

Baiq Amelia Riyandari

# ACTIVE PACKAGING

Sistem Pengemasan untuk Kualitas Pangan yang Lebih Baik



# *ACTIVE PACKAGING*

*Sistem Pengemasan Untuk Kualitas Pangan  
Yang Lebih Baik*



Baiq Amelia Riyandari

# *ACTIVE PACKAGING*

*Sistem Pengemasan Untuk Kualitas Pangan  
Yang Lebih Baik*

The logo for Sanabil features the word "Sanabil" in a bold, blue, sans-serif font. Above the letter "a" is a stylized red graphic element consisting of two curved lines that resemble a roof or a wave.

Sanabil

## ACTIVE PACKAGING

Sistem Pengemasan untuk Kualitas Pangan yang Lebih Baik

© Sanabil 2020

Penulis : Baiq Amelia Riyandari  
Editor : Dwi Wahyudiati  
Layout : Sanabil Creative  
Desain Cover : Sanabil Creative

*All rights reserved*

Hak Cipta dilindungi Undang Undang

Dilarang memperbanyak dan menyebarkan sebagian atau keseluruhan isi buku dengan media cetak, digital atau elektronik untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit.

ISBN : 978-623-7881-74-2  
Cetakan 1 : Oktober 2020

Penerbit:

Sanabil

Jl. Kerajinan 1 Blok C/13 Mataram

Telp. 0370- 7505946, Mobile: 081-805311362

Email: [sanabilpublishing@gmail.com](mailto:sanabilpublishing@gmail.com)

[www.sanabil.web.id](http://www.sanabil.web.id)

# DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| DAFTAR ISI .....   | v   |
| DAFTAR TABEL.....  | vi  |
| DAFTAR GAMBAR.....   | vii |
| DAFTAR SINGKATAN .....   | xi  |
| KATA PENGANTAR DEKAN.....  | xii |
| PRAKATA.....   | xiv |
| <br>   |     |
| PENDAHULUAN .....  | 1   |
| A. Latar Belakang.....   | 1   |
| B. Rumusan Masalah.....  | 7   |
| C. Tujuan.....   | 8   |
| D. Metodologi.....   | 8   |
| E. Teori Mutakhir .....  | 21  |
| <br>   |     |
| PEMBAHASAN.....  | 89  |
| A. Potensi polimer alam kitosan-alginat sebagai<br>bahan dasar film.....                           | 89  |
| B. Bagaimanakah Potensi Ekstrak Tanaman sebagai<br>Zat Aktif untuk <i>Active Packaging</i> ? ..... | 129 |
| <br>   |     |
| SIMPULAN.....  | 145 |
| DAFTAR PUSTAKA.....  | 146 |
| INDEKS .....   | 152 |
| LAMPIRAN .....   | 154 |

## DAFTAR TABEL

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 1. Perbandingan massa kitosan-alginat pada KPE .....   | 10  |
| Tabel 2. Komposisi film KPE kitosan-alginat-eugenol .....  | 11  |
| Tabel 3. Tipe Pangan dan Simulan Pangan menurut<br>Uni Eropa .....   | 60  |
| Tabel 4. Sifat dan Mutu Kitosan.....   | 64  |
| Tabel 5. Penelitian aktivitas antimikroba edible coating<br>berbasis pati dan kitosan. ....  | 68  |
| Tabel 6. Hasil penelitian kemasan edible antimikroba<br>berbahan baku alginat.....   | 69  |
| Tabel 7 Mekanisme pelepasan obat berdasarkan nilai n<br>(eksponen pelepasan) .....   | 86  |
| Tabel 8. Interpretasi pergeseran bilangan gelombang<br>dari kitosan, alginat, dan KPE kitosan-alginat .....                              | 95  |
| Tabel 9. Rangkuman sifat mekanik film KPE kitosan-<br>alginat-eugenol .....  | 114 |
| Tabel 10. Perbandingan hasil penelitian sebelumnya.....  | 115 |
| Tabel 11. Rangkuman kinetika pelepasan eugenol dari film<br>kitosan-alginat .....  | 128 |
| Tabel 12. Nilai ketebalan, penyerapan air, dan permeabilitas<br>uap air dari film komposit kitosan dengan penambahan<br>ekstrak teh..... | 144 |

## DAFTAR GAMBAR

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gambar 1.  | Proses pembuatan larutan KPE kitosan alginat .....   | 11 |
| Gambar 2.  | Larutan KPE kitosan-alginat-eugenol.....   | 12 |
| Gambar 3.  | Pembuatan film KPE kitosan-alginat-eugenol<br>menggunakan cawan petri.....   | 12 |
| Gambar 4.  | Salah satu produk film pengemas yang dihasilkan ...  | 13 |
| Gambar 5.  | Instrumen FTIR untuk karakterisasi film<br>(sumber: <a href="http://www.mediacom.com">www.mediacom.com</a> ).....  | 14 |
| Gambar 6.  | Alat micrometer sekrup untuk mengukur<br>ketebalan film (sumber: <a href="http://www.fisikabc.com">www.fisikabc.com</a> ).....   | 15 |
| Gambar 7.  | Contoh alat pengujian <i>tensile strength</i> /kuat<br>tarik suatu film .....  | 16 |
| Gambar 8.  | Contoh alat pengujian elongasi suatu film<br>(sumber: <a href="http://m.indonesian.firetesting-equipment.com">http://m.indonesian.firetesting-equipment.com</a> )..... | 16 |
| Gambar 9.  | Contoh instrumen UV-Vis dalam pengujian film<br>(sumber: <a href="https://www.kimiapost.net/">https://www.kimiapost.net/</a> ) .....                                   | 19 |
| Gambar 10. | Contoh instrument TGA yang digunakan dalam<br>analisis termal (sumber: <a href="https://www.industry-plaza.com/">https://www.industry-plaza.com/</a> ) .....           | 20 |
| Gambar 11. | Contoh instrument SEM yang digunakan<br>dalam analisis morfologi (sumber: <a href="http://central-laboratory.um.ac.id">http://central-laboratory.um.ac.id</a> ).....   | 21 |
| Gambar 12. | Contoh edible film berbasis antimikroba<br>(sumber: <a href="https://www.bebeja.com/">https://www.bebeja.com/</a> ) .....  | 25 |
| Gambar 13. | Agen aktif untuk pengembangan active packaging<br>(pengemas aktif) .....   | 30 |
| Gambar 14. | Penjerap oksigen berbentuk label<br>(Widiastuti, 2016) .....   | 36 |
| Gambar 15. | Penjerap oksigen berbentuk lab<br>(Widiastuti, 2016) .....   | 36 |
| Gambar 16. | Penjerap kelembaban (Widiastuti, 2016).....  | 38 |
| Gambar 17. | Pelepas karbondioksida (Widiastuti, 2016).....   | 39 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 18. Struktur multi-layer pada suatu kemasan antimikroba (Sumber: Koontz, 2006 ) .....   | 43 |
| Gambar 19. Grafik global market untuk system advanced packaging (kemasan aktif, controlled packaging, kemasan cerdas, dan komponen advanced packaging (Widiastuti, 2016 )..... