a source of chitin which is the basis for making chitosan. Chitosan from waste is mixed with other wastes, namely silica solids from the Geothermal Power Plant and fly ash from the Power Plant to produce membranes that can be used in heavy metal filtration. In addition, membranes without silica are made as negative control and with pure silica as positive control. Chitosan membrane was made by mixing 1.0 gram of chitosan in 100 mL of 2% v / v acetic acid solution, 0.8 gram of silica compound, and 0.5 gram of polyethylene glycol. Membranes were tested to filter out solutions containing heavy metals of Cu and Pb. The optimum concentrations of Cu and Pb in solution can be reduced by 87% and 80% using chitosan-silica membranes, respectively.

Keywords: chitosan, heavy metals, membrane, *power plant waste*, silica

PENDAHULUAN

Jember yang terletak di wilayah pesisir selatan Pulau Jawa memiliki potensi perikanan yang sangat besar. Potensi tangkapan udang di wilayah Jember tidak dapat dipandang sebelah mata dan cukup tinggi seperti terlihat pada Tabel 1, rerata tangkapan nelayan sebesar 25,5 Ton per

tahun. Udang merupakan hewan laut yang memiliki kandungan zat kitin 15 – 20% pada kulitnya (Focher dkk., 1992). Menurut data BPS tahun 2002 (BPS, 2002), jumlah total limbah udang sebesar 29,7% dari berat aslinya. Sehingga potensi limbah udang di wilayah Jember per tahun adalah sekitar 7,6 ton.

Studi Awal Pembuatan Membran *Chitosan-Silica Based* dari Berbagai Limbah

Meninjau potensi pemanfaatan limbah kulit udang setiap tahun, perlu upaya studi untuk membuat suatu produk turunannya. Zat kitin yang terkandung dalam limbah udang sebenarnya dapat diolah menjadi kitosan yang memiliki nilai jual tinggi. Kitosan memiliki beragam aplikasi di berbagai bidang seperti kesehatan, pemurnian air (koagulan untuk pengolahan limbah), aplikasi biomedis, pertanian, bioteknologi, nutrisi, dan pengisi serat tekstil (Fernandez-Kim, 2004). Penelitian mengenai pemanfaatan kitosan sebagai membran sudah banyak dilakukan (Cui *dkk.*, 2018; Li *dkk.*, 2018; Visa, 2016; Yang *dkk.*, 2019). Aplikasi membran kitosan sangat beragam baik pada ranah medis dan kecantikan maupun skala industri seperti pengolahan air dan adsorben.

Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan kitosan untuk digunakan sebagai membran pengolahan air dalam mengurangi logam berat. Keberadaan logam berat di dalam air mempunyai nilai ambang batas yang harus disesuaikan dengan baku mutu air. Kitosan memiliki beberapa kelemahan sebagai membran sehingga banyak penelitian yang mencoba menggabungkan kitosan dengan material pengisi (porogen) untuk menunjang kemampuan dan sifatnya. Secara umum, porogen untuk membran berbasis kitosan adalah polietilen glikol, polivinil pirolidin, silika, dan garam (He *dkk.*, 2009, Kalapathy *dkk.*, 2000, Mahatmanti *dkk.*, 2016, Zeng & Fang, 2004, Zhang *dkk.*, 2002, Zulti *dkk.*, 2013). Penambahan silika dalam biomaterial kitosan dapat meningkatkan permeabilitas terhadap oksigen, serta ketahanan fisik terhadap suhu tinggi (Muljani *dkk.*, 2018).

Tabel 1. Hasil Perikanan Kabupaten Jember dalam ton (Pembangkit-Jember, 2016)

Jenis ikan	Tahun		
	2009	2010	2011
Tuna	415,0	401,5	946,4
Cakalang	1839,9	1979,0	1965,0
Tongkol	1628,9	1624,9	1991,1
Tengiri	117,2	116,6	415,7
Udang	24,5	16,0	36,1

Penelitian ini telah menggabungkan kitosan yang diperoleh dari limbah udang dengan limbah silika dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) berupa padatan silika dan limbah silika dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap berupa *fly ash*. Limbah silika dari PLTPB pada penelitian ini diperoleh dari PLTPB Dieng dan *fly ash* diperoleh dari Pembangkit Listrik Arutmin. Beberapa penelitian menggabungkan silika ke dalam membran kitosan yang diambil dari ampas tebu (Sjamsiah *dkk.*, 2017), sekam padi (Bokau, 2013), dan limbah silika PLTPB (Muljani *dkk.*, 2018). Penelitian ini mengkaji aplikasi dan pengaruh penambahan padatan silika dari limbah PLTPB dan *fly ash* terhadap filtrasi logam berat.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kitosan, limbah silika padatan dari PLTPB Dieng, *fly ash* dari PTLU Arutmin, asam asetat, NaOH, HCl, *Polyethylene glycol* (PEG), Pb(NO₃)₂, dan CuSO₄. Semua bahan yang digunakan merupakan *grade pro* analisis.

Membran kitosan dibuat dengan cara mencampurkan 1,0 gram kitosan dalam 100 mL larutan asam asetat 2% v/v dan 0,8 gram senyawa silika dan 0,5 gram PEG. Silika yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua yaitu silika dari sumber *fly ash* dan limbah PLTPB, masing-masing

Studi Awal Pembuatan Membran *Chitosan-Silica Based* dari Berbagai Limbah

sebanyak 0,8 gram. Campuran diaduk hingga homogen dan tidak terdapat gelembung udara di dalam larutan. Senyawa silika terlebih dahulu dicampur dengan NaOH 0,1 M selama 15 menit untuk mencuci limbah *fly ash* dan limbah PLTPB kemudian dilanjutkan proses pengovenan. Setelah itu, pada membran kitosan dilakukan penambahan PEG sebagai *Negative Control* (NC) dan penambahan silika gel 70 – 230 mesh sebagai *Positive Control* (PC). Membran diperoleh dengan menuangkan larutan di atas cawan petri dan dibiarkan selama 3 hari untuk menguapkan pelarut yang ada selama 3 hari. Membran dinetralkan dengan larutan NaOH 5% (b/v) setelah proses penguapan pelarut. Membran kemudian dicuci menggunakan HCl 0,1 M untuk menghilangkan NaOH tersisa yang dilanjutkan dengan pencucian menggunakan akuades sebanyak 5 kali. Membran yang sudah dicuci akan disimpan dalam desikator selama 3 hari.

Logam berat dibuat dengan mencampurkan 2,512 gram kristal CuSO dalam 1 L akuades untuk membuat larutan induk CuSO₄ sebesar 1000 ppm. Sedangkan larutan PbCl₂ dibuat dengan 0,15999 gram dalam 1 L akuades untuk membuat larutan induk PbCl₂ sebesar 1000 ppm. Larutan induk CuSO₄ dan PbCl₂ sebesar 10 mL dan 35 mL dimasukkan ke dalam 100 mL labu ukur dengan ditambah larutan HCl 1 M sebanyak 1 mL dan ditambahkan akuades sampai penuh sehingga diperoleh larutan logam berat yang akan diuji.

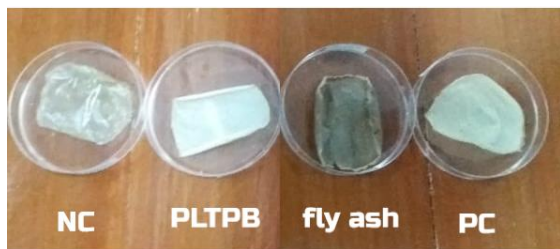
Membran diuji kemampuan dalam filtrasi logam berat yang terkandung pada larutan logam berat yang telah dibuat. Membran dicelupkan ke dalam larutan logam berat dan setelah 24 jam diambil sampel untuk diukur kandungan logam

beratnya. Percobaan dilakukan secara duplo. Filtrat yang diambil dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui kandungan logam berat yang tersisa di dalam larutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Membran dari kitosan dan silika telah berhasil dibuat seperti tersaji dalam Gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan beberapa konsentrasi silika dan jenis silika yang dimasukkan ke dalam larutan kitosan. Membran murni mengandung kitosan berwarna transparan yang disebut dengan *Negative Control* (NC) sedangkan pada berbagai variasi silika campuran baik dari limbah PLTPB dan *fly ash* menunjukkan warna yang semakin hitam (campuran *fly ash* lebih banyak) dan terakhir merupakan silika yang terbuat dari kitosan dicampur dengan silika murni atau yang disebut *Positive Control* (PC).

Proses pencelupan dilakukan dalam penelitian ini dan bukan proses filtrasi dikarenakan membran kitosan yang mudah robek apabila dilakukan perlakuan aliran. Oleh karena itu, proses pencelupan diharapkan mampu digunakan untuk menggantikan proses filtrasi. Sifat fisis dari membran kitosan-silika ini perlu juga diperbaiki agar dapat digunakan pada skala industri. Hal ini lebih dikarenakan sifat dari kitosan yang kurang terhadap pelarut polar. Penambahan bahan aktif lain untuk meningkatkan sifat fisis dari kitosan selain dari sifat penyaringan logam berat dibutuhkan untuk meningkatkan penggunaan kitosan dalam dunia industri.

Studi Awal Pembuatan Membran *Chitosan-Silica Based* dari Berbagai Limbah

Gambar 1. Membran yang dibuat dari kitosan dan silika

Pengujian komposisi kimia limbah *fly ash* dan limbah PLTPB dilakukan untuk mengetahui kandungan penyusunnya. Spektrum dapat dilihat Pada Gambar 2 dan komponen kimia pada Tabel 2. Gambar 2 memperlihatkan spektrum komposisi kimia yang terkandung dalam *fly ash* dan limbah PLTPB. Limbah PLTPB masih terdapat banyak *noise* dikarenakan banyaknya *interference* dalam limbah tersebut, sehingga persiapan limbah PLTPB harus diperhatikan dengan lebih seksama dalam hal pencucian dibanding dengan limbah *fly ash*. Namun, limbah PLTPB mempunyai kandungan silika yang lebih banyak daripada limbah *fly ash* seperti terlihat pada Tabel 2. Hal ini akan mempengaruhi kualitas membran yang akan dibuat.

Tabel 2. Hasil Analisis Bahan Baku Menggunakan XRF

Komposisi	<i>Fly ash</i> , %	Limbah PLTPB, %
Si	44,6	89,058
Fe	33,847	8,933
Al	10,778	< LOD
Ti	1,073	< LOD
Mn	0,429	< LOD
Cr	0,057	1,501
V	0,132	0,506

Hasil aplikasi membran kitosan-silika dapat dilihat pada Tabel 3 dalam filtrasi logam berat. Membran kitosan-silika terlihat lebih efektif untuk filtrasi logam Cu dibandingkan dengan logam Pb.

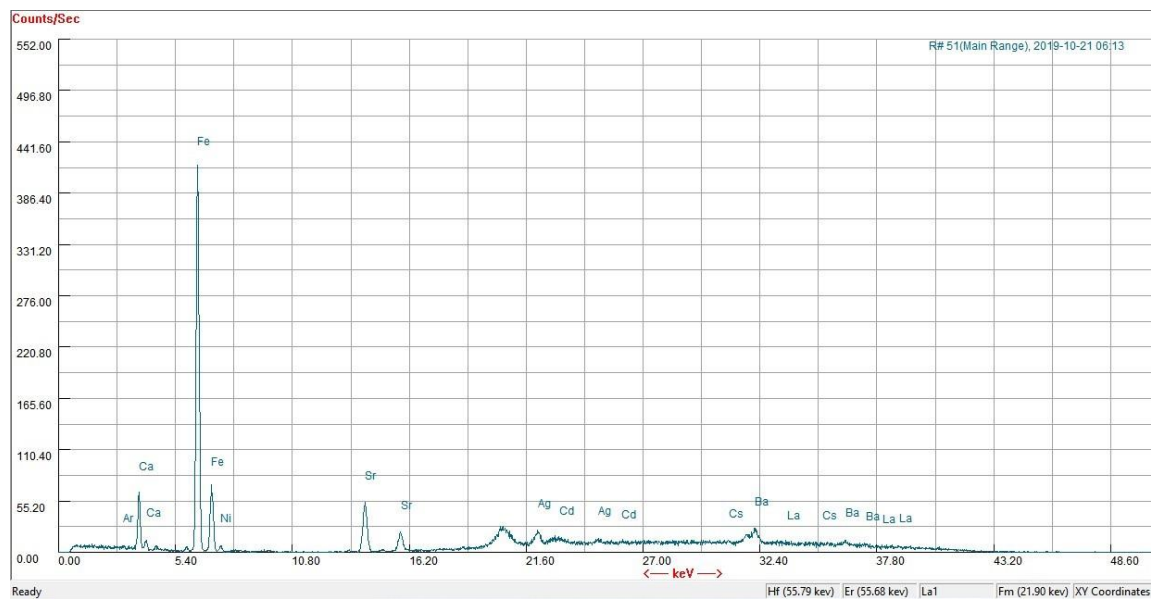
Hal ini dikarenakan ukuran atom Cu yang lebih besar daripada Pb dalam pelarutnya yang berupa HCl yang merupakan alasan utama dalam filtrasi logam berat ini. Diameter senyawa CuCl_2 dan PbCl_2 mempunyai ukuran sebesar $31\ \mu\text{m}$ dan $3,36\ \mu\text{m}$ (Putnis *dkk.*, 2019). Oleh karena itu, senyawa PbCl_2 akan lebih mudah lolos dan terikut ke dalam filtrat.

Tabel 3. Konsentrasi Logam Berat dalam Aplikasi Membran

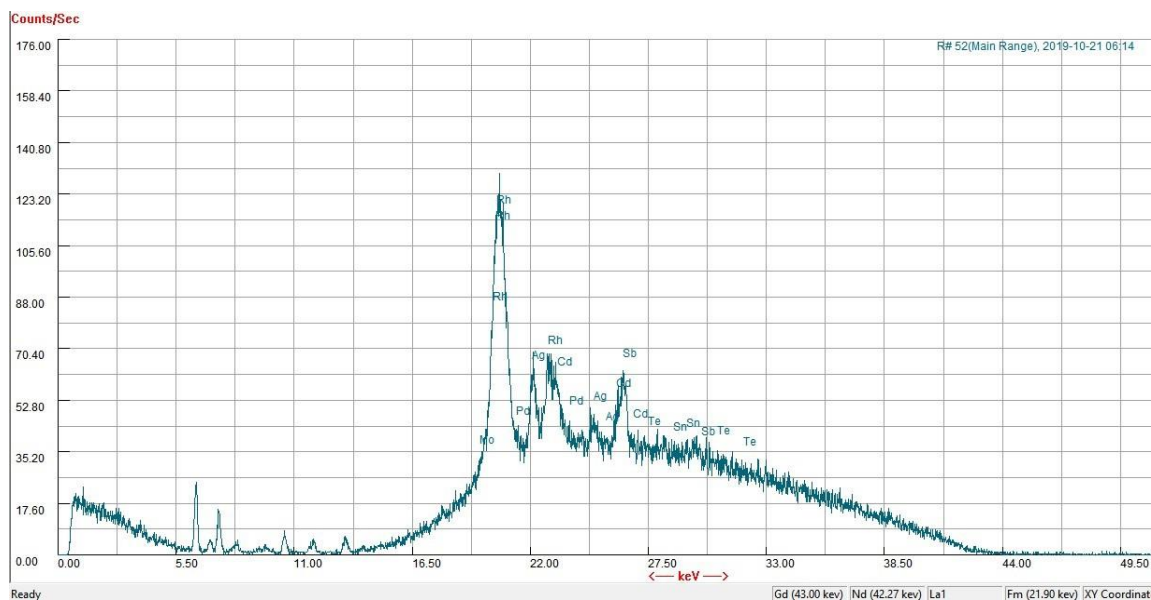
Sample	Cu, ppm		Pb, ppm	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir
PC	11,19	1,10	36,77	4,80
PLTPB	11,19	1,41	36,77	7,43
Fly ash	11,19	1,90	36,77	7,98
NC	11,19	1,89	36,77	13,88

Untuk melihat keefektifan dari membran yang telah dibuat, maka persen penyaringan dapat dilihat pada Gambar 3, proses penyaringan (a) logam Cu sedangkan (b) untuk logam Pb. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa PC sangat baik dalam menyaring logam berat dibandingkan dengan membran lain. Hal ini karena PC mengandung senyawa silika murni yang dapat membantu dalam proses penyaringan logam berat dalam larutan. Selain itu, campuran membran yang mengandung limbah PLTPB lebih efektif dalam proses filtrasi logam berat. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan silika yang terdapat dalam limbah PLTPB yang membantu proses filtrasi logam berat.

Studi Awal Pembuatan Membran *Chitosan-Silica Based* dari Berbagai Limbah

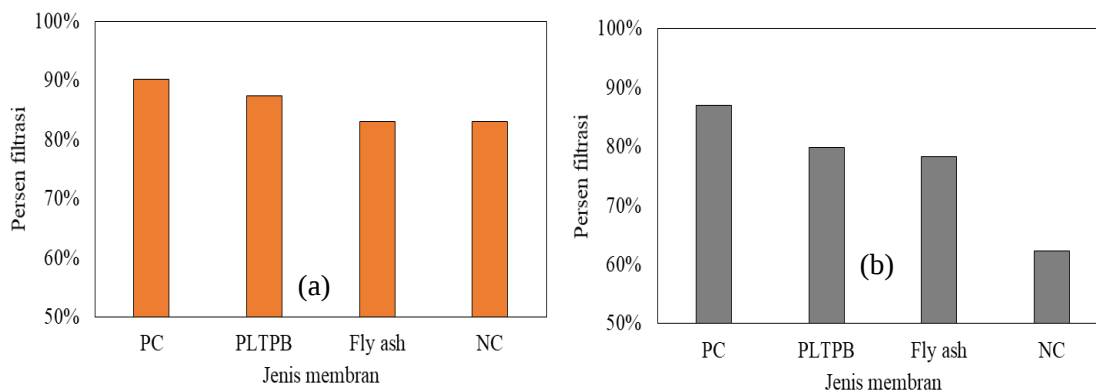


(a)



(b)

Gambar 2. XRF Spectrum untuk Sampel (a) fly ash dan (b) limbah PLTPB



Gambar 3. Besarnya logam berat yang tersaring (a) Cu dan (b) Pb

Studi Awal Pembuatan Membran *Chitosan-Silica Based* dari Berbagai Limbah

Pada proses penyaringan yang terjadi masih terdapat kelemahan dalam membran yang digunakan. Hal ini dikarenakan membran yang telah digunakan untuk menyaring tidak dapat digunakan lagi karena sifat dari membran kitosan yang *hidrophilic* dan menyerap air terlalu banyak. Pada kondisi tersebut, membran dapat mudah robek dan tidak dapat digunakan kembali.

KESIMPULAN

Penelitian ini dapat menyimpulkan bahwa limbah PLTPB sangat efektif dalam proses penyaringan logam berat di dalam larutan. Akan tetapi, Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk meninjau proses penyaringan sebagai fungsi waktu dalam melihat keefektifan dari membran yang dibuat. Selain itu, bahan lain perlu ditambahkan dalam pembuatan membran ini untuk mencegah proses *swelling* dalam penggunaan membran kitosan silika agar dapat digunakan kembali.

Membran berbasis kitosan dan silika yang dihasilkan dari limbah PLTPB dan PLTU telah berhasil dibuat. Membran ini juga sangat efektif dalam proses penyaringan logam berat dalam air. Proses filtrasi Cu lebih efektif dibandingkan dengan Pb dengan persen filtrasi optimum adalah 87% menggunakan membran dari limbah PLTPB. Sedangkan Pb yang dapat diambil dari larutan sebesar 80%.

DAFTAR RUJUKAN

- Bokau, N. S. (2013). *Sintesis Membran Kitosan Termodifikasi Silika Abu Sekam Padi untuk Proses Dekolorisasi*. Universitas Negeri Semarang.
- BPS. (2002). *Jurnal Ekspor Perdagangan Luar Negeri Indonesia*. Jakarta
- Cui, L., Gao, S., Song, X., Huang, L., Dong, H., Liu, J., Chen, F., & Yu, S.

- (2018). Preparation and characterization of chitosan membranes. *RSC Adv.*, 8(50), 28433-28439, <https://doi.org/10.1039/C8RA05526B>
- Fernandez-Kim, Sun-Ok. (2004). *Physicochemical and functional properties of crawfish chitosan as affected by different processing protocols*. Thesis: Louisiana State University, https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2337&context=gradschool_theses
- Focher, B., Naggi, A., Torri, G., Cosani, A., & Terbojevich, M. (1992). Structural differences between chitin polymorphs and their precipitates from solutions-evidence from CP-MAS ¹³C-NMR, FT-IR and FT-Raman spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 17(2), 97-102, [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(92\)90101-U](https://doi.org/10.1016/0144-8617(92)90101-U)
- He, L.-h., Xue, R., Yang, D.-b., Liu, Y., & Song, R. (2009). Effects of blending chitosan with PEG on surface morphology, crystallization and thermal properties. *Chinese Journal of Polymer Science*, 27(04), 501-510, <https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/S0256767909004175>
- Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. (2000). Production and properties of flexible sodium silicate films from rice hull ash silica. *Bioresource technology*, 72(2), 99-106, [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00112-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00112-1)
- Li, C., Lou, T., Yan, X., Long, Y.-z., Cui, G., & Wang, X. (2018). Fabrication of pure chitosan nanofibrous membranes as effective absorbent for dye removal. *International journal of biological macromolecules*, 106, 768-774, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.072>

Studi Awal Pembuatan Membran Chitosan-Silica Based dari Berbagai Limbah

-
- Mahatmanti, F. W., Nuryono, N., & Narsito, N. (2016). Adsorption of Ca (II), Mg (II), Zn (II), and Cd (II) on Chitosan Membrane Blended with Rice Hull Ash Silica and Polyethylene Glycol. *Indonesian Journal of Chemistry*, 16(1), 45-52, <https://jurnal.ugm.ac.id/ijc/article/view/21176>
- Muljani, S., Kusuma, K. A., Nofitasari, L., Amalia, A. R., & Hapsari, N. (2018). Sintesis Membran Kitosan Silika Dari Geothermal Sludge. *Jurnal Teknik Kimia*, 13(1), <https://doi.org/10.33005/tekkim.v13i1.1150>
- Pemkab-Jember. (2016). *Kelautan dan perikanan*. Retrieved from <http://www.jemberkab.go.id/kelautan-dan-perikanan/>
- Putnis, C. V. (2019). Editorial for Special Issue "Mineral Surface Reactions at the Nanoscale". *Minerals*, 9(3), 185, <https://doi.org/10.3390/min9030185>
- Sjamsiah, S., Ramadani, K., & Hermawan, H. (2017). Sintesis Membran Silika Kitosan Dari Abu Ampas Tebu (Bagasse). *Al-Kimia*, 5(1), 81-88, <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/al-kimia/article/view/2857>
- Visa, M. (2016). Synthesis and characterization of new zeolite materials obtained from fly ash for heavy metals removal in advanced wastewater treatment. *Powder Technology*, 294, 338-347, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.02.019>
- Yang, D., Li, L., Chen, B., Shi, S., Nie, J., & Ma, G. (2019). Functionalized chitosan electrospun nanofiber membranes for heavy-metal removal. *Polymer*, 163, 74-85, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.12.046>
- Zeng, M., & Fang, Z. (2004). Preparation of sub-micrometer porous membrane from chitosan/polyethylene glycol semi-IPN. *Journal of Membrane Science*, 245(12), 95-102, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.08.004>
- Zhang, M., Li, X., Gong, Y., Zhao, N., & Zhang, X. (2002). Properties and biocompatibility of chitosan films modified by blending with PEG. *Biomaterials*, 23(13), 2641-2648, [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(01\)00403-3](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(01)00403-3)
- Zulti, F., Dahlan, K., & Sugita, P. (2013). Adsorption of Waste Metal Cr (VI) with Composite Membranes (Chitosan-Silica Rice Husks). *Makara Journal of Science*, 163-168, <http://journal.ui.ac.id/index.php/science/article/view/1477>
-

Optimasi *Blending* Peralite dengan Komponen *Reformat* di PT. XYZ Balikpapan

Optimization of Peralite Blending with Reformat Components at PT. XYZ Balikpapan

Eka Megawati^{1*)}, I Ketut Warsa¹⁾, Mochammad Wahyu Setiawan¹⁾

¹⁾Sekolah Tinggi Teknologi Migas, Pengolahan Minyak dan Gas, Indonesia

*email: ekamegawati89@yahoo.com

Received: 24/12/19; Revised: 04/04/20; Accepted: 03/06/20

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk perbaikan produk Peralite menggunakan komponen Reformat agar memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Dirjen Migas. Metode *blending* merupakan teknik pengumpulan data yang berupa perhitungan optimasi *blending* peralite dengan penambahan komponen reformat menggunakan rumus *trial & error*/coba-coba. Beberapa rumusan perhitungan *blending* yang di pakai untuk membuat Peralite dari komponen-komponennya adalah: *Blending*, Distilasi, *Octane Number* dan RPV. Berdasarkan perhitungan hasil distilasi 10% sebesar 68,88 °C, 50% sebesar 106,94 °C, FBP 201,91 °C, *Reid Vapour Pressure* (RVP) sebesar 48,78 Kpa, *density at 15 °C* sebesar 762,60 Kg/liter, dan ON diperoleh angka sebesar 90. Berdasarkan hasil analisa Perhitungan Optimasi *blending* peralite ON 89,5 dengan Reformat menggunakan rumus *trial & error*/coba-coba, pencampuran titik *blending* telah memenuhi spesifikasi Distilasi, RVP dan Density. Peralite ON 90 diperoleh dari percampuran peralite ON 89,5 sebanyak 5320 m³ dengan Reformat sebanyak 415,625 m³.

Kata Kunci: Angka oktan, *Blending*, *Reformat*, *Trial & Error*

Abstract

This study aims to improve Peralite products using the Reformat component to meet the specifications set by the Director General of Oil and Gas. Blending method is in the form of data collection techniques which include the calculation of the optimization of the peralite blending by adding the reformat component using the formula trial & error / trial and error. Among the several mixing calculation formulas that are used to make Peralite from its components are: Blending, Distillation, Octane Number and RPV. Based on the calculation of 10% distillation results of 68.88 °C, 50% of 106.94 °C, FBP 201.91 °C, Reid Vapor Pressure (RVP) of 48.78 Kpa, density at 15 °C of 762.60 Kg / liter, and ON were obtained a figure of 90. Based on the analysis results of the optimization of peralite ON 89.5 blending with Reformat using the trial & error formula, the blending point mixing meets Distillation, RVP and Density specifications. Peralite ON 90 was obtained from a mixture of peralite ON 89.5 totaling 5320 m³ with Reformat totaling 415,625 m³.

Keywords: *Blending*, *Octane Number*, *Reformat*, *Trial & Error*

PENDAHULUAN

Minyak bumi adalah istilah yang dipakai di Indonesia yang pemakaiannya telah mendarah daging pada masyarakat kita, dalam beberapa bahasa lain, diantaranya Inggris, istilah yang dipergunakan adalah petroleum yang berasal dari kata petro, batu dan oleum, minyak. Jadi arti petroleum ialah “minyak batu”. Namun istilah “minyak bumi” lebih tepat karena memang minyak ini terdapat dalam bumi (Mu'in, 2010).

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam. Salah satu hasil alam yang menjadi sumber utama pendapatan negara dan menjadi penggerak roda kegiatan ekonomi adalah kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi (Maryani & Suseno, 2018). Bahan bakar yang umum didapatkan dipasaran sebagai konsumsi utama motor bakar berasal dari fosil, yang ketersediaannya di bumi semakin menipis dan terbatas, maka banyak terobosan baru yang dikembangkan dengan berbagai cara untuk mengefektifkan penggunaan bahan bakar minyak ini, sehingga penggunaannya tidak boros dan mempunyai hasil yang paling maksimal (Subagdja, & Yulianto, 2019).

Pertalite adalah bahan bakar minyak dari Pertamina dengan RON 90. Pertalite dihasilkan dengan penambahan zat aditif dalam proses pengolahannya di kilang minyak (Wiryawan, dkk., 2017). Pertalite memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan premium. Selain itu, RON 90 membuat pembakaran pada mesin kendaraan dengan teknologi terkini lebih baik dibandingkan dengan premium yang memiliki RON 88. Sehingga sesuai digunakan untuk kendaraan roda dua, dan kendaraan *multi purpose vehicle* ukuran menengah (Maridjo dkk., 2019).

Perkembangan teknologi kendaraan yang semakin pesat saat ini mengarah pada pemilihan bahan bakar, sehingga meningkatkan kebutuhan angka oktan yang sesuai dengan kinerja mesin (Wibowo dkk., 2015). Angka oktan/ *Oktan Number* (ON) yang lebih tinggi menunjukkan bahwa pertalite merupakan bahan bakar yang lebih baik terhadap mesin dan lingkungan, karena nilai oktan menunjukkan tekanan yang diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan di dalam mesin (Luthfi dkk., 2018). Semakin tinggi angka oktan maka semakin baik kualitas bahan bakar. Angka oktan (RON) Premium dapat ditingkatkan dengan ditambahkan bahan aditif ke dalam Premium (Saleh dkk., 2011).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Karomi (2016), menyatakan bahwa penambahan komponen lain berupa etanol dalam bahan bakar pertalite berpengaruh baik pada performa mesin 4 silinder. Hasil analisa yang dilakukan oleh Putra, & Sakti (2018) dengan metode mencampur bahan bakar RON 90 dengan RON 92 dari 10% : 90%; 20% : 80%; 30% : 70%; 40% : 60%; 50% : 50% dengan putaran 5000 (Rpm); 6000 (Rpm); 7000 (Rpm); 8000 (Rpm); 9000 (Rpm) dan 10000 (Rpm) diperoleh kesimpulan nilai daya dan torsi tertinggi pada RON 90. Sementara itu, Jatmiko, & Winangun (2019), menyatakan bahwa dengan oktan yang tinggi performa mesin akan meningkat dan akan bekerja optimal.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui volume yang dibutuhkan untuk mencampurkan pertalite ON 89,5 dengan reformat agar diperoleh pertalite ON 90.

METODE PENELITIAN

Metodologi Optimasi *Blending* Peralite

Formulasi dan Pencampuran (*Blending*), yaitu proses pencampuran fraksi-fraksi hidrokarbon dan penambahan bahan aditif untuk mendapatkan produk akhir dengan spesifikasi tertentu (Risdiyanta, 2015).

Peralite ON 90 diperoleh dari percampuran peralite ON 89,5 dengan reformat yang memiliki kandungan sama dengan peralite akan tetapi memiliki ON 96,4. Perhitungan *Blending* menggunakan rumus *trial & error*/coba-coba. Pengumpulan data analisis dari masing-masing komponen digunakan untuk mengetahui komponen bahan yang tidak masuk spesifikasi. Rumusan perhitungan pencampuran yang digunakan untuk membuat peralite dari komponen-komponennya adalah: *Blending*, Destilasi 10%, Destilasi 50% dan *Final Boiling Point* (FBP), *Octane Number* dan *Reid Vapour Pressure* (RVP).

Mutu produk dan jumlah produk yang diinginkan dapat dihitung menggunakan rumusan sebagai berikut:

Blending Density pada 15 °C

Untuk mengetahui massa jenis dalam suatu bahan bakar, pada umumnya dapat dihitung secara langsung dari masing-masing komponen, yaitu:

$$\text{Density Blend} = \frac{(V_1 \cdot D_1) + (V_2 \cdot D_2) + \dots + V_n D_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

Keterangan:

Density Blend: *density* hasil pencampuran

V_1, V_2, V_n : vol masing-masing komponen

D_1, D_2, D_n : *density* masing-masing komponen

(Arsip PT. XYZ Balikpapan, 2017)

Blending Angka Oktan (ON)

Secara umum nilai angka oktan dari campuran adalah hasil perkalian antara persen volume dari masing-masing komponen dengan angka oktannya, dengan rumus umumnya adalah:

$$\text{ON Blend} = \frac{(V_1 \cdot \text{ON}_1) + (V_2 \cdot \text{ON}_2) + \dots + V_n \text{ON}_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

Keterangan:

ON Blend: *Octane Number* hasil pencampuran

V_1, V_2, V_n : vol masing-masing komponen

$\text{ON}_1, \text{ON}_2, \text{ON}_n$: *Octane Number* masing-masing komponen

(Arsip PT. XYZ Balikpapan, 2017)

Blending Reid Vapour Pressure (RVP)

Untuk fraksi-fraksi *gasoline* yang kurang penguapannya, maka dapat dilakukan pencampuran dengan fraksi yang mempunyai tingkat penguapan yang lebih tinggi, hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{RVP Blend} = \frac{(V_1 \cdot R_1) + (V_2 \cdot R_2) + \dots + V_n R_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

Keterangan:

RVP Blend: *Reid Vapour Pressure* hasil pencampuran

V_1, V_2, V_n : Vol masing-masing komponen

R_1, R_2, R_n : *Reid Vapour Pressure* masing-masing komponen

(Arsip PT. XYZ Balikpapan, 2017)

Blending Distilasi

Pencampuran distilasi dimaksudkan untuk tingkat penguapan pada temperatur tertentu yang berkaitan dengan fungsinya masing-masing. Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Distilasi Blend} = \frac{(V_1 \cdot de_1) + (V_2 \cdot de_2) + \dots + V_n de_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

Keterangan:

V_1, V_2, V_n : Vol masing-masing komponen

de_1, de_2, de_n : % evaporation temperatur tertentu

(Arsip PT. XYZ Balikpapan, 2017)

Optimasi *Blending* Peralite dengan Komponen *Reformat* di PT. XYZ BalikpapanPenentuan Titik *Blending*

Upaya optimasi produk Peralite (ON 89,5) *Off Spec* dilakukan dengan menambahkan *Reformat* sebagai tambahan komponen *blending* pembuatan Peralite (ON 90). Dari data yang telah ada diketahui angka oktan *Reformat* di atas angka oktan produk Peralite, maka selanjutnya akan *diblending* dengan Peralite untuk memperbaiki kualitas ON dari Peralite sehingga dapat memenuhi spesifikasi dari Peralite. Analisa dilakukan terhadap Produk Peralite yang bertujuan untuk menaikkan kualitas ON dari (ON 89,5) menjadi (ON 90,0).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Titik *Blending*

Untuk mencampur komponen dalam pembuatan Peralite 90, spesifikasi yang terpenting dalam perhitungan *blending* adalah ON, RVP, Distilasi dan Density 15 °C untuk itu perlu dilakukan perhitungan pada setiap titik *blending* yang telah dikonfirmasi pada Tabel 1.

Rumus Perhitungan Volume Cairan *Reformat* yang dibutuhkan:

$$ON \text{ Blending } 90 =$$

$$\frac{(ON \text{ Peralite} \times Volume \text{ Peralite}) + (ON \text{ Reformat} \times A)}{5320 + A}$$

$$ON \text{ Blending } 90 = \frac{(89,5 \times 5320) + (96,4 \times A)}{5320 + A}$$

$$= 90 (5320 + A) = 476140 + 96,4 A$$

$$= 478800 + 90 A = 476140 + 96,4 A$$

$$= 478800 - 476140 = 96,4 A - 90A$$

$$2660 = 6,4 A$$

$$A = \frac{2660}{6,4}$$

$$= 415,625$$

Tabel 1. Data pengamatan komponen Peralite (sebelum *Blending* dengan *Reformat*)

Properties	Results		Spec Peralite	
	Peralite (ON 89,5)	Reformat	min	max
Distillation:				
10% Vol Rec. at (°C)	67	93	-	74
50% Vol Rec. at (°C)	106	119	88	125
FBP Vol Rec. at (°C)	203	188	-	215
Research, F1 (ON)	89,5	96,4	-	90
Vapour Pressure, Reid (Kpa)	49	46	-	69
Density at 15 °C (Kg/L)	759,7	799,8	715	770
Isi dalam Tanki (m³)	5320	4720		
Isi dalam Tanki (Bbl)	33.462,8	29.688,8		

Blending Octane Number *Reformat*:

$$ON = \frac{(V1 \times ON1) + (V2 \times ON2)}{V1 + V2}$$

$$ON = \frac{(5320 \times 89,5) + (415,625 \times 96,4)}{5320 + 415,625}$$

$$ON = 90$$

Blending Distilasi 10 %:

$$DE = \frac{(V1 \times de1) + (V2 \times de2)}{V1 + V2}$$

$$DE = \frac{(5320 \times 67) + (415,625 \times 93)}{5320 + 415,625}$$

$$DE = 68,88 \text{ °C}$$

Blending Distilasi 50 %:

$$DE = \frac{(V1 \times de1) + (V2 \times de2)}{V1 + V2}$$

$$DE = \frac{(5320 \times 106) + (415,625 \times 119)}{5320 + 415,625}$$

$$DE = 106,94 \text{ °C}$$

Optimasi Blending Pertalite dengan Komponen Reformat di PT. XYZ Balikpapan**Blending Distilasi FBP:**

$$DE = \frac{(V1 \times de1) + (V2 \times de2)}{V1 + V2}$$

$$DE = \frac{(5320 \times 203) + (415,625 \times 118)}{5320 + 415,625}$$

$$DE = 201,91 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Blending RVP:

$$RVP = \frac{(V1 \times R1) + (V2 \times R2)}{V1 + V2}$$

$$RVP = \frac{(5320 \times 49) + (415,625 \times 46)}{5320 + 415,625}$$

$$RVP = 48,78 \text{ kpa}$$

Blending Density at 15 °C

$$\text{Density} = \frac{(V1 \times D1) + (V2 \times D2)}{V1 + V2}$$

$$\text{Density} = \frac{(5320 \times 759,7) + (415,625 \times 799,8)}{5320 + 415,625}$$

$$\text{Density} = 762,60 \text{ Kg/L}$$

Tabel 2. Data Pengamatan komponen Pertalite (setelah Blending dengan Reformat)

Properties	Results	Spec Pertalite	
	Pertalite (ON 90,0)	Min	Max
Distillation:			
10% Vol Rec. at (°C)	68,88	-	74
50% Vol Rec. at (°C)	106,94	88	125
FBP Vol Rec. at (°C)	201,91	-	215
Research, F1 (ON)	90	-	90
Vapour Pressure, Reid (Kpa)	48,78	-	69
Density at 15 °C (Kg/L)	762,60	715	770
Isi dalam Tanki (m ³)	5.735,625		
Isi dalam Tanki (Bbl)	36.077,0813	-	74

Pengujian distilasi bertujuan untuk mengetahui secara kuantitatif karakteristik batasan titik didih pada produk petroleum (Prihandini dkk., 2018). Berdasarkan perhitungan yang dapat dilihat pada Tabel 2 distilasi 10% diperoleh angka sebesar 68,88 °C, artinya tidak melebihi batas maksimal spesifikasi (74 °C). Hasil distilasi 50% diperoleh angka sebesar 106,94 °C, artinya tidak melebihi batas minimum (88 °C) dan maksimal spesifikasi (74 °C). Hasil FBP distilasi diperoleh angka sebesar 201,91 °C, artinya tidak melebihi batas maksimal spesifikasi (215 °C). Hasil dari serangkaian pengujian distilasi menyatakan bahwa hasil pengujian telah memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Dirjen Migas.

Reid Vapour Pressure (RVP) adalah tekanan uap (vapor pressure) liquid pada 100 °F dalam ukuran absolut (absolute vapor pressure). Makin besar RVP suatu sampel menunjukkan bahwa sampel tersebut semakin mudah menguap (Dhamayanthie, dkk., 2018). Berdasarkan perhitungan RVP diperoleh angka sebesar 48,78 Kpa. Hasil tersebut tidak melebihi batas maksimal spesifikasi (69 Kpa) yang artinya nilai RVP telah memenuhi standar Dirjen Migas.

Menurut Ramirez (2012), densitas merupakan salah satu sifat bahan bakar yang sangat penting karena mempengaruhi proses produksi, transportasi dan distribusi bahan bakar. Dengan alasan tersebut, maka keakuratan densitas bahan bakar menjadi hal yang penting untuk perhitungan konsumsi energi karena mempengaruhi massa dan injeksi bahan bakar dan *heating value*. Berdasarkan perhitungan densitas pada 15 °C diperoleh angka sebesar 762,60 Kg/liter yang tidak melebihi batas minimal (715 Kg/liter) dan maksimal (770 Kg/liter). Hasil dari serangkaian pengujian densitas

Optimasi *Blending* Pertalite dengan Komponen *Reformat* di PT. XYZ Balikpapan

menyatakan bahwa hasil pengujian telah memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Dirjen Migas.

Angka oktan merupakan angka indikator pada bahan bakar hidrokarbon jenis bensin yang menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk menyala sempurna ketika bersentuhan dengan nyala api pembakaran (*ignition*) selama proses pembakaran (Fauzi dkk., 2017). Angka Oktan ini merupakan perbandingan kadar % *Iso Octane* dalam campuran bahan bakar. Dengan kata lain, makin tinggi angka oktan maka semakin berkurang kemungkinan untuk terjadinya denotasi (*knocking*) (Sembiring, 2019). Berdasarkan perhitungan ON diperoleh angka sebesar 90 yang telah memenuhi standar spesifikasi dari Dirjen Migas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa Perhitungan Optimasi *blending* pertalite ON 89,5 dengan Reformat menggunakan rumus *trial & error*/coba-coba, pencampuran titik *blending* telah memenuhi spesifikasi Distilasi, RVP dan *Density*. Pertalite ON 90 diperoleh dari percampuran pertalite ON 89,5 sebanyak 5320 m³ dengan Reformat sebanyak 415,625 m³.

DAFTAR RUJUKAN

- Arsip PT. XYZ. (2017). Modul PT. XYZ: Rumus *Blending*. Balikpapan
- Dhamayanthie, I., Octaviana, S., & Mulyani, Y. (2018). Analisa Uji Sifat Penguapan Pada Gasoline. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 274-280, DOI: [10.12962/j23546026.y2018i1.3429](https://doi.org/10.12962/j23546026.y2018i1.3429)
- Fauzi, A., Songko, M. N., & Sisanto, E. (2017). Analisis Pengaruh Jenis Bahan Bakar terhadap Penggunaan Hydrocarbon Crack System pada

Emisi Gas Buang Engine Stand Tipe 5K. *ReTII*, 343-354, <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/629>

- Jatmiko, R. S., & Winangun, K. (2019). Pengaruh Pencampuran Bahan Bakar Pertalite dengan Bio Etanol terhadap Performa Mesin Injeksi Yamaha Vixion 150 cc Tahun 2011. *Turbo*, 8(1), 22-27 <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v8i1.914>
- Karomi, A. A. (2016). *Pengaruh Penambahan Etanol Dalam Bahan Bakar Pertalite Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Mesin 4 Silinder*. Doctoral dissertation: Universitas Negeri Semarang. <https://lib.unnes.ac.id/27703/>
- Luthfi, M., Setiyo, M., & Munahar, S. (2018). Uji Komposisi Bahan Bakar dan Emisi Pembakaran Pertalite dan Premium. *Jurnal Teknologi*, 10(1), 67-72. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/1471>
- Maridjo, Yuliani, I., & Angga, R. (2019). Pengaruh pemakaian bahan bakar premium, pertalite dan pertamax terhadap kinerja motor 4 tak. *JURNAL TEKNIK ENERGI*, 9(1), 73-78. <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/energi/article/view/1648>
- Maryani, E., & Suseno, S. A. (2018). Peningkatan Proses Produksi Minyak dan Gas Bumi dengan Menurunkan Tekanan Hisap Kompesor. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi dan Aplikasi di Lingkungan Tropis*, 1(1), 15-24, <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/SEMNASTEK/article/view/942>
- Mu'in, R. (2010). Upaya Memperpanjang Pemakaian Minyak Bumi. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(2), 9-15 <http://jtk.unsri.ac.id/index.php/jtk/article/viewFile/103/102>

Optimasi *Blending* Pertalite dengan Komponen *Reformate* di PT. XYZ Balikpapan

-
- Prihandini, G. (2018). Analisa Sifat Penguapan dan Sifat Pembakaran pada Minyak Solar. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 2(8), 40-48, <http://jurnal.syntaxliterate.co.id/index.php/syntax-literate/article/view/338>
- Putra, D. K., & Sakti, G. (2018). Analisis Perbandingan Campuran BBM RON 90 dengan RON 92 pada Engine Compresi Rasio 11, 3:1 Piston Displacement 150 cm³. *Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)*, (2)1, <https://ejournal.poltekbangsby.ac.id/index.php/SNITP/article/view/211/149>
- Ramírez-Verduzco, L. F., Rodríguez-Rodríguez, J. E., & del Rayo Jaramillo-Jacob, A. (2012). Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel*, 91(1), 102-111, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236111003942>
- Risdiyanta, R. (2015). Mengenal Kilang Pengolahan Minyak Bumi (Refinery) di Indonesia. *Swara Patra*, 5(4), 46-54, <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/160>
- Saleh, A., Setianingrum, A., & Karolina, T. (2011). Pengaruh Penambahan Alkohol pada Premium untuk Mencapai Bilangan Oktan yang Setara dengan Pertamax. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(5), 18-28, <http://jtk.unsri.ac.id/index.php/jtk/article/view/342>
- Sembiring, R. (2019). Analisa Gas Buang Sepeda Motor 4 Tak 150 CC Manual Berbahan Bakar Percampuran Pertamax Turbo dengan Premium. *Jurnal Ilmiah Research Sains*, 5(1). <http://www.jurnalmudiraindure.com/wp-content/uploads/2019/03/16.-Ir.-Resep-Sembiring-MT.pdf>
- Subagdja, T., & Yulianto, A. (2019). Analisis Pengaruh Bilangan Oktan terhadap Pemakaian Bahan Bakar (Specific Fuel Consumption). *Prosiding SEMNASTEK 2019*, 74-83, <https://jurnal.teknikunkris.ac.id/index.php/semnastek2019/article/view/259>
- Wibowo, C. S., Aisyah, L., Widhiarto, H., Riyono, S. (2015). Kebutuhan Angka Oktana Kendaraan Bermotor Mesin Bensin di Indonesia Octane Number Requirement Based on Gasoline Vehicles Population in Indonesia. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 49(1), 33-40, <http://journal.lemigas.esdm.go.id/ojs/index.php/LPMGB/article/viewFile/234/156>
- Wiryan, P. N., Gede Widayana, S. T., & Dantes, K. R. (2017). Pengaruh Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar Pertalite dan Bahan Bakar Gas LPG terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar Bensin 4 Tak Pada Motor Honda Supra Fit. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 5(2). <http://dx.doi.org/10.23887/jjtm.v5i2.10606>
-

Pengaruh Variasi Dopan Asam Terhadap Kinerja Baterai Sekunder Polianilina|Zn

The Effect of Acid Dopant Variation on the Performance of Polyaniline|Zn Secondary Batteries

Said Ali Akbar^{1*}, Veinardi Suendo²⁾, Achmad Rochliadi²⁾

¹⁾Universitas Serambi Mekkah, Pendidikan Kimia, Indonesia

²⁾Institut Teknologi Bandung, Kimia, Indonesia

*email: said.aliakbar@serambimekkah.ac.id

Received: 07/06/20; Revised: 18/06/20; Accepted: 18/06/20

Abstrak

Studi tentang baterai sekunder polianilina(PAni)|Zn telah banyak dikembangkan, tetapi sejauh ini masih belum ada penjelasan mengenai pengaruh asam terhadap kinerja baterai tersebut. PAni disintesis menggunakan metoda elektrodposisi dengan tegangan 0,7 V selama 30 menit. PAni hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan Voltametri dan Spektroskopi Inframerah. Baterai PAni|Zn didesain dalam bentuk sandwich, kemudian pengukuran kinerja digunakan impedansi serta pengisian-pengosongan. Baterai dengan elektroda PAni-Cl dan PAni-Br mempunyai kinerja yang lebih baik dengan *specific capacity* saat ke-60 yaitu 55,4 dan 37,4 mAh g⁻¹. Pengukuran impedansi pada baterai dengan elektroda PAni-Cl, PAni-Br, dan PAni HClO₄, menunjukan *resistance solution* (*R_s*) secara berurutan yaitu 1,38; 2,56; dan 3,03 Ω dan *resistance charge transfer* (*R_{ct}*) 2,24; 2,97; dan 7,71 Ω. Oleh sebab itu, baterai PAni|Zn dengan dopan HCl menunjukkan kinerja terbaik dibanding dengan asam yang lain.

Kata Kunci: baterai sekunder, dopan asam, Polianilina, *specific capacity*, Zn

Abstract

*Studies on secondary polyaniline (PAni)|Zn batteries have been extensively developed, but so far there has been no explanation regarding the effect of acid on the performance of these batteries. PAni was synthesized using the electrodeposition method with a voltage of 0.7 V for 30 minutes. The synthesis results were characterized using Voltammetry and Infrared Spectroscopy (IR). PAni|Zn batteries are designed in the form of sandwiches, then the performance measurements are conducted by impedance and charge-discharge. The batteries with PAni-Cl and PAni-Br electrodes have better performance with specific capacity at 60, namely 55.4 and 37.4 mAh g⁻¹. Impedance measurements on batteries with PAni-Cl, PAni-Br, and PAni HClO₄ electrodes, showed resistance solutions (*R_s*) in sequence, namely 1.38; 2.56; and 3.03 Ω and resistance charge transfer (*R_{ct}*) 2.24; 2.97; and 7.71 Ω. Therefore, PAni|Zn batteries with HCl dopant show the best performance compared to other acids.*

Keywords: acid dopant, Polyaniline, secondary batteries, *specific capacity*, Zn

PENDAHULUAN

Aplikasi polimer konduktif seperti Polianilina (PAni) telah banyak dikembangkan pada perangkat elektronik seperti sensor, kapasitor, baterai, *organic light emitting diodes* (OLED), dan *organic photovoltaic cells* (OPVC) (Šeděnková dkk., 2016). Hal ini disebabkan karena PAni memiliki beberapa keunggulan seperti mudah difabrikasi, memiliki multilevel oksidasi, stabilitas yang baik, konduktivitas yang bervariasi, dan harga monomer yang murah dibandingkan dengan polimer konduktif yang lain (Chang dkk., 2018; Chen & Manzhos, 2016; Deyab & Mele, 2019).

PAni dapat disintesis dalam beberapa bentuk isolatifnya yaitu *Leucomeraldine Base* (LB) yang tereduksi penuh, *Emeraldine Base* (EB) yang teroksidasi setengah dan *Pernigranilin Base* (PB) yang teroksidasi penuh (Gao dkk., 2017; Huang dkk., 2020). Bentuk EB dapat dibuat konduktif dengan proses pendopingan dengan asam (HX), dengan protonasi pada daerah $-N=$, sementara jumlah elektron pada rantai tetap. Bentuk konduktif dari EB disebut *Emeraldine Salt* (ES) dengan konduktivitas 0,1–100 S/cm (Kawashima dkk., 2018; Kurada & De, 2018; Li dkk., 2019). Semakin kuat suatu dopan asam, maka konduktivitas PAni akan semakin baik. Penggunaan dopan asam seperti HCl, HBr, *Camphorsulfonic acid*, $HClO_4$, dan H_2SO_4 untuk menurunkan resistansi dari material PAni telah dilaporkan (Hatchett dkk., 1999; Zhao dkk., 2018^b).

PAni banyak digunakan sebagai elektroda katalitik maupun komposit pada suatu material elektroda. Namun, PAni juga dapat dijadikan sebagai elektroda utama. Hal ini karena PAni memiliki sifat

multilevel oksidasi dan redoks *reversible* (Luo dkk., 2016). Baterai PAni|Zn merupakan jenis baterai *rechargeable* berbasis PAni sebagai katoda. Baterai ini memiliki kinerja yang mirip dengan baterai Ni-MH, sehingga menjadi inovasi terbaru sebagai sumber penyimpanan energi yang dapat bersaing dengan baterai Ni-MH. Namun, baterai PAni|Zn mengalami kehilangan kapasitas pada saat beberapa kali proses pengisian-pengosongan (*irreversible redox*) (Taheri dkk., 2018; Zhao dkk., 2018^a). Hal tersebut membuat menurunnya kinerja baterai.

Pemanfaatan asam klorida sebagai dopan asam pada baterai PAni|karbon telah dilakukan dan ditemukan kerapatan energi sebesar 80 mAh g^{-1} dengan efisiensi coulomb 99% (Zhao dkk., 2018^b). Sintesis PAni dengan dopan H_2SO_4 menunjukkan endapan putih pada saat awal sintesis dengan terbentuknya jembatan sulfat antara 2 layer PAni. Hal ini bersifat meningkatkan konduktivitas, tetapi mengganggu stabilitas redoks (Hatchett dkk., 1999). Hanya sedikit laporan tentang penggunaan dopan asam lain pada elektroda PAni untuk aplikasi baterai. Oleh karena itu, pada studi ini dilakukan kajian tentang kinerja baterai PAni|Zn pada beberapa dopan asam yaitu HCl, HBr, dan $HClO_4$.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan analisis yang digunakan berupa *Fourier-Transform Infra Red* (FTIR). Bahan yang digunakan adalah anilina (Sigma-Aldrich), $ZnCl_2$ (Merck), $ZnBr_2$ (Merck), $Zn(ClO_4)_2$ (Merck), serbuk seng (Merck), HBr 47% (Merck), HCl 37% (Merck), KBr (Merck), dimetilasetamida (DMAC) (Merck),

HClO₄ 60% (Merck), triton X-100, aqua demineralisasi, dan aseton teknis.

Sintesis Polianilina

PAni disintesis menggunakan metoda elektrodposisi. Sebanyak 3,72 g anilina (C₆H₅NH₂), M_r = 93 g/mol) dilarutkan ke dalam 100 mL masing-masing larutan asam pendopan 1 M. Dalam hal ini, asam pendopan yang digunakan adalah HCl, HBr, dan HClO₄. Selanjutnya, larutan tersebut dimasukkan kedalam sel dengan 3 elektroda yaitu, logam Pt sebagai elektroda lawan, *Graphite Sheet (GC)* sebagai elektroda kerja, dan Ag/AgCl didalam larutan KCl jenuh sebagai elektroda pembanding. Proses polimerisasi ini dilakukan pada tegangan konstan sebesar 0,7 V selama 30 menit. Produk yang dihasilkan dicuci dengan aquades, lalu dicuci dengan asam pendopannya sendiri.

Karakterisasi Polianilina

Cyclic Voltammetry (CV)

Produk hasil sintesis disusun sebagai elektroda dalam wadah yang berisi larutan asam pendopannya. Pada sel ini terdiri dari 3 elektroda yaitu logam Pt sebagai elektroda lawan, PAni sebagai elektroda kerja, dan Ag/AgCl didalam larutan KCl jenuh sebagai elektroda pembanding. *Scanning* dilakukan pada rentang voltase - 0,2 V sampai 0,8 V selama 15 siklus. Kecepatan scanning yang digunakan adalah 50 mV/s.

Fourier-Transform Infra Red (FTIR)

Sejumlah 0,2 mg PAni dicampurkan dengan 0,1 g KBr di dalam *mortar agate*, dihaluskan sehingga keduanya bercampur merata. Selanjutnya, campuran PAni/KBr ditekan hingga terbentuk pelet PAni

didalam matriks KBr. PAni kemudian dianalisis menggunakan FTIR *Bruker Alpha*, dengan rentang bilangan gelombang 4000 – 550 cm⁻¹ dan jumlah pemindaian sebanyak 16 kali. Prosedur yang sama dilakukan untuk ketiga jenis PAni.

Pengujian Kinerja Baterai

a. Pengisian-Pengosongan

Masing-masing baterai PAni dengan berbagai asam pendopan dianalisis performanya melalui proses pengisian dan pengosongan dengan *Gamry Reference 3000*. Proses ini menggunakan arus sebesar 10 mA selama 60 siklus. *Cut off* pada proses pengisian adalah 1,6 V, sedangkan pada proses pengosongan adalah 0,7 V. Prekondisi dilakukan pada awal siklus dengan *cut off* pengisian 1,65 V, dan pengosongan 0,1 V. Prekondisi ini bertujuan untuk memaksimalkan reaksi yang terjadi pada elektroda PAni.

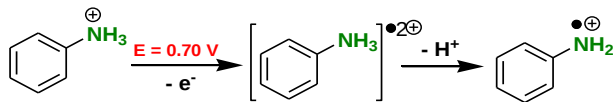
b. *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

Masing-masing baterai PAni dengan berbagai asam pendopan diukur impedansinya pada suhu 27 °C. pengukuran impedansi dilakukan dengan *Gamry Reference 3000* menggunakan arus sebesar 1 mA dengan *frequency sweep* dari 0,1 Hz hingga 100 mHz. Data hasil pengukuran diekstrapolasi dalam bentuk kurva *Nyquist*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Polimerisasi anilina terjadi melalui reaksi oksidasi. Mula-mula anilina dilarutkan kedalam masing-masing asam pendopannya (HCl, HBr, dan HClO₄), sehingga diperoleh anilina yang terprotonasi. Selain bertujuan melarutkan

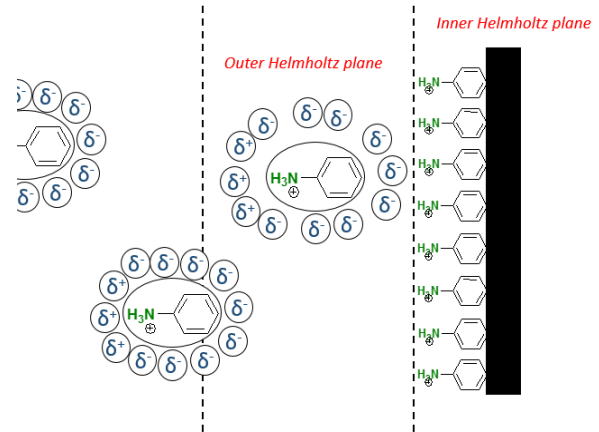
anilina yang bersifat viskos, protonasi anilina juga membentuk kation anilinium yang cukup mudah teroksidasi (Sovizi & Fahimi, 2018).



Gambar 1. Reaksi oksidasi dari kation anilinium.

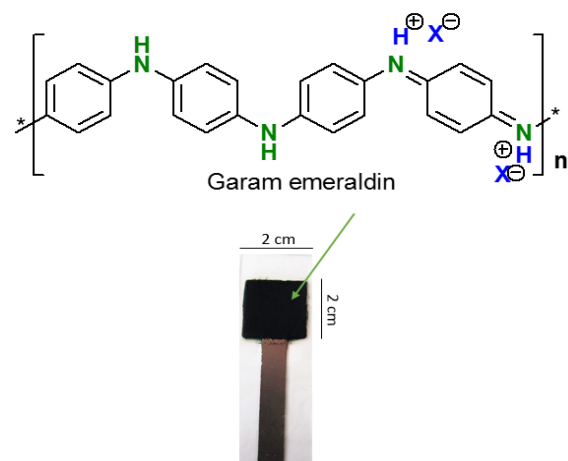
Proses polimerisasi ini dilakukan pada tegangan konstan sebesar 0,7 V karena nilai voltase tersebut merupakan potensial oksidasi dari kation anilinium (Zhang *dkk.*, 2018). Sebelumnya, proses oksidasi diawali dengan mobilisasi ion anilinium menuju anoda. Pertama, kation anilinium mengalami solvasi membentuk awan ion yang bermuatan parsial negatif karena adanya pengaruh dipol-dipol. Selanjutnya, kation anilinium tersebut terimobilisasi menuju anoda melalui *Outer Helmholtz Plane* (OHP) dan *Inner Helmholtz Plane* (IHP) (Li *dkk.*, 2019). Kation anilinium yang tersolvasi akan mengalami desolvasi pada OHP. Setelah itu, pada IHP ion anilinium yang sudah terdesolvasi akan cukup aktif untuk menuju anoda melalui cincin benzena yang bermuatan parsial negatif (Kurada & De, 2018). Proses mobilisasi diilustrasikan pada Gambar 2

Setelah itu, kation anilinium teroksidasi di anoda (elektroda kerja) membentuk anilinium radikal positif. Selanjutnya, anilinium radikal positif akan mengalami dehidrogenasi membentuk anilina radikal positif. Pada bentuk ini, anilina radikal positif merupakan spesi aktif yang akan mengalami reaksi kopling membentuk rantai polianilina (Kawashima *dkk.*, 2018).



Gambar 2. Ilustrasi mobilisasi ion anilinium menuju anoda.

Proses polimerisasi dilakukan ± 30 menit, hingga didapatkan massa produk sebesar ± 60 mg. Hasil sintesis dapat dilihat pada Gambar 3. PANi yang dihasilkan kemudian dicuci menggunakan asam klorida, untuk protonasi yang lebih optimal agar dihasilkan PANi-ES dengan konduktivitas tinggi. PANi selanjutnya dicuci dengan aseton untuk melarutkan oligomer yang terbentuk selama proses polimerisasi (Zhao *dkk.*, 2018^b).



Gambar 3. Produk polianilina hasil sintesis.

Karakterisasi Polianilina

Cyclic Voltammetry (CV)

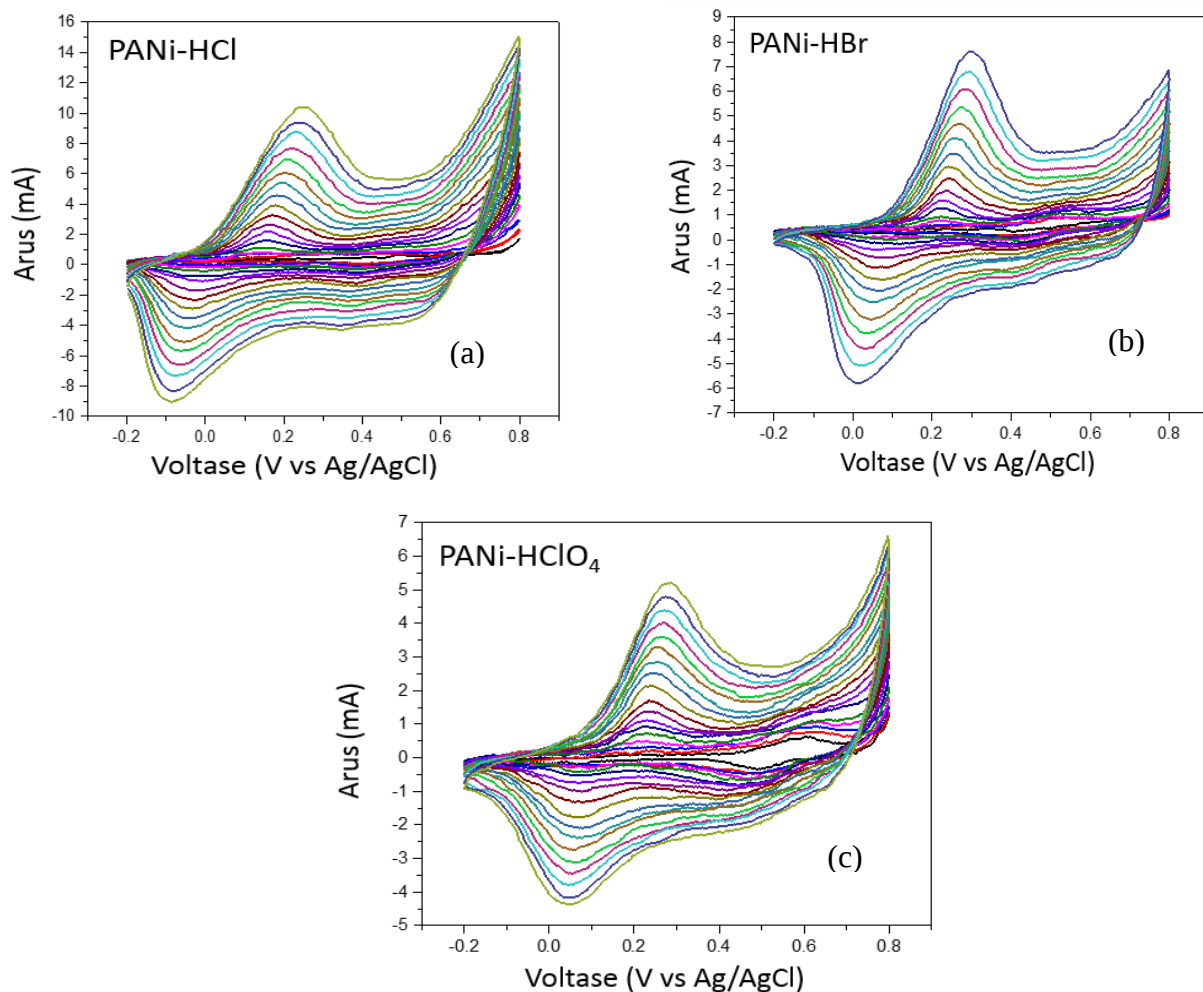
Profil proses elektrodposisi anilina menjadi PANi dipelajari dengan menggunakan *cyclic voltammetry* (CV)

yang dapat dilihat pada Gambar 4. Pada puncak anodik (P_a) 0,22 V dan puncak katodik (P_k) -0,08 V merupakan proses redoks yang terjadi antara leukoemeraldin dan emeraldin. Pada P_a 0,74 V dan P_k 0,58 V seharusnya identik dengan redoks yang terjadi antara emeraldin dengan pernigranilin (Gao *dkk.*, 2017). Namun puncak tersebut tidak terbentuk, karena dimungkinkan terjadinya kompetitif redoks dengan oksidasi dari air. Pada siklus awal proses Voltametri, terlihat ada puncak kecil yang muncul pada P_a 0,61 V dan P_k 0,51 V. Hal ini dikonfirmasi sebagai redoks dari pembentukan *phenazine* (Zhang *dkk.*,

2018). Puncak tersebut hilang seiring bertambahnya siklus.

Fourier-Transform Infra Red (FTIR)

Selanjutnya, PANi yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan spektrum FT-IR. Ketiga polianilina hasil sintesis menunjukkan daerah mode vibrasi penting yang mirip yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 1. Serapan pada daerah 1560 cm^{-1} dan 1480 cm^{-1} mengindikasikan mode vibrasi dari ulur C=C pada cincin kuinoid dan ulur C=C pada cincin benzenoid (Deyab & Mele, 2019).

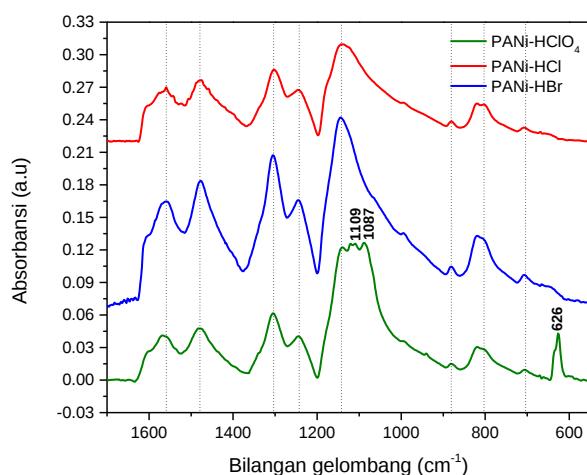


Gambar 4. Profil voltammogram dari proses elektrodposisi anilina dengan asam dopan (a) HCl, (b) HBr, dan (c) HClO₄.

Pengaruh Variasi Dopan Asam Terhadap Kinerja Baterai Sekunder Polianilina|Zn

Intensitas puncak pada 1480 cm^{-1} , terlihat sedikit lebih tinggi dibandingkan pada 1560 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan polianilina hasil sintesis memiliki jumlah cincin benzenoid yang lebih banyak dibandingkan cincin kuinoid. Intensitas pada 1480 cm^{-1} untuk leukoemeraldin, akan menunjukkan serapan yang kuat (Zhao *dkk.*, 2018^b).

Hal ini disebabkan leukoemeraldin tidak memiliki cincin benzenoid. Begitu juga dengan pernigranilin yang memiliki cincin kuinoid yang sama banyak dengan cincin benzenoid, akan menunjukkan intensitas puncak yang sama tinggi pada daerah 1560 cm^{-1} dan 1480 cm^{-1} .



Gambar 5. Spektrum FT-IR dari polianilina hasil sintesis.

Selanjutnya, Serapan pada daerah 1302 cm^{-1} dan 1245 cm^{-1} merupakan Ulur C–N dan Ulur (C–N⁺•) pada kisi polaron. Pada daerah 1140 cm^{-1} merupakan puncak dari Regang Q=NH⁺–B atau Q–NH⁺•–B (Šeděnková *dkk.*, 2016). Serapan tersebut khas terdapat pada emeraldin dan pernigranilin. Serapan pada daerah 820 cm^{-1} merupakan deformasi bidang luar C–H (1,4-disubstitusi cincin) atau deformasi pada cincin kuinoid.

Karakter dari *phenazine* terlihat pada semua polianilina hasil sintesis pada serapan 870 cm^{-1} dalam intensitas yang cukup rendah. *Phenazine* merupakan salah satu produk minor dari sintesis polianilina (Šeděnková *dkk.*, 2016). Intensitas puncak yang cukup tinggi pada 1302 cm^{-1} , maka polianilina hasil sintesis merupakan garam emeraldin. Anion ClO₄[–] juga menunjukkan serapan di daerah 1109 cm^{-1} dan 1087 cm^{-1} (Taheri *dkk.*, 2018).

Tabel 1. Jenis mode vibrasi aktif Spektrum IR dari PANi

Mode Vibrasi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	PAni-HCl	PAni-HBr	PAni-HClO ₄
Ulur C=C pada cincin kuinoid	1562	1560	1562
Ulur C=C pada cincin benzenoid	1479	1479	1482
Ulur C–N	1302	1301	1303
Ulur (C–N ⁺ •) pada kisi polaron	1246	1245	1245
Regang Q=NH ⁺ –B atau Q–NH ⁺ •–B	1142	1142	1141
Anion ClO ₄ [–]	-	-	1109; 1087; 626
Vibrasi tekuk keluar bidang pada cincin 1,2,4 – trisubstitusi	878	878	877
Deformasi bidang luar (C–H) (1,4-disubstitusi cincin)	819	818	819
Deformasi cincin kuinoid			

Pengujian Kinerja Baterai

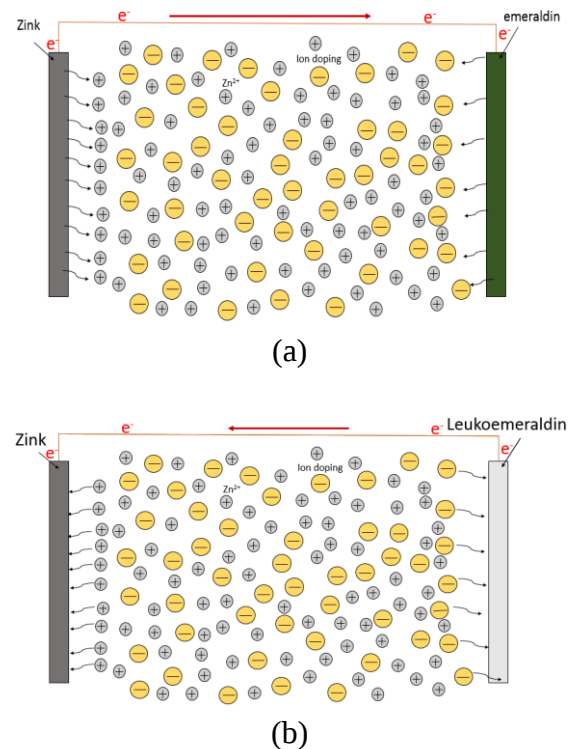
Fabrikasi baterai dibuat dalam bentuk *sandwich*, PANi sebagai katoda sedangkan Zn sebagai anoda. Separator digunakan kertas saring yang berisikan elektrolit yang sesuai dengan pendopannya dan surfaktan Triton X-100. Triton X-100 digunakan untuk mencegah pembentukan Dendrit pada Zn (Zhao *dkk.*, 2018^a). *Currefnt collector* untuk PANi digunakan *Graphite Sheet*.

Pada pengujian performa baterai tersebut, proses pengisian dan pengosongan dilakukan selama 60 siklus menggunakan arus sebesar 10 mA untuk semua jenis baterai PANi. Batasan *cut-off* pengisian adalah 1,6 V dan pengosongan adalah 0,7 V. Pemilihan batasan tersebut didasari pada perlakuan prekondisi pada baterai PANi. Pada prekondisi, *cut-off* pengisian digunakan 1,7 V. Ternyata pada batasan tersebut, baterai tidak mampu melakukan pengisian lagi pada 1,64 V. Hal ini disebabkan oleh keseluruhan PANi sudah teroksidasi.

Begitu juga halnya pada saat pengosongan, prekondisi dilakukan dengan *cut-off* pengosongan 0,1 V. Hasil yang ditemukan, pada 0,7 V terjadi penurunan yang drastis menuju 0 V yang sesuai dengan *cut-off* pengosongan. Hal yang serupa dengan proses pengisian, hal ini mengindikasikan bahwa keseluruhan PANi sudah tereduksi. Proses pengisian dan pengosongan diilustrasikan pada Gambar 6.

Ketika dilakukan pengosongan, maka Zn akan mengalami oksidasi dengan melepas kation Zn^{2+} , lalu PANi emeraldin akan tereduksi menjadi leukoemeraldin dengan melepas dopannya. Seluruh ion yang dihasilkan akan menuju ke fasa *bulk*. Setelah itu, pada proses pengisian, Zn

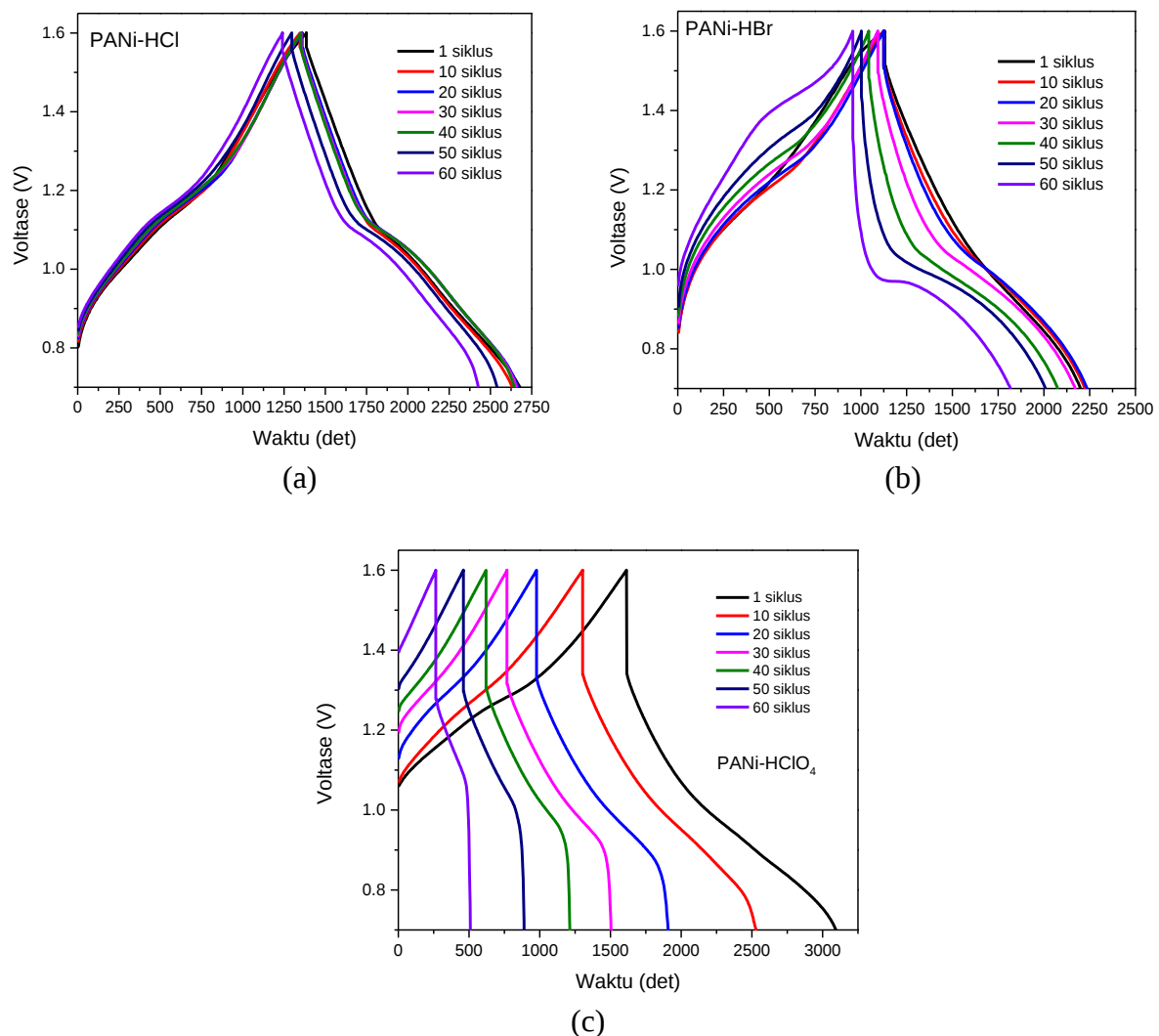
akan mengalami reduksi sedangkan PANi leukoemeraldin akan mengalami oksidasi kembali menjadi emeraldin dengan pengikatan dopan.



Gambar 6. Reaksi yang terjadi dan Ilustrasi baterai PANi pada saat (a) pengosongan dan (b) pengisian.

Baterai PANi dengan dopan Cl dan Br menunjukkan hasil yang cukup stabil pada 60 siklus pengisian-pengosongan seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Kapasitas baterai PANi-Cl dan PANi-Br pada awal siklus adalah 59,49 dan 49,30 mAh g⁻¹. *Lose capacity* baterai PANi-Cl dan PANi-Br sampai pada siklus terakhir adalah 6,77% dan 24,14%. Baterai PANi-ClO₄ memiliki kapasitas awal cukup tinggi yaitu 68,23 mAh g⁻¹, tetapi pada siklus ke 60 kapasitas menurun drastis menjadi 10,2 mAh g⁻¹ dengan *Lose capacity* baterai PANi-ClO₄ sebesar 85,05%.

Pengaruh Variasi Dopan Asam Terhadap Kinerja Baterai Sekunder Polianilina|Zn



Gambar 7. Proses pengisian-pengosongan dari baterai PANi dengan dopan (a) HCl, (b) HBr, (c) HClO₄.

Kapasitas energi pada siklus pertama dari baterai PANi-Cl adalah 68,41 mWh g⁻¹, sedangkan PANi-Br adalah 56,69 mWh g⁻¹. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa baterai PANi-Cl dan PANi-Br menunjukkan performa yang baik. Namun, baterai PANi-Br memiliki kapasitas baterai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan baterai PANi-Cl.

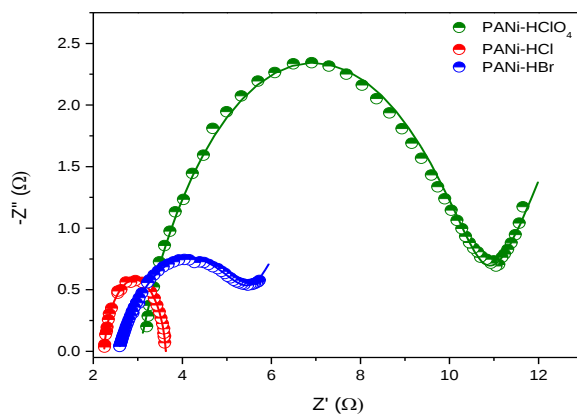
Fenomena tersebut dikaji lebih lanjut menggunakan impedansi. Pengukuran dilakukan pada frekuensi 0,1 Hz sampai 100 kHz. Plot *Nyquist* yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 8. Hasil *fitting* kurva cocok dengan model sirkuit pada

Gambar 8.b. Pada model tersebut, tergambar bahwa sistem baterai PANi memiliki beberapa karakter hambatan yaitu Resistansi larutan (R_s) dan Resistansi *charge transfer* (R_{ct}) yang dapat dilihat pada Tabel 2. Begitu juga dengan elemen CPE (*Constant Phase element*) yang memungkinkan terbentuknya kapasitor yang tidak ideal. Pembentukan CPE ini sebagai simbol dari interaksi permukaan elektroda dengan elektrolit. Dalam hal ini keberadaan CPE akan mempengaruhi R_s dan R_{ct} .

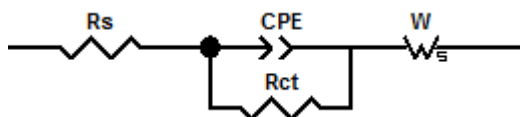
Hasil *fitting* menunjukkan nilai R_s dari baterai PANi-Cl lebih kecil dari PANi-HBr dan PANi-ClO₄. Kecenderungan yang sama juga ditunjukkan pada baterai PANi-Cl yang memiliki nilai R_{ct} lebih kecil dibandingkan PANi-Br dan PANi-ClO₄. Kesimpulan dari hasil impedansi tersebut adalah baterai PANi-Cl memiliki total resistansi yang lebih kecil dibandingkan dengan baterai PANi-Br dan PANi-ClO₄. Hal ini cocok dengan performa dari setiap baterai. Baterai PANi-Cl yang memiliki performa terbaik memiliki resistansi total yang kecil.

Tabel 2. Parameter elektrik dari Impedansi baterai PANi

Sampel	<i>Electrical parameter</i>	
	R_s (Ω)	R_{ct} (Ω)
PANi-HCl	1.38	2.24
PANi-HBr	2.56	2.97
PANi-HClO ₄	3.03	7.71



(a)

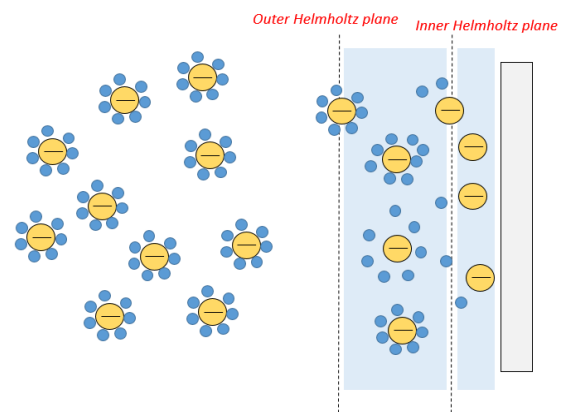


(b)

Gambar 8. (a) Ploting *Nyquist* dari setiap baterai PANi (b) Model sirkuit yang ekuivalen dengan kurva tersebut.

Untuk menjelaskan nilai dari R_s dan R_{ct} tersebut, dicoba dengan pendekatan proses mobilisasi anion dopan menuju elektroda pada saat proses pengisian-pengosongan berlangsung. Proses pengisian terjadi oksidasi leucoemeraldin yang melibatkan pengikatan kembali anion dopan pada permukaan PANi.

Pada saat mobilisasi terjadi, anion harus melewati beberapa lapisan di dekat elektroda seperti diilustrasikan pada Gambar 9. Anion dalam keadaan tersolvasi akan mengalami desolvasi pada lapisan OHP (Zhao *dkk.*, 2018^a). Jari-jari dari ion Cl⁻ lebih kecil dibanding dengan Br⁻, begitu juga Br⁻ lebih kecil dibandingkan dengan ClO₄⁻ yaitu berturut-turut 0,181, 0,196, dan 0,250 nm, sehingga pergerakan anion Cl⁻ pada OHP akan lebih cepat dibandingkan anion lain. Hal ini menyebabkan nilai R_s PANi-Cl lebih rendah dibandingkan dengan anion lain.



Gambar 9. Ilustrasi ion termobilisasi menuju elektroda.

Pada saat anion mengalami desolvasi pada OHP, selanjutnya anion tersebut akan kembali termobilisasi menuju IHP. Pada IHP adalah area kontak langsung anion dengan elektroda, yang seluruh anion tidak lagi mengikat air.

Pengaruh Variasi Dopan Asam Terhadap Kinerja Baterai Sekunder Polianilina|Zn

Kecenderungan jari-jari ion $\text{Cl}^- < \text{Br}^- < \text{ClO}_4^-$, oleh karena itu pergerakan ion Cl^- pada IHP juga akan lebih cepat dibandingkan anion lain. Hal ini yang mempengaruhi proses *charge transfer*.

Pengujian baterai PAni|Zn dilakukan dengan menghidupkan lampu LED yang berwarna merah. Hasil pengujian baterai bertahan selama ± 4 menit. Hasil dari pengujian disajikan pada Gambar 10. Penelitian ini perlu dilakukan pengembangan kedepannya dalam hal pengemasan baterai. Pada Gambar 10 cukup terlihat bahwa pembuatan baterai masih memiliki rongga disetiap sisi sistem, sehingga faktor elektrolit menguap dan udara masuk juga akan mempengaruhi performa keseluruhan dari baterai PAni|Zn.



Gambar 10. Uji coba pada LED dengan baterai ukuran 6 x 4 cm.

KESIMPULAN

Baterai PAni|Zn dengan asam pendopan HCl dan HBr memiliki stabilitas pengisian dan pengosongan terbaik dibandingkan dengan asam dopan HClO_4 . Hal ini ditunjukkan dengan nilai persen *lose capacity* sampai siklus terakhir masing-masing 6,77%; 24,14%; dan 85,05%. Resistansi total baterai PAni|Zn dengan asam pendopan HCl lebih rendah

di bandingkan dengan baterai PAni|Zn dengan asam pendopan yang lain.

Besarnya jari-jari hidrasi ion menyebabkan mobilisasi ke OHP menjadi lambat, sehingga menimbulkan R_s yang cukup besar. Begitu juga dengan besarnya jari-jari hidrasi ion menyebabkan mobilisasi ke IHP setelah desolvasi menjadi lambat, sehingga proses *charge transfer* menjadi semakin sulit. Hal ini menyebabkan meningkatnya nilai R_{ct} . Baterai PAni-Zn memiliki standar nilai V_{oc} dan *power density* yang mirip dengan baterai Ni-MH, sehingga dapat menjadi baterai sekunder alternatif masa depan.

DAFTAR RUJUKAN

- Chang, X., Hu, R., Sun, S., Liu, J., Lei, Y., Liu, T., Dong, L., & Yin, Y. (2018). Sunlight-charged electrochromic battery based on hybrid film of tungsten oxide and polyaniline. *Applied Surface Science*, 441, 105–112.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.02.003>
- Chen, Y., & Manzhos, S. (2016). Voltage and capacity control of polyaniline based organic cathodes: An ab initio study. *Journal of Power Sources*, 336, 126–131.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.10.066>
- Deyab, M. A., & Mele, G. (2019). Polyaniline/Zn-phthalocyanines nanocomposite for protecting zinc electrode in Zn-air battery. *Journal of Power Sources*, 443, 227264.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227264>
- Gao, H., Lu, Q., Yao, Y., Wang, X., & Wang, F. (2017). Significantly Raising the Cell Performance of Lithium Sulfur Battery via the Multifunctional Polyaniline Binder. *Electrochimica Acta*, 232, 414–421.

-
- <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.02.160>
- Hatchett, D. W., Josowicz, M., & Janata, J. (1999). Acid doping of poly aniline: Spectroscopic and electrochemical studies. *Journal of Physical Chemistry B*, 103(50), 10992–10998. <https://doi.org/10.1021/jp991110z>
- Huang, J., Tu, J., Lv, Y., Liu, Y., Huang, H., Li, L., & Yao, J. (2020). Achieving mesoporous MnO₂@polyaniline nanohybrids via a gas/liquid interfacial reaction between aniline and KMnO₄ aqueous solution towards Zn-MnO₂ battery. *Synthetic Metals*, 266, 116438. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2020.116438>
- Kawashima, H., Okatani, R., Mayama, H., Nakamura, Y., & Fujii, S. (2018). Synthesis of hydrophobic polyanilines as a light-responsive liquid marble stabilizer. *Polymer*, 148, 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.06.039>
- Kurada, K. V., & De, S. (2018). Polyaniline doped ultrafiltration membranes: Mechanism of membrane formation and pH response characteristics. *Polymer*, 153, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.08.032>
- Li, X., Lv, R., Zou, S., Na, B., Liu, P., Ma, Y., & Liu, H. (2019). Polyaniline nanopillars on surface cracked carbon fibers as an ultrahigh-performance cathode for a flexible rechargeable aqueous Zn-ion battery. *Composites Science and Technology*, 180, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.05.016>
- Luo, J., Zhong, W., Zou, Y., Xiong, C., & Yang, W. (2016). Preparation of morphology-controllable polyaniline and polyaniline/graphene hydrogels for high performance binder-free supercapacitor electrodes. *Journal of Power Sources*, 319, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.004>
- Šeděnková, I., Trchová, M., Dybal, J., & Stejskal, J. (2016). Interaction of polyaniline film with dibutyl phosphonate versus phosphite: Enhanced thermal stability. *Polymer Degradation and Stability*, 134, 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.11.005>
- Sovizi, M. R., & Fahimi, Z. (2018). Honeycomb polyaniline-dodecyl benzene sulfonic acid (hPANI-DBSA)/sulfur as a new cathode for high performance Li-S batteries. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 86, 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.03.004>
- Taheri, N. N., Ramezanzadeh, B., Mahdavian, M., & Bahlakeh, G. (2018). In-situ synthesis of Zn doped polyaniline on graphene oxide for inhibition of mild steel corrosion in 3.5 wt.% chloride solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 63, 322–339. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.02.033>
- Zhang, X., Lin, Q., Zhang, X., & Peng, K. (2018). A novel 3D conductive network-based polyaniline/graphitic mesoporous carbon composite electrode with excellent electrochemical performance. *Journal of Power Sources*, 401, 278–286. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.08.091>
- ^aZhao, C., Jin, Y., Du, X., & Du, W. (2018). In situ prepared amorphous FeCoO-Polyaniline/multiwalled carbon nanotube nanohybrids as efficient oxygen evolution catalysts for rechargeable Zn-air batteries.
-

Journal of Power Sources, 399, 337–342.

<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.07.111>

- ^bZhao, Z., Yu, T., Miao, Y., & Zhao, X. (2018). Chloride ion-doped polyaniline/carbon nanotube nanocomposite materials as new cathodes for chloride ion battery. *Electrochimica Acta*, 270, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.03.077>

Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

Characteristic of Edible Film Biocomposites from mixed Chitosan and Pectin Saba Banana (Musa acuminata) Peel Waste

Daril Ridho Zuchrillah¹⁾, Lily Pudjiastuti¹⁾, Niniek Fajar Puspita¹⁾, Afan Hamzah¹⁾, Achmad Dwitama Karisma¹⁾, Agus Surono¹⁾, Saidah Altway¹⁾, Liana Ardiani¹⁾, Nur Azizatur Rohmah¹⁾, Eva Oktavia Ningrum^{1*)}

¹⁾Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Vokasi, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

*email: eva-oktavia@chem-eng.its.ac.id

Received: 02/06/20; Revised: 17/06/20; Accepted: 20/06/20

Abstrak

Kemasan plastik banyak digunakan pada industri makanan dan minuman di Indonesia karena praktis dan mudah. Namun, disisi lain ini merupakan bencana bagi lingkungan karena plastik merupakan bahan yang sulit terurai (*nondegradable*). *Edible film* merupakan salah satu alternatif yang dapat dipertimbangkan untuk menggantikan kemasan plastik. Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan kitosan dari limbah cangkang rajungan dan pektin dari limbah kulit pisang kepok sebagai bahan baku pembuatan *edible film*. Kitosan diperoleh dari proses *degreasing*, deproteinasi, demineralisasi dan deasetilasi cangkang rajungan. Pektin diperoleh dari proses hidrolisis kulit pisang kepok. *Edible film* yang berbasis kitosan dan pektin dibuat melalui proses *blending* dengan ratio (K:P) 100:0; 60:40; 50:50; 40:60 dan 0:100. Analisis karakteristik yang dilakukan meliputi warna, transparan, ketebalan, kelarutan dalam air, laju transmisi uap air (WVTR), kadar air, *swelling degree*, biodegradabilitas, dan aktivitas antimikroba. Hasil penelitian menunjukkan *edible film* kitosan dan pektin yang paling optimal adalah ratio 50:50.

Kata kunci: Biokomposit, bioplastik, *edible film*, kitosan, pektin

Abstract

Plastic is utilized extensively as food and beverages package in Indonesia since it is inexpensive and flexible. However, it is not environmentally friendly due to its non-degradable characteristic. Bioplastic can be attractive solution. The objective of this study was to utilized pectin from banana peels waste and chitosan from crab shell waste as edible film. Chitosan was obtained with *degreasing*, deproteinization, demineralization, and deacetylation process of crab shell waste. Pectin was attained from banana peels waste hydrolysis. The *Edible film* was created by blending process of chitosan and pectin with (C:P) 100:0; 60:40; 50:50; 40:60 and 0:100 weight ratio. Characteristic analysis including color, transparency, thickness, solubility in water, water vapor transmission rate (WVTR), water content, swelling degree, and biodegradability. Antimicrobial activity had also been studied. The highest characteristic in transparency, solubility, WVTR, swelling degree and biodegradability was attained in 50:50 (w:w) composition of chitosan and pectin.

Keywords: Biocomposite, bioplastic, chitosan, edible film, pectin

Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

PENDAHULUAN

Berkembangnya industri makanan dan minuman di Indonesia dalam kurun waktu 5 tahun terakhir meningkat pesat diiringi dengan penggunaan kemasan plastik sebagai bahan pengemas makanan dan minuman. Penggunaan produk kemasan makanan berbasis plastik yang sifatnya mudah dibentuk, ringan, kuat dan tentu harganya yang terjangkau ini diproduksi dari polimer petrokimia (Kamsiati dkk., 2017). Banyak campuran zat kimia yang ditambahkan pada plastik tersebut seperti senyawa *bisphenol-A* (BPA) yang bersifat karsinogenik, menyebabkan kerusakan ekosistem lingkungan karena bahan tersebut tidak terurai sempurna (*non-biodegradable*) (Homez-Jara dkk., 2018).

Perlu ada upaya pengembangan kemasan makanan dan minuman yang ramah lingkungan yang bersifat mudah terurai (*biodegradable*) dan aman bagi kesehatan. Bioplastik berupa lapisan tipis yang bisa diaplikasikan sebagai kemasan makanan dan juga meningkatkan daya simpan makanan yaitu *edible film*. *Edible film* berfungsi sebagai penghambat terhadap transfer massa (kelembaban, oksigen, gas dan zat-zat terlarut yang terlibat dalam proses respirasi) dan sebagai pelindung makanan dari mikroba (Dangaran dkk., 2009) *Edible film* terbuat dari polisakarida utama seperti kitosan, pati, alginat, karagenan, selulosa termodifikasi, pektin dan penambahan *plasticizer* (Dhanapal dkk., 2012).

Indonesia merupakan negara yang memiliki hasil laut melimpah akan sumber-sumber kitosan seperti rajungan dan udang. Rajungan merupakan salah satu komoditas ekspor dalam bentuk rajungan beku dan kemasan daging dalam bentuk kaleng. Nilai ekspor daging rajungan pada tahun

2017 tercatat mencapai 15.867.016 kg. Dari proses pengambilan daging rajungan akan menghasilkan limbah berupa cangkang sekitar 40-60% dari total berat rajungan. Sebagian besar limbah cangkang rajungan akan dibuang ke laut atau dijadikan pakan ternak saja (Rochima, 2014).

Cangkang rajungan mengandung persentase kitin yang merupakan senyawa awal sebelum diproses deasetilasi menjadi kitosan sebanyak 71%. Hal tersebut merupakan bahan biokomposit yang potensial dibuat menjadi bahan dasar *edible film*. Kitosan merupakan suatu polimer multifungsi karena mengandung tiga jenis gugus fungsi yaitu asam amino, gugus hidroksil primer dan sekunder. Adanya gugus fungsi tersebut menyebabkan kitosan mempunyai reaktifitas yang tinggi (Homez-Jara dkk., 2018). Dalam penggunaannya, kitosan memiliki karakteristik sebagai bahan biokomposit yang dapat dijadikan bahan baku *edible film*.

Selain kitosan, senyawa pektin juga dapat digunakan sebagai *edible film*. Pektin merupakan komponen serat senyawa polisakarida kompleks dengan komponen utama asam D-galakturonat yang dapat diperoleh dari lapisan lamela tengah dan dinding sel primer pada tanaman seperti limbah kulit buah-buahan (Sirotek dkk., 2004). Kulit pisang kepok memiliki kandungan senyawa pektin sebesar 0,9% dari berat kering. Hal tersebut disebabkan oleh besarnya pisang, sehingga kandungan karbohidrat semakin banyak dan mempengaruhi banyaknya kandungan protopektin yang apabila terhidrolisa menjadi pektin (Tuhouloula dkk., 2013).

Pektin dimanfaatkan sebagai bahan pengental dan pembentuk gel pada industri pangan fungsional. Parameter penentu

Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

kemampuan gel pada pektin ditentukan dalam kadar metoksil. Kadar metoksil adalah jumlah metanol yang terdapat di dalam pektin dan penentu sifat fungsional larutan pektin serta dapat mempengaruhi struktur dari gel pektin yang terbentuk (Madjaga dkk., 2017).

Pembuatan *edible film* ini perlu penambahan *plasticizer* untuk meningkatkan daya kuat tarik agar memenuhi standar dan laju transmisi uap air yang tinggi. Ketika penambahan gliserol 10% sebagai *plasticizer* didapatkan hasil peningkatan kejernihan dan persen elongasi *edible film*, tetapi menurunkan kuat tarik *edible film* (Baron dkk., 2017). Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan *edible film* berbasis biokomposit kitosan dan pektin, dan karakterisasi untuk mengetahui tingkat biodegradabilitas produk *edible film* yang dihasilkan sehingga diharapkan sebagai bahan pengganti kemasan plastik yang tidak merusak lingkungan sekitar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan yaitu isolasi kitosan dan pektin, pembuatan *edible film* dan karakterisasi. Bahan yang digunakan adalah cangkang rajungan, kulit pisang kepok, asam asetat glasial 100%, gliserol, aquades dan HCl.

Isolasi Kitosan dari Cangkang Rajungan

Kitosan yang digunakan berasal dari cangkang rajungan yang telah direbus selama 1 jam pada suhu 80 °C. Selanjutnya, dicuci dengan aquades dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2 hari. Tahap berikutnya yaitu *resizing* untuk mendapatkan ukuran yang lebih kecil dengan blender. Selanjutnya

padatan hasil tersebut direndam dalam larutan NaOH 4% dengan ratio 1:5 (w/v) selama 12 jam disertai pengadukan dan pemanasan pada suhu 100 °C. Perendaman *crude* kitin hasil deproteinasi dengan *aquadest* diperlukan hingga netral.

Setelah perendaman dengan NaOH, dilanjutkan perendaman dengan larutan HCl 2 N dengan ratio 1:5 (w/v) selama 12 jam disertai pengadukan dan pemanasan pada suhu 100 °C. Hasil demineralisasi direndam dengan *aquadest* hingga netral. Tahapan terakhir yaitu deasetilasi, padatan hasil tersebut direndam dengan NaOH 70% dengan ratio 1:2,5 (w/v) selama 12 jam. Setelah itu dicuci hingga netral dan dikeringkan pada suhu 105 °C selama 24 jam.

Isolasi Pektin dari Kulit Pisang Kepok

Limbah kulit pisang kepok dihaluskan dan dihidrolisis dengan menambahkan akuades dan HCl 0,05 N selama 2 jam pada suhu 80 °C untuk menurunkan pH menjadi 1,5. Selanjutnya dilakukan penyaringan dan filtrat dikentalkan dengan pemanasan pada suhu 80 °C.

Tahapan berikutnya yaitu pemurnian pektin dengan penambahan etanol 96% sebanyak 1:1 dengan volume filtrat pektin dan didiamkan selama 24 jam. Penyaringan endapan pektin dilakukan beberapa kali agar pektin yang didapat lebih optimal. Selanjutnya endapan pektin dicuci dengan etanol 96% (w) dan dikeringkan pada suhu 40 °C selama 10 jam.

Pembuatan *Edible Film*

Kitosan dan pektin hasil isolasi ditimbang dengan perbandingan persen massa kitosan (K) dan pektin (P) yaitu 100:0 ; 60:40 ; 50:50 ; 40:60 dan 0:100.

Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

Selanjutnya kitosan didispersikan ke dalam 100 mL asam asetat glasial 1% dan pektin ke dalam *aquadest* 100 mL (Chan *dkk.*, 2013). Selanjutnya mencampurkan kedua larutan dispersi dengan menambahkan HCl 0,3 N 100 ml untuk menurunkan nilai pH dari larutan pembentuk film karena kedua biokomposit tersebut tercampur homogen pada kisaran nilai pH 3-6 (Nordby *dkk.*, 2003). Lalu, menambahkan gliserol 0,2 g/g biokomposit kedalam larutan pembentuk film yang bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas dari *edible film*.

Selanjutnya larutan pembentuk film disaring untuk memisahkannya dari zat yang tidak terlarut. Hasil saringan tersebut dicetak dan dikeringkan pada suhu konstan 50 °C selama 48-76 jam. Setelah dikeringkan, *edible film* disimpan dalam desikator selama 2 hari sebelum dilakukan karakterisasi.

Karakterisasi *Edible Film*

Karakterisasi *edible film* berupa warna, transparan, ketebalan, kelarutan dalam air, laju transmisi uap air (WVTR), kadar air, *swelling degree*, biodegradabilitas dan analisis aktivitas antimikroba.

a. Kelarutan dalam Air

Analisis kelarutan dalam air diawali dengan menghitung berat sampel *edible film* dan direndam dengan air. Sampel yang tidak larut dioven pada suhu 100 °C selama 24 jam dan ditimbang. Kelarutan dalam air dihitung dalam satuan persen (Baron *dkk.*, 2017).

b. Laju transmisi uap air (WVTR)

Laju transmisi uap air *edible film* dilakukan pada cawan berisi sampel yang telah ditimbang dan dikondisikan pada suhu ruangan 25 °C, *Relative Humidity* 75% selama 24 jam. Menimbanginya setiap hari pada jam sama selama 7 hari. Lalu

membuat grafik hubungan antara pertambahan berat dan waktu (ASTM E 96, 1995).

c. Kadar Air

Analisis kadar air dilakukan dengan cara mengeringkan cawan porselen menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 30 menit. Cawan tersebut diletakkan di dalam desikator selama 30 menit hingga suhu ruang. Kemudian menimbang sampel dan cawan. Memasukkan ke dalam oven dengan suhu 105 °C selama 4 jam lalu dimasukkan ke dalam desikator kemudian ditimbang (Horwitz & Latimer, 2005).

d. Swelling Degree

Analisis *Swelling Degree* bertujuan untuk mengetahui tingkat penggembungan pada *edible film*. Langkah pertama yaitu memasukkan sampel hasil dari analisa kadar air ke dalam 50 ml *aquadest* kemudian didiamkan selama 24 jam. Meniriskan sampel dengan tisu kemudian menimbanginya kembali dan mencatat massa akhir sampel (Baron *dkk.*, 2017).

e. Biodegradabilitas

Analisa biodegradabilitas dengan penambahan bakteri EM4 (*Effective Microorganism*) yang telah diaktivasi. Sampel diamati dan menghitung lama terdegradasi dengan indikasi perubahan warna menjadi coklat. Analisis ini menghitung persen pengurangan massa pada *edible film* (Setiani *dkk.*, 2013).

f. Aktivitas Antimikroba

Analisis aktivitas antimikroba pada *edible film* dilakukan dengan menginokulasikan bakteri *Escherichia coli* pada medium yang telah diletakkan *edible film* tersebut. Selanjutnya menginkubasi pada suhu ruangan selama 24 jam dan mengamati keberadaan zona bening disekitar sampel (Muin *dkk.*, 2017).

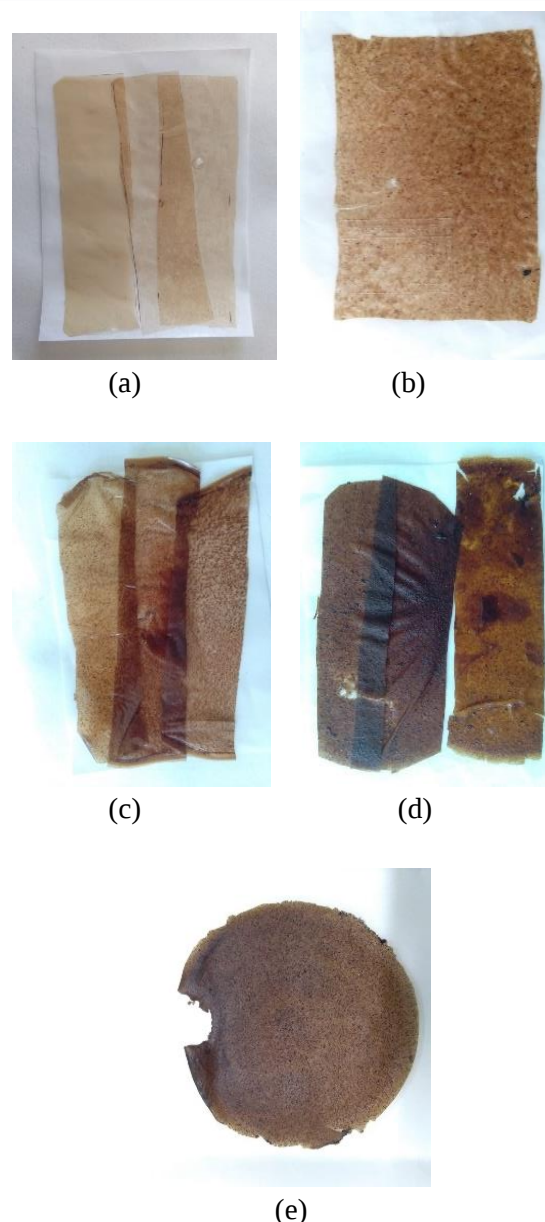
Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kitosan yang diisolasi dari cangkang rajungan mendapatkan *yield* sebesar 22,5% dan memiliki bentuk partikel berupa serpihan, kadar air sebesar 6%, kadar abu sebesar 5,7%, derajat deasetilasi 83,9% dan 3,68 cPs. Hasil derajat deasetilasi yang dihasilkan tergolong rendah. Hal tersebut dipengaruhi oleh perendaman, konsentrasi larutan dan suhu perendaman. Konsentrasi NaOH, dan suhu perendaman yang semakin tinggi serta waktu yang semakin lama akan meningkatkan derajat deasetilasi kitosan yang dihasilkan (Tobing *dkk.*, 2011).

Hasil hidrolisis pektin dari kulit pisang kepok yang dihasilkan dari penelitian ini mendapatkan *yield* sebesar 1,23%, yang berwarna gelap, kadar air 10%, kadar abu 7%, berat ekivalen 2649,7 mg, kadar metoksil 4,06%, kadar asam galakturonat 89,08% dan derajat esterifikasi 25,9%. Kadar metoksil pektin rendah karena tidak semua gugus karboksil bebas teresterifikasi. Pektin dengan kadar metoksil rendah tidak dapat larut sempurna dalam air, tetapi dapat larut sempurna dalam larutan alkali dan oksalat (Tuhuloula *dkk.*, 2013).

Berdasarkan Gambar 1, penambahan pektin menghasilkan warna yang lebih gelap (transparan keruh). Sedangkan pada komposisi 100% kitosan, daya transparan dan warna yang lebih baik daripada variabel komposisi biokomposit yang lainnya. Bahan baku pektin yang mudah teroksidasi membuat warna yang cenderung gelap dan memiliki kadar metoksil yang rendah pula (Ningrum *dkk.*, 2019).

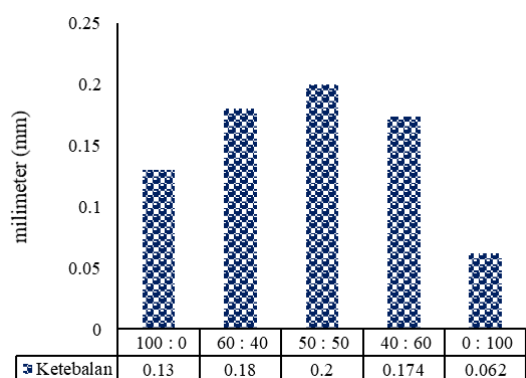


Gambar 1. Warna dan Transparan *Edible film* sintesis K:P (a) 100:0 (b) 60:40 (c) 50:50 (d) 40:60 (e) 0:100 dari hasil sintesis.

Ketebalan merupakan salah satu parameter pada *edible film* untuk digunakan sebagai pengemasan produk makanan dan minuman. Ketebalan *edible film* dapat dipengaruhi oleh banyaknya total padatan dalam larutan pembentuk film, luas cetakan dan volume larutan saat percetakan. Semakin besar volume dan semakin banyak total padatan dalam bentuk larutan pembentuk film maka

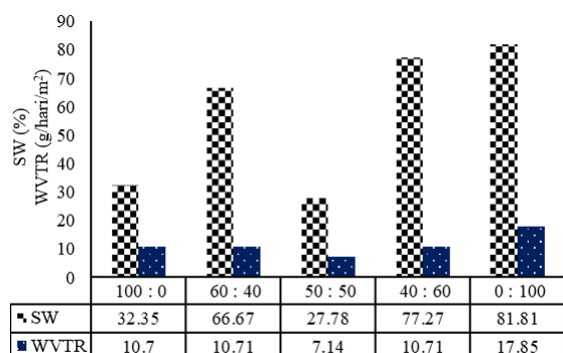
Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

edible film yang dihasilkan akan semakin tebal (Suprioto, 2010). Pada Gambar 2, diketahui bahwa komposisi *edible film* kitosan dan pektin 50:50 memiliki ketebalan yang paling tebal. Ketebalan *edible film* memenuhi standar ketebalan *edible film* menurut *Japanese Industrial Standart* (JIS) yaitu maksimal 0,25 mm (Putra dkk., 2017).



Gambar 2. Ketebalan *edible film* kitosan dan pektin sintesis

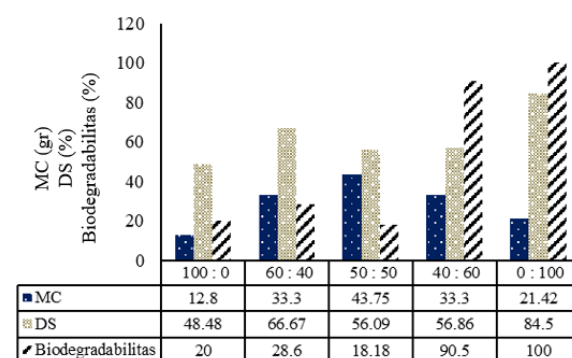
Dalam industri kemasan makanan, migrasi uap air dan oksigen pada *edible film* sangat penting dalam mendesain kemasan yang mampu menjaga kualitas bahan yang dikemas. Parameter yang digunakan adalah laju transmisi uap air (WVTR) dan kelarutan dalam air. *Edible film* yang memenuhi syarat menurut JIS 1975 yaitu maksimal 10 g/hari/m² (Santoso dkk., 2012)



Gambar 3. Analisis Kelarutan dalam air (SW) dan WVTR sintesis

Gambar 3 menunjukkan bahwa *edible* dengan komposisi kitosan dengan pektin 50:50 saja yang memiliki nilai WVTR sesuai standar JIS 1975, yaitu < 10 g/hari/m². Hal tersebut disebabkan oleh makin rapatnya matriks film. *Edible film* yang tersusun dari biokomposit kitosan lebih banyak memiliki nilai WVTR lebih rendah karena adanya sifat hidrofobik dari kitosan. Sedangkan penambahan biokomposit berupa pektin yang bersifat hidrofilik dapat meningkatkan kelarutan dalam air dari *edible film* (Baron dkk., 2017). Pada variabel yang lain didapatkan nilai WVTR yang lebih besar dari ketentuan menurut JIS. Hal tersebut disebabkan oleh suhu pengeringan dan kondisi fisik dari film. Suhu pengeringan yang terlalu tinggi menyebabkan cacat pada *edible film* seperti lubang dan ketebalan tidak rata (Rhim & Shellhammer, 2005).

Selanjutnya adalah analisis *swelling degree* yang merupakan kemampuan *edible film* untuk mengembang dalam suatu larutan. Berdasarkan Gambar 4, hasil analisis *edible film* dengan komposisi kitosan lebih kecil memiliki kecenderungan nilai *swelling degree* makin tinggi. Hal tersebut dikarenakan adanya sifat dari kitosan yang hidrofobik.



Gambar 4. Analisis kadar air (MC), *swelling degree* (DS), biodegradabilitas *edible film* sintesis

Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

Analisis biodegradabilitas *edible film* dilakukan untuk mengetahui suatu *edible film* dapat terurai dengan baik di lingkungan dengan proses enzimatik yang menggunakan bakteri EM4 sebagai bakteri yang akan menguraikan dengan tanah. Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa *edible film* dengan komposisi pektin lebih besar memiliki tingkat biodegradabilitas yang lebih besar daripada *edible film* dari kitosan. Begitu juga dengan kadar air dalam *edible film*, yang disebabkan oleh pektin yang merupakan senyawa hidrofilik (Baron dkk., 2017).

Analisis terakhir yaitu analisa mikroba untuk mengetahui aktivitas mikroba yang dapat menyebabkan proses pembusukan pada makanan. Untuk itu penambahan antibakteri dalam pembuatan *edible film* sangat penting. Dalam pengujian aktivitas antimikroba yang telah dilakukan bakteri yang digunakan adalah bakteri *Escherichia coli*.

Uji aktivitas antibakteri dengan komposisi *edible film* 60:40 menunjukkan penampakan zona hambat yang paling luas dibandingkan dengan komposisi *edible film* lainnya yang dapat dilihat pada Gambar 5. Zona hambat yang terbentuk tidak terlalu luas, yang mengindikasikan bahwa *edible film* dari kitosan dan pektin belum mampu melawan aktivitas bakteri *Escherichia coli* secara optimal.

Edible film yang mengandung kitosan sebenarnya dapat berperan sebagai antibakteri. Namun kitosan yang dihasilkan dari isolasi cangkang rajungan hanya memiliki derajat deasetilasi sebesar 83,9%. Sedangkan kitosan dapat diaplikasikan sebagai antimikroba harus memiliki derajat deasetilasi 92% keatas (Rochima, 2014). Sehingga kedepannya perlu meningkatkan derajat deasetilasi kitosan cangkang rajungan.



Gambar 5. Analisis antimikroba *edible film* sintesis 60:40

KESIMPULAN

Edible film dari biokomposit yang paling optimal pada komposisi kitosan dan pektin 50:50 dengan karakteristik ketebalan 0,2 mm, kelarutan dalam air 27,78%, WVTR 7,14 g/hari/m², kadar air 43,75, *swelling degree* 56,09%. Namun tingkat biodegradabilitas masih rendah yaitu sebesar 18,18% dan belum menunjukkan aktivitas antibakteri secara signifikan karena derajat deasetilasinya yang masih rendah.

ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini didanai oleh hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi 2020 (1187/PKS/ITS/2020) dari Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan KEMENRISTEK/BRIN.

DAFTAR RUJUKAN

- ASTM E 96. (1995). *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*, E 96/E 96M - 05. i, 1–8.
- Baron, R. D., Pérez, L. L., Salcedo, J. M., Córdoba, L. P., & Sobral, P. J. do A. (2017). Production and characterization of films based on blends of chitosan from blue crab

Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

- (*Callinectes sapidus*) waste and pectin from Orange (*Citrus sinensis* Osbeck) peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 676–683, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.004>
- Chan, M. Y., Husseinsyah, S., & Sam, S. T. (2013). Corn Cob Filled Chitosan Biocomposite Films. *Advanced Materials Research*, 747, 649–652, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.747.649>
- Dangaran, K., Tomasula, P. M., & Qi, P. (2009). Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings. In M. E. Embuscado & K. C. Huber (Eds.), *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer (pp. 25–56), https://www.researchgate.net/publication/253174398_Edible_Films_and_Coatings_for_Food_Applications
- Dhanapal, A., Rajamani, L., & Banu, M. (2012). Edible films from Polysaccharides. *Food Science and Quality*, 3(1), 9–18, <https://www.iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/1057>
- Homez- Jara, A., Daza, L. D., Aguirre, D. M., Muñoz, J. A., Solanilla, J. F., & Váquiro, H. A. (2018). Characterization of chitosan edible films obtained with various polymer concentrations and drying temperatures. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 1233–1240, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.057>
- Horwitz, W., & Latimer, G. W. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC International.
- Kamsiati, E., Herawati, H., & Purwani, E. Y. (2017). Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu dan Ubi kayu di Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 36(2), 67, <http://dx.doi.org/10.21082/jp3.v36n2.2017.p67-76>
- Madjaga, B. H., Nurhaeni, N., & Ruslan, R. (2017). Optimalisasi Ekstraksi Pektin dari Kulit Buah Sukun (*Artocarpus altilis*). *Kovalen*, 3(2), 158, <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/kovalen/article/view/8722>
- Muin, R., Anggraini, D., & Malau, F. (2017). Karakteristik Fisik dan Antimikroba Edible Film Dari Tepung Tapioka Dengan Penambahan Gliserol dan Kunyit Putih. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(3), 191–198, <http://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/jtk/article/view/60>
- Ningrum, E. O., Ardiani, L., Rohmah, N. A., & Fajar, N. (2019). Modifikasi Biokomposit Kitosan dari Cangkang Rajungan (*Portunus Pelagicus*) dan Pektin untuk Aplikasi Edible Film. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, 25 April, 4–9, <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/kejuangan/article/view/2820>
- Nordby, M. H., Kjøniksen, A. L., Nyström, B., & Roots, J. (2003). Thermoreversible gelation of aqueous mixtures of pectin and chitosan. *Rheology. Biomacromolecules*, 4(2), 337–343. <https://doi.org/10.1021/bm020107>
- Putra, A. D, Johan, V. S, & Efendi, R. (2017). Penambahan Sorbitol Sebagai Plasticizer Dalam Pembuatan Edible Film Pati Sukun. *JOM Fakultas Pertanian*, 4(2), 1–15, https://jom.unri.ac.id/index.php/JOM_FAPERTA/article/view/17053
- Rochima, E. (2014). Kajian Pemanfaatan Limbah Rajungan dan Aplikasinya Untuk Bahan Minuman Kesehatan Berbasis Kitosan. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 5(1), 71–82,

Karakteristik Biokomposit *Edible Film* dari Campuran Kitosan dan Pektin Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)

-
- <http://jurnal.unpad.ac.id/akuatika/article/view/3707>
- Santoso, B., Pratama, F., Hamzah, B., & Pambayun, R. (2012). Perbaikan Sifat Mekanik dan Laju Transmisi Uap Air Edible Film dari Pati Ganyong Termomodifikasi dengan Menggunakan Lilin Lebah dan Surfaktan. *Agritech*, 32(1), 9–14, <https://jurnal.ugm.ac.id/agritech/article/view/9650>
- Saputro, A. N. C., & Ovita, A. L. (2017). Sintesis dan karakterisasi bioplastik dari kitosan-pati ganyong (*Canna edulis*). *Kimia dan Pendidikan Kimia*, 2(1), 13–21, <https://jurnal.uns.ac.id/jkpk/article/view/8526/9842>
- Setiani, W., Sudiarti, T., & Rahmidar, L. (2013). Preparation and Characterization of Edible Films from Poliblend Pati Sukun-Kitosan. *Valensi*, 3(2), 100–109, <http://journal.uinjkt.ac.id/index.php/valensi/article/view/506/0>
- Sirotek, K., Slov kov , L., Kope n , J., & Marounek, M. (2004). Fermentation of pectin and glucose, and activity of pectin-degrading enzymes in the rabbit caecal bacterium *Bacteroides caccae*. *Letters in Applied Microbiology*, 38(4), 327–332, <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2004.01492.x>
- Suprioto, F. (2010). *Pengembangan Edible Film Komposit Pektin/Kitosan Dengan Polietilen Glikol (Peg) Sebagai Plasticizer*. Skripsi, Bogor: Institut Pertanian Bogor, <https://repository.ipb.ac.id/jspui/bitstream/123456789/59823/1/F10fsu.pdf>
- Tobing, M. T. L., Basid, N., & Prasetya, A. (2011). Peningkatan Derajat Deasetilasi Kitosan dari Cangkang Rajungan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 14(3), 83–88, <https://doi.org/10.14710/jksa.14.3.83-88>
- Tuhouloula, A., Budiarti, L., & Fitriana, E. N. (2013). Karakterisasi Pektin Dengan Memanfaatkan Limbah Kulit Pisang Menggunakan Metode Ekstraksi. *Jurnal Konversi*, 2(1), 21–27, <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/konversi/article/view/123>
-

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas Selama Penyimpanan

Quality Analysis of Tempeh Chips based on the Gluing Method and Packaging Thickness during Storage

Kavadya Syska^{1*)}, Ropiudin²⁾

¹⁾Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto, Program Studi Teknologi Pangan, Indonesia

²⁾Universitas Jenderal Soedirman, Program Studi Teknik Pertanian, Indonesia

*email: syska.kavadya@gmail.com

Received: 06/06/20; Revised: 29/06/20; Accepted: 29/06/20

Abstrak

Keripik tempe adalah salah satu makanan khas di Indonesia. Tujuan penelitian ini yaitu: mengetahui pengaruh cara perekatan dan ketebalan pengemas terhadap mutu keripik tempe, dan mengetahui umur simpan keripik tempe berdasarkan cara perekatan pengemas dan ketebalan pengemas. Faktor yang diteliti yaitu, cara perekatan: stapler, lilin, dan *sealer*, jenis pengemas: plastik polipropilen 0,07 mm dan plastik polipropilen 0,04 mm, dan lama penyimpanan: 10 hari, 20 hari, dan 30 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keripik tempe dengan kemasan plastik polipropilen 0,07 mm dan perekat *sealer* memiliki mutu paling baik. Selama penyimpanan terjadi peningkatan kadar air, kadar asam lemak bebas, dan kadar peroksida serta terjadi penurunan semua variabel sensorik, tetapi keripik tempe kemasan plastik polipropilen 0,07 mm dengan perekat *sealer* mampu mempertahankan mutu keripik tempe sampai hari ke-30, sedangkan perlakuan lainnya hanya mampu sampai hari ke-20.

Kata kunci: analisis pangan, kemasan, keripik tempe, mutu, penyimpanan

Abstract

Tempeh chips are one of the typical foods in Indonesia. The purposes of this research are: to determine the effect of the way of gluing the packaging and thickness of the packer to the quality of tempeh chips, and to know the shelf life of tempeh chips to the way of gluing the packaging and packaging thickness. Factors studied of gluing methods were: stapler, wax, and sealer, type of packaging: 0.07 mm polypropylene plastic and 0.04 mm polypropylene plastic, and storage time: 10 days, 20 days, and 30 days. The results showed that tempeh chips with 0.07 mm polypropylene plastic packaging and sealer adhesives had the best quality, during storage there was an increase in water content, free fatty acid levels, and peroxide levels as well as a decrease in all sensory variables, and tempeh chips in polypropylene plastic packaging. 0.07 mm with sealer adhesive is able to maintain the quality of tempeh chips until the 30th day, while other treatments are only capable until the 20th day.

Keywords: food analysis, packaging, quality, storage, tempeh chips

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

PENDAHULUAN

Tempe merupakan makanan tradisional yang sangat digemari oleh masyarakat karena selain rasanya yang gurih dan enak, juga karena gizi yang dikandungnya. Tempe merupakan hasil fermentasi kedelai oleh kapang *Rhizopus* sp, yang membentuk massa yang padat dan kompak (Shurtleff & Aoyagi, 2001). Umur simpan tempe dalam bentuk segar relatif pendek dan umur simpan yang pendek dapat diatasi dengan usaha pengolahan tempe antara lain dibuat keripik tempe (Shockey & Shockey, 2019).

Mindarti (2016) UMKM keripik tempe telah berkontribusi dalam meningkatkan tingkat ekonomi lokal dan telah memberikan kesempatan kerja bagi perempuan. Keripik tempe khas Purwokerto, Jawa Tengah memiliki bentuk yang tebal namun teksturnya tetap renyah. Hal ini yang membedakan dengan keripik tempe dari daerah lain seperti Bandung, Madiun, dan Malang. Oleh karena itu keripik tempe Purwokerto ini perlu dikembangkan dan ditingkatkan mutunya. Menurut Kurniawati *dkk.* (2019) hal ini sehubungan dengan produk berbasis tempe yang mudah mengalami penurunan mutu.

Perubahan yang terjadi pada keripik tempe dapat diminimalisir dengan mengurangi kontak antara produk dengan faktor yang dapat memicu terjadinya kerusakan yaitu: oksigen, uap air dan cahaya, suhu, dan kelembaban ruang penyimpanan (Fiorino *dkk.*, 2019; Aguilar & Carvajal-Millan, 2019). Kontak antara produk dengan faktor tersebut dapat dikurangi dengan cara pengemasan yang benar (Aguilar & Carvajal-Millan, 2019). Umur simpan keripik 4-6 minggu dapat dicapai ketika keripik disimpan pada suhu 21 °C (Marcus, 2019).

Kenyataan di pasaran, produsen keripik tempe belum sepenuhnya memperhatikan faktor-faktor yang dapat mengakibatkan kerusakan produknya (Barus *dkk.*, 2017; Huang *dkk.*, 2019; Erkan *dkk.*, 2020). Produsen masih menggunakan metode manual dalam proses pengemasannya, seperti stapler sebagai bahan perekat kemasan, meskipun terdapat alat perekat lain, yaitu *sealer*.

Stapler sebagai perekat kemasan mempunyai beberapa kekurangan yang dapat menurunkan penerimaan konsumen terhadap produk tersebut (Piergiiovanni & Limbo, 2016). Kekurangan stapler sebagai perekat kemasan, antara lain menimbulkan bekas berupa lubang pada kemasan sehingga kemungkinan udara dapat keluar masuk ke dalam kemasan, menimbulkan ketidaknyamanan pada konsumen karena sulit pada proses pembukaan kemasan dan dapat menimbulkan luka atau kerusakan pada kuku dan jari tangan, dapat bercampur dengan produk dan dapat termakan oleh konsumen sehingga dapat membahayakan jiwa konsumen (Piergiiovanni & Limbo, 2016).

Plastik yang umum digunakan untuk mengemas makanan ringan adalah plastik polipropilen (PP) (Grumezescu & Holban, 2018). Plastik polipropilen merupakan jenis plastik yang ringan, mudah dibentuk, lebih kaku dari polietilen dan tidak mudah sobek (Bernaldo de Quirós *dkk.*, 2019). PP juga tahan terhadap asam kuat, basa, dan minyak. Sifat-sifat yang dimiliki oleh PP, sangat cocok untuk pengemasan keripik tempe yang memiliki bentuk persegi yang tipis dan memiliki siku-siku yang runcing serta banyak mengandung minyak (Singh *dkk.*, 2017). PP memiliki ketebalan yang beragam yang berpengaruh terhadap permeabilitas uap air (Duan *dkk.*, 2020). Semakin tebal kemasan untuk jenis yang

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

sama, maka semakin rendah permeabilitasnya terhadap uap air (Cirillo dkk., 2018).

Beberapa riset terkait dengan kemasan dan penyimpanan produk pangan telah diteliti oleh Furqon, dkk. (2016) mengenai pengaruh jenis pengemas dan lama penyimpanan terhadap mutu produk nugget gembus, Herawati, dkk. (2017) mengkaji pendugaan umur simpan keripik pisang salut cokelat “purbarasa” kemasan polipropilen berdasarkan angka TBA dengan Metode Aslt Model Arrhenius, Warsiki & Damanik (2012) mengkaji perubahan mutu dan umur simpan sup daun torbangun (*Colues amboinicus* Lour) dalam kemasan, dan Roreng, dkk. (2016) mengkaji mutu mikrobiologis drupa buah merah (*Pandanus conoideus* Lamk.) pada berbagai jenis kemasan selama penyimpanan.

Berdasarkan data-data penelitian sebelumnya, maka perlu dikaji pengaruh dari penggunaan stapler, lilin, dan *sealer* terhadap mutu produk selama penyimpanan khususnya pada produk keripik tempe. Jariyah dkk. (2015) menyatakan bahwa perlu adanya terobosan baru yang lebih inovatif, mengingat di daerah perajin tempe sangat strategis untuk dikembangkan. Tujuan penelitian ini yaitu: mengetahui pengaruh cara perekatan pengemas dan ketebalan pengemas terhadap mutu keripik tempe, dan mengetahui umur simpan keripik tempe berdasarkan cara perekatan pengemas dan ketebalan pengemas.

METODE PENELITIAN.

Bahan yang digunakan yaitu: keripik tempe yang baru digoreng oleh UMKM Keripik Tempe di Purwokerto, plastik polipropilen 0,07 mm, plastik polipropilen

0,04 mm, perekat stapler, *sealer*, lilin, dan bahan kimia seperti *phenolphthalein*, etanol, NaOH, asam asetat, KI, Na₂S₂O₃, larutan pati, dan kloroform.

Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental, dengan rancangan acak. Faktor yang dicoba ada tiga macam yaitu:

- a) Cara Perekatan Pengemas (K)
 1. Perekatan menggunakan Stapler (K1)
 2. Perekatan menggunakan Lilin (K2)
 3. Perekatan menggunakan *Sealer* (K3)
- b) Ketebalan Pengemas (L)
 1. Plastik Polipropilen 0,07 mm (L1)
 2. Plastik Polipropilen 0,04 mm (L2)
- c) Waktu Penyimpanan (M)
 1. Waktu Penyimpanan 10 hari (M1)
 2. Waktu Penyimpanan 20 hari (M2)
 3. Waktu Penyimpanan 30 hari (M3)

Berdasarkan perlakuan tersebut dibuat rancangan percobaan faktorial dan diperoleh 18 kombinasi perlakuan sebagai berikut:

K1L1M1	K2L1M1	K3L1M1
K1L1M2	K2L1M2	K3L1M2
K1L1M3	K2L1M3	K3L1M3
K1L2M1	K2L2M1	K3L2M1
K1L2M2	K2L2M2	K3L2M2
K1L2M3	K2L2M3	K3L2M3

Masing-masing perlakuan diulang 3 kali sehingga diperoleh 54 unit percobaan.

Keripik tempe yang diperoleh dari salah satu UKM keripik tempe di Purwokerto, Jawa Tengah sebanyak 540 buah dengan ukuran keripik tempe (panjang x lebar x tebal) yaitu 6,5 cm, 9 cm, dan 0,1 cm. Keripik tempe dikemas dalam satu jenis pengemas yang sama berukuran panjang 35 cm dan lebar 15 cm, dengan ketebalan 0,07 mm dan 0,04 mm. Keripik tempe dikemas dengan 3 macam

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

perekat yaitu stapler, *sealer*, dan lilin serta disimpan dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Satu kemasan berisi 10 buah keripik tempe. Selanjutnya, masing-masing perlakuan dianalisis kadar air, dan kadar asam lemak bebas.

Analisis Produk

1. Analisis Kadar Air (Nielsen, 2017)

Botol timbang dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 30 menit, kemudian didinginkan di dalam desikator dan ditimbang bobotnya (A). Sampel yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam botol timbang kemudian ditimbang bobotnya (B). Botol timbang yang telah berisi sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 100-105 °C selama 3-5 jam, kemudian didinginkan di dalam desikator dan ditimbang bobotnya (C). Pengeringan diulangi sampai mencapai bobot konstan. Kadar air dihitung menggunakan persamaan 1 (Aguilar & Carvajal-Millan, 2019).

$$\text{Kadar air (\%bb)} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad \dots\dots(1)$$

2. Analisis Asam Lemak Bebas (Nielsen, 2017)

Sebanyak 28,2 ± 0,2 g sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam erlemeyer. Selanjutnya ditambahkan 50 mL etanol dan 2 mL *phenolphthalein* konsentrasi 1%. Titrasi dengan larutan NaOH sampai warna merah jambu tercapai dan tidak hilang selama 30 detik.

3. Uji Organoleptik

Uji organoleptik dilakukan dengan memberikan skor pada masing-masing variabel, yaitu: aroma, ketengikan, tekstur, rasa, dan kesukaan (Hollowood *dkk.*, 2018; Zhong & Wang, 2019). Kriteria analisis organoleptik dapat dilihat pada Tabel 1. Kriteria analisis organoleptik pada Tabel 1 dilakukan dengan menggunakan pendekatan skala atau skor yang dihubungkan dengan deskripsi tertentu dari atribut mutu produk (Hollowood, *dkk.*, 2018 dan Meilgaard, *dkk.*, 2016).

Tabel 1. Kriteria Analisis Organoleptik

Skor	Kriteria				
	Aroma	Ketengikan	Tekstur	Flavor	Kesukaan
1	Tidak harum	Sangat tengik	Tidak renyah	Tidak enak	Tidak suka
2	Agak harum	Tengik	Agak renyah	Agak enak	Agak suka
3	Harum	Agak tengik	Renyah	Enak	Suka
4	Sangat harum	Tidak tengik	Sangat renyah	Sangat enak	Sangat suka

Analisis Data

Analisis data menggunakan uji F (sidik ragam) pada taraf 5 persen untuk variabel kimiawi (Alkarkhi & Alqaraghuli, 2019). Apabila berpengaruh nyata dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan (DMRT) pada taraf 5 persen (Alkarkhi & Alqaraghuli, 2019). Variabel inderawi yaitu uji organoleptik dianalisis

dengan uji Friedman (Hollowood *dkk.*, 2018; Meilgaard *dkk.*, 2016; Zhong & Wang, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Kadar air keripik tempe pada masing-masing perlakuan selama penyimpanan cenderung mengalami

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

peningkatan yang dapat dilihat pada Tabel 2. Peningkatan kadar air ini diduga karena berhubungan dengan sifat higroskopis yang dimiliki keripik tempe sebagai produk kering atau berkadar air rendah. Produk yang higroskopis cenderung lebih mudah menyerap uap air dari luar pengemas. Semakin rendah kadar air suatu bahan maka semakin mudah bahan tersebut menyerap uap air. Bahan yang mempunyai kadar air rendah apabila disimpan dalam kondisi yang lembab, akan menyerap air dan udara di sekitarnya sehingga akan menyebabkan peningkatan kadar air (Alkarkhi & Alqaraghuli, 2019).

Tabel 2. Pengaruh jenis perekat, ketebalan pengemas, dan waktu penyimpanan terhadap kadar air

No.	Interaksi Perlakuan	Rata-rata Kadar Air (%bb)
1	K1L1M1	2,4870 d
2	K1L1M2	2,2223 d
3	K1L1M3	9,7663 a
4	K1L2M1	3,0213 d
5	K1L2M2	1,6860 d
6	K1L2M3	3,3357 cd
7	K2L1M1	2,6710 d
8	K2L1M2	3,0433 d
9	K2L1M3	5,3997 bcd
10	K2L2M1	2,0507 d
11	K2L2M2	3,0557 d
12	K2L2M3	7,2633 abc
13	K3L1M1	2,6550 d
14	K3L1M2	7,1597 abc
15	K3L1M3	4,5930 cd
16	K3L2M1	3,5313 cd
17	K3L2M2	9,2253 ab
18	K3L2M3	10,8043 a

Banyaknya uap air yang diserap oleh keripik tempe dipengaruhi oleh sifat permeabilitas yang dimiliki oleh plastik polipropilen. Plastik polipropilen memiliki permeabilitas terhadap uap air yang rendah dan permeabilitas terhadap gas oksigen sedang. Menurut Hollowood *dkk.* (2018) Polipropilen memiliki daya tembus

terhadap oksigen sebesar $23 \times 1010 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{mm}/\text{s}/\text{cmHg}$, daya tembus terhadap uap air sebesar $680 \times 1010 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{mm}/\text{s}/\text{cmHg}$. Walaupun permeabilitas terhadap uap air rendah tetapi semakin lama penyimpanan, uap air yang terserap akan semakin banyak.

Berdasarkan data, interaksi perekat stapler dengan PP 0,04 mm merupakan komposisi terbaik untuk mempertahankan kadar air. Interaksi perekat stapler dengan plastik polipropilen 0,04 mm memiliki nilai kadar air paling rendah, hal ini diduga karena plastik PP 0,04 mudah dilipat dan lipatan yang dihasilkan cukup rapih sehingga rekatan yang dihasilkan lebih baik dibandingkan dengan plastik yang lebih tebal.

Kadar Asam Lemak Bebas

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan ketebalan pengemas memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar asam lemak bebas, disajikan dalam Tabel 3. Hal ini diduga karena perbedaan permeabilitas terhadap uap air dan gas yang dimiliki oleh masing-masing kemasan. Semakin tebal suatu kemasan maka permeabilitas terhadap uap air dan gas semakin rendah.

Tabel 3. Pengaruh jenis perekat, ketebalan pengemas, dan waktu penyimpanan terhadap kadar asam lemak bebas

No.	Interaksi Perlakuan	Rata-rata Kadar Asam Lemak Bebas (%FFA)
1	K1L1M1	6,6943 ef
2	K1L1M2	6,9300 def
3	K1L1M3	8,9143 abc
4	K1L2M1	6,1543 f
5	K1L2M2	9,4577 ab
6	K1L2M3	7,6670 bcdef
7	K2L1M1	5,9050 f
8	K2L1M2	8,7460 abcd
9	K2L1M3	7,7823 bcdef
10	K2L2M1	7,7780 bcdef

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

No.	Interaksi Perlakuan	Rata-rata Kadar Asam Lemak Bebas (%FFA)
11	K2L2M2	9,9443 a
12	K2L2M3	8,9283 abc
13	K3L1M1	8,1823 abcde
14	K3L1M2	6,8657 def
15	K3L1M3	6,8677 def
16	K3L2M1	7,4890 cdef
17	K3L2M2	9,0860 abc
18	K3L2M3	9,4217 abc

Selama penyimpanan pada masing-masing perlakuan, kadar asam lemak bebas mengalami peningkatan. Hal ini diduga proses hidrolisis sudah terjadi sejak hari ke-0 dan terus berlangsung selama penyimpanan sampai hari ke-30. Dalam reaksi hidrolisis minyak atau lemak akan diubah menjadi asam lemak bebas dan gliserol. Reaksi hidrolisis yang dapat mengakibatkan kerusakan minyak atau lemak terjadi karena adanya sejumlah air dalam minyak dan lemak tersebut.

Menurut Aguilar & Carvajal-Millan (2019), asam lemak bebas biasanya bergabung dengan lemak netral dan pada konsentrasi 15% belum menghasilkan flavor yang tidak disenangi. Lemak dengan kandungan asam lemak bebas 1%, jika dicicipi akan membentuk film pada permukaan lidah dan tidak berbau tengik. Menurut Fiorino *dkk.* (2019), keberadaan asam lemak bebas di dalam minyak dapat mengakibatkan bau yang tidak enak. Hal ini mengakibatkan keberadaannya tidak dikehendaki sehingga diupayakan untuk ditekan sesedikit mungkin. Semakin sedikit kadar asam lemak bebas maka mutu minyak akan semakin baik. Asam lemak bebas walaupun berada dalam jumlah kecil mengakibatkan rasa tidak lezat.

Interaksi terbaik untuk menghambat kadar asam lemak bebas adalah pada Interaksi antara stapler, PP 0,07 mm, dan waktu penyimpanan 10 hari. Interaksi

antara ketebalan pengemas dengan waktu penyimpanan memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar asam lemak bebas. Hal tersebut diduga karena semakin tebal suatu kemasan maka permeabilitas terhadap uap air dan gas semakin rendah. Selama penyimpanan, uap air dan gas yang masuk ke dalam kemasan semakin besar sehingga reaksi hidrolisis dan oksidasi terus meningkat.

Uji Organoleptik

Aroma

Aroma adalah sesuatu yang dapat diamati dengan indera pembau. Dalam dunia industri bahan pangan, aroma merupakan salah satu faktor yang menentukan mutu suatu produk. Pengujian terhadap aroma dapat dipakai sebagai kriteria dapat diterima atau tidaknya suatu produk untuk dipasarkan (Hollowood *dkk.*, 2018; Zhong & Wang, 2019).

Tabel 4. Rataan nilai aroma pada perlakuan penelitian

Perlakuan	Aroma	
	Rataan	Nilai Friedman
K1L1M1	2,73	147,3
K1L1M2	2,27	149,5
K1L1M3	2,22	140,7
K1L2M1	2,86	161,2
K1L2M2	1,92	115,7
K1L2M3	1,92	107,5
K2L1M1	2,67	142,5
K2L1M2	2,46	173,8
K2L1M3	2,23	145,7
K2L2M1	2,78	142,8
K2L2M2	2,17	131,2
K2L2M3	2,32	136,3
K3L1M1	2,72	140,3
K3L1M2	2,42	113,0
K3L1M3	2,62	104,3
K3L2M1	2,76	145,8
K3L2M2	1,96	169,5
K3L2M3	2,10	183,5
Xhitung		42,66
Xtabel		27,59

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

Hasil analisis dengan uji Friedman pada Tabel 4 menunjukkan bahwa aroma keripik tempe secara nyata dipengaruhi oleh kombinasi antara perlakuan jenis perekat, ketebalan pengemas dan waktu penyimpanan. Nilai rata-rata aroma keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,07 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,73 (agak harum-harum), 2,27 (agak harum), dan 2,22 (agak harum); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,67 (agak harum-harum), 2,46 (agak harum-harum), dan 2,23 (agak harum); dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,72 (agak harumharum), 2,42 (agak harum-harum), dan 2,62 (agak harum-harum).

Nilai rata-rata aroma keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,04 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,86 (agak harum-harum), 1,92 (tidak harum-agak harum), dan 1,92 (tidak harum-agak harum); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,78 (agak harum-harum), 2,17 (agak harum), dan 2,32 (agak harum); dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,76 (agak harum-harum), 1,96 (tidak harum-agak harum), dan 2,1 (agak harum).

Semakin lama penyimpanan, terjadi penurunan nilai rata-rata aroma keripik tempe. Hal ini diduga karena adanya degradasi minyak yang berakibat pada timbulnya bau tengik. Perlakuan kombinasi jenis plastik polipropilen 0,07 mm dengan jenis perekat *sealer* lebih baik dalam mempertahankan aroma keripik tempe

dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Hal ini diduga karena kombinasi tersebut mampu menjaga kontak dengan lingkungan luar kemasan sehingga aroma keripik tempe dapat terjaga.

Tekstur

Berdasarkan hasil analisis uji Friedman pada Tabel 5 menunjukkan bahwa kombinasi antara perlakuan jenis perekat, ketebalan pengemas dan waktu penyimpanan memberikan pengaruh yang nyata.

Tabel 5. Rataan nilai tekstur pada perlakuan penelitian

Perlakuan	Tekstur	
	Rataan	Nilai Friedman
K1L1M1	3,20	141,17
K1L1M2	2,98	173,17
K1L1M3	2,78	155,00
K1L2M1	3,20	133,17
K1L2M2	2,32	105,30
K1L2M3	2,33	110,30
K2L1M1	3,43	160,17
K2L1M2	3,00	171,50
K2L1M3	2,80	155,17
K2L2M1	3,40	148,00
K2L2M2	3,00	127,50
K2L2M3	2,62	139,30
K3L1M1	3,20	136,30
K3L1M2	2,91	164,17
K3L1M3	2,82	156,17
K3L2M1	3,24	142,00
K3L2M2	2,50	111,33
K3L2M3	2,69	141,17
Xhitung		36,43
Xtabel		27,59

Nilai rata-rata tekstur keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,07 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,2 (renyah), 2,98 (agak renyah-renyah), dan 2,78 (agak renyah-renyah); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,34 (renyah), 3 (renyah), dan 2,8 (agak renyah-renyah);

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke- 10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,2 (renyah), 2,9 (agak renyah-renyah), dan 2,8 (agak renyah-renyah).

Nilai rata-rata tekstur keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,04 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,2 (renyah), 2,32 (agak renyah), dan 2,33 (agak renyah); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,4 (renyah), 2,97 (agak renyah), dan 2,6 (agak renyah-renyah); dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,24 (renyah), 2,5 (agak renyah), dan 2,67 (agak renyah-renyah).

Data tersebut menunjukkan adanya penurunan tekstur keripik tempe selama penyimpanan. Semakin lama umur simpan keripik tempe, tekstur keripik tempe semakin menurun. Penurunan nilai rata-rata tekstur berkaitan dengan kadar air yang terkandung dalam keripik tempe. Semakin lama penyimpanan, uap air yang terserap ke dalam pengemas semakin banyak sehingga tekstur keripik tempe menjadi menurun.

Ketengikan

Hasil uji Friedman memperlihatkan bahwa kombinasi perlakuan jenis perekat, ketebalan pengemas dan waktu penyimpanan memberikan pengaruh terhadap ketengikan keripik tempe.

Tabel 6. Rataan nilai ketengikan pada perlakuan penelitian

Perlakuan	Ketengikan	
	Rataan	Nilai Friedman
K1L1M1	3,56	133,00
K1L1M2	3,59	143,50
K1L1M3	3,27	137,17
K1L2M1	3,62	140,00

Perlakuan	Ketengikan	
	Rataan	Nilai Friedman
K1L2M2	3,32	121,67
K1L2M3	3,18	131,80
K2L1M1	3,71	149,30
K2L1M2	3,75	162,10
K2L1M3	3,44	158,70
K2L2M1	3,59	138,30
K2L2M2	3,80	167,17
K2L2M3	3,33	143,80
K3L1M1	3,62	153,17
K3L1M2	3,55	138,17
K3L1M3	3,49	160,00
K3L2M1	3,73	140,50
K3L2M2	3,50	135,00
K3L2M3	3,05	121,17
Xhitung		28,62
Xtabel		27,59

Nilai rata-rata ketengikan keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,07 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,56 (tidak tengik), 3,6 (tidak tengik), dan 3,3 (agak tengik-tidak tengik); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,71 (tidak tengik), 3,74 (tidak tengik), dan 3,44 (agak tengik-tidak tengik); dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,62 (tidak tengik), 3,55 (agak tengik-tidak tengik), dan 3,49 (agak tengik-tidak tengik).

Nilai rata-rata ketengikan keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,04 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,62 (tidak tengik), 3,32 (agak engik-tidak tengik), dan 3,18 (agak tengik); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3,59 (tidak tengik), 3,8 (tidak tengik), dan 3,33 (agak tengik-tidak tengik); dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut 3,73 (tidak tengik), 3,5 (agak

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

tengik-tidak tengik), dan 3,04 (agak tengik).

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa semua kombinasi perlakuan masih dapat mempertahankan keripik tempe dari ketengikan sampai penyimpanan hari ke-30 walaupun terjadi penurunan tetapi penurunan tersebut tidak terlalu besar. Kombinasi perlakuan antara jenis perekat dengan jenis pengemas yang terbaik yaitu plastik polipropilen 0,07 mm dengan perekat *sealer*. Hal ini diduga kombinasi ini memiliki permeabilitas udara yang rendah dibandingkan dengan kombinasi perlakuan yang lain. Udara atau oksigen menjadi faktor penyebab kerusakan keripik tempe berupa ketengikan. Hasil kajian lebih baik bila dibandingkan yang dilakukan oleh Sari *dkk.* (2019) mutu lemak menurun (menimbulkan tengik), didapatkan hasil yang sama semua perlakuan, yaitu 10,7%.

Rasa

Analisis dalam bidang sensorik membatasi cita rasa sebagai kombinasi rasa dan bau yang diperoleh lewat mulut-mulut dan hidung. Hasil uji Friedman pada Tabel 7 menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan antara jenis perekat, ketebalan pengemas dan waktu penyimpanan memberikan pengaruh yang nyata terhadap rasa keripik tempe.

Tabel 7. Rataan nilai rasa keripik tempe pada perlakuan penelitian

Perlakuan	Rasa	
	Rataan	Nilai Friedman
K1L1M1	2,91	143,83
K1L1M2	2,67	157,30
K1L1M3	2,36	138,83
K1L2M1	2,93	145,83
K1L2M2	2,27	120,17
K1L2M3	2,17	120,00
K2L1M1	3,00	148,00
K2L1M2	2,76	166,17

Perlakuan	Rasa	
	Rataan	Nilai Friedman
K2L1M3	2,60	163,00
K2L2M1	2,78	130,30
K2L2M2	2,42	127,30
K2L2M3	2,45	146,83
K3L1M1	2,91	141,50
K3L1M2	2,67	157,30
K3L1M3	2,56	159,30
K3L2M1	2,96	142,17
K3L2M2	2,40	124,30
K3L2M3	2,20	126,50
Xhitung		29,19
Xtabel		27,59

Nilai rata-rata rasa keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,07 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,91 (agak enak-enak), 2,67 (agak enak-enak), dan 2,4 (agak enak); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 3 (enak), 2,76 (agak enak-enak), dan 2,6 (agak enak-enak); dan dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,91 (agak enak-enak), 2,7 (agak enak-enak), dan 2,55 (agak enak-enak).

Nilai rata-rata rasa keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,04 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,93 (agak enak-enak), 2,27 (agak enak), dan 2,13 (agak enak); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,78 (agak enak-enak), 2,42 (agak enak), dan 2,45 (agak enak); dan dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut 2,96 (agak enak-enak), 2,4 (agak enak), dan 2,2 (agak enak).

Penurunan rasa ini diduga karena semakin lama umur simpan, semakin banyak terjadi kerusakan pada keripik tempe. Kerusakan-kerusakan tersebut akan

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

mempengaruhi rasa keripik tempe misalnya dengan adanya peningkatan kadar asam lemak bebas. Adanya asam lemak bebas meskipun dalam jumlah sedikit akan mengakibatkan rasa yang tidak enak pada produk (Ketaren, 1986).

Perbedaan rasa pada masing-masing perlakuan diduga karena adanya sifat permeabilitas uap air dan gas serta ketahanan terhadap zat-zat *volatile*. Hal tersebut mempengaruhi aroma, karena aroma secara langsung mempengaruhi rasa suatu bahan. Semakin meningkat aroma tidak enak maka rasa produk akan semakin menurun dan semakin cepat suatu produk mengalami perubahan aroma, maka semakin cepat terjadi perubahan rasa.

Kesukaan

Hasil analisis uji Friedman pada Tabel 8 menunjukkan bahwa kombinasi antara perlakuan jenis perekat, ketebalan pengemas dan waktu penyimpanan memberikan pengaruh nyata terhadap tingkat kesukaan panelis.

Tabel 8. Rataan nilai kesukaan pada perlakuan penelitian

Perlakuan	Kesukaan	
	Rataan	Nilai Friedman
K1L1M1	2,90	145,17
K1L1M2	2,60	154,83
K1L1M3	2,24	131,00
K1L2M1	2,96	151,30
K1L2M2	2,16	108,83
K1L2M3	2,00	110,17
K2L1M1	2,95	144,67
K2L1M2	2,73	174,30
K2L1M3	2,53	162,00
K2L2M1	2,73	132,30
K2L2M2	2,38	131,67
K2L2M3	2,55	156,7
K3L1M1	2,84	137,3
K3L1M2	2,60	157,5
K3L1M3	2,51	162,0
K3L2M1	2,93	142,00
K3L2M2	2,40	133,33
K3L2M3	2,31	136,83

Perlakuan	Kesukaan	
	Rataan	Nilai Friedman
Xhitung		28,90
Xtabel		27,59

Nilai rata-rata kesukaan terhadap keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,07 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,9 (agak suka), 2,6 (agak suka), dan 2,24 (agak suka); dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,95 (agak suka-suka), 2,73 (agak suka-suka), dan 2,5 (agak suka); dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,84 (agak suka-suka), 2,6 (agak suka-suka), dan 2,5 (agak suka).

Nilai rata-rata kesukaan terhadap keripik tempe yang dikemas dengan plastik polipropilen 0,04 mm dengan perekat stapler pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,95 (agak suka-suka), 2,16 (agak suka), dan 2 (agak suka); dengan plastik polipropilen 0,04 mm dengan perekat lilin pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,73 (agak suka-suka), 2,38 (agak suka), dan 2,55 (agak suka-suka); dengan perekat *sealer* pada penyimpanan hari ke-10, 20, dan 30 berturut-turut sebesar 2,93 (agak suka-suka), 2,4 (agak suka), dan 2,3 (agak suka). Semakin lama umur simpan keripik tempe penerimaan konsumen semakin menurun. Hal ini diduga karena terjadinya perubahan pada tekstur, aroma, ketengikan dan rasa keripik tempe.

Hasil uji organoleptik selaras dengan hasil kajian Furqon *dkk.* (2016) terhadap uji organoleptik nugget yang menunjukkan bahwa plastik jenis PP mampu mempertahankan rasa, aroma, tekstur dan

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

warna nugget dari kerusakan sampai hari ke 20. Menurut Wijayanti & Purwatiningrum (2016), Cara Produksi Pangan yang Baik (CPPB), dapat menjaga kualitas produk, menjamin keamanan pangan, dan dapat memenuhi permintaan konsumen.

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini yaitu: keripik tempe kemasan plastik polipropilen 0,07 mm dan perekat *sealer* mempertahankan mutu terbaik. Selama penyimpanan terjadi peningkatan kadar air, kadar asam lemak bebas, dan terjadi penurunan semua variabel sensorik, tetapi keripik tempe kemasan plastik polipropilen 0,07 mm dengan perekat *sealer* mampu mempertahankan mutu keripik tempe sampai hari ke-30, sedangkan perlakuan lainnya hanya mampu sampai hari ke-20.

DAFTAR RUJUKAN

- Aguilar, C. N. & Carvajal-Millan, E. (2019). *Applied Food Science and Engineering with Industrial Applications*. Toronto: Apple Academic Press.
- Alkarkhi, A. F. M. & Alqaraghuli, W. A. A. (2019). *Easy Statistics for Food Science with R*. London: Academic Press.
- Barus, T., Wati, L., Melani, Suwanto, A., & Yogiara. (2017). Diversity of Protease-Producing *Bacillus* spp. From Fresh Indonesian Tempeh Based on 16S rRNA Gene Sequence. *Hayati Journal of Biosciences*, 24(1), 35-40, doi.org/10.1016/j.hjb.2017.05.001, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1978301916300390>
- Bernaldo de Quirós, A. R., Cardama, A. L., Sendón, R., & Ibarra, V.G. (2019). *Food Contamination by Packaging: Migration of Chemicals from Food Contact Materials*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH.
- Cirillo, G., Kozlowski, M. A., & Spizzirri, U.G. (2018). *Composites Materials for Food Packaging*. New Jersey: Scrivener Publishing LLC.
- Duan, C., Fang, Y., Sun, J., Li, Z., Wang, Q., Bai, J., Peng, H., Liang, J., & Gao, Z. (2020). Effects of Fast Food Packaging Plasticizers and Their Metabolites on Steroid Hormone Synthesis in H295R Cells. *Science of The Total Environment*, 726(15), 138500, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138500, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720320131>
- Erkan, S. B., Gürler, H. N., Bilgin, D. G., Germec, M., & Turhan, I. (2020). Production and Characterization of Tempehs from Different Sources of Legume by *Rhizopus Oligosporus*. *LWT-Food Science and Technology*, 119(2), 108880, doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108880, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819312228>
- Fiorino, M., Barone, C., Barone, M., Mason, M., & Bhagat, A. (2019). *Quality Systems in the Food Industry*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Furqon, A. A. Q., Maflahah, I., & Rahman, A. (2016). Pengaruh Jenis Pengemas dan Lama Penyimpanan Terhadap Mutu Produk Nugget Gembus. *Agrointek*, 10(2), 71-76, <https://doaj.org/article/294d2fe43f7c44c69175a460ede316c1>
- Grumezescu, A. M. & Holban, A. M. (2018). *Food Packaging and Preservation*. London: Academic Press.
- Herawati, E. R. N., Nurhayati, R., Angwar, M., & Wakhida, V. (2017). Pendugaan Umur Simpan Keripik Pisang Salut Cokelat "Purbarasa" Kemasan Polipropilen berdasarkan Angka TBA dengan Metode Aslt

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

- Model Arrhenius. *Reaktor*. 17(3), 118-125, doi: 10.14710/reaktor.17.3.118-125, <https://doaj.org/article/e66b292c21414f3690fe8747b41f8a13>
- Hollowood, T., Hort, J., & Kemp, S.E. (2018). *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Huang, L., Huang, Z., Zhang, Y., Zhou, S., Hu, W., & Dong, M. (2019). Impact of Tempeh Flour on the Rheology of Wheat Flour Dough and Bread Staling. *LWT-Food Science and Technology*, 111(8), 694-702, doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.004, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819303007>
- Jariyah, Mulyani T. S., Sudaryati, H. P., & Rekapangan, S. (2015). Pengembangan Usaha Kelompok Perajin Tempe di Kecamatan Candi Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknologi Pangan*, 8(2), doi: 10.33005/jtp.v8i2.456, <https://doaj.org/article/a0fd57f6666244d7b498e7ae07483d98>
- Kurniawati, S., Lestiani, D. D., Damastuti, E., & Santoso, M. (2019). The Selenium Content of Tempeh in Indonesia and its Potential Contribution to the Dietary Selenium Requirements for Adults. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82(9), 103222, doi.org/10.1016/j.jfca.2019.05.005, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157518304915>
- Marcus, J. B. (2019). *Aging, Nutrition and Taste: Nutrition, Food Science and Culinary Perspectives for Aging Tastefully*. London: Academic Press.
- Meilgaard, M. C., Civille, G. V., & Carr, B.T. (2016). *Sensory Evaluation Techniques*. Boca Raton: CRC Press.
- Mindarti, L. I. (2016). Peningkatan Daya Saing UMKM Perempuan melalui Comparative Advantage: Study pada UMKM “Keripik Tempe Rohani” di Sentra Keripik Sanan, Kota Malang. *Kafa'ah: Journal of Gender Studies*, 6(1), 1-12, doi: 10.15548/jk.v6i1.135, <https://doaj.org/article/c150ff40ca6049f2983f54bd5b288128>
- Nielsen, S. S. (2017). *Food Analysis Laboratory Manual*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Piergiiovanni, L. & Limbo, S. (2016). *Food Packaging Materials*. New York: Springer International Publishing.
- Roreng, M. K., Sarungallo, Z. L., Murtiningrum, M., Santoso, B., & Latumahina, R. M. M. (2016). Mutu Mikrobiologis Drupa Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lamk.) pada Berbagai Jenis Kemasan selama Penyimpanan. *Agrointek*, 10(2), 93-99, <https://doaj.org/article/0cfb0dd7661e4b858d50c2c7a25baff0>
- Sari, H. M., Yosephin, B., & Haya, M. (2019). Variasi Pengolahan Daya Terima dan Kandungan Zat Gizi Keripik Tempe Rasa Bawang. *Action: Aceh Nutrition Journal*, 4(1), 1-6, doi: 10.30867/action.v4i1.108, <https://doaj.org/article/7347b97999ef4a4187bb982d06a2c7ea>
- Shockey, K. K., & Shockey, C. (2019). *Miso, Tempeh, Natto & Other Tasty Ferments: A Step-by-Step Guide to Fermenting Grains and Beans*. North Adams: Storey Publishing, LLC.
- Shurtleff, W. & Aoyagi, A. (2001). *The Book of Tempeh*. California: Ten Speed Press.
- Singh, P., Wani, A. A., & Langowski, H. C. (2017). *Food Packaging Materials: Testing & Quality Assurance*. Boca Raton: CRC Press.
- Warsiki, E. & Damanik, M. R. (2012). Perubahan Mutu dan Umur Simpan Sup Daun Torbangun (*Colues Amboinicus* Lour) dalam Kemasan. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 7(1), <https://doaj.org/article/07286f996041473b9f65dead9f94fa80>.

Analisis Mutu Keripik Tempe Berdasarkan Cara Perekatan dan Ketebalan Pengemas selama Penyimpanan

- Wijayanti, N. & Purwantiningrum, I. (2016). Peningkatan Efisiensi dan Kapasitas Produksi pada Proses Pengolahan Sambel Pecel, Keripik Tempe dan Keripik Singkong. *Teknologi Pangan: Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 7(3), doi: 10.35891/tp.v7i3.518, <https://doaj.org/article/c199432b512f4644b2f03889094fcd0a>
- Zhong, J. & Wang, X. (2019). *Evaluation Technologies for Food Quality*. Cambridge: Woodhead Publishing.



Kampus 3 Universitas PGRI Madiun
Jl. Auri No 14-16 Kartoharjo Madiun
Email: cheesa@unipma.ac.id
<http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>

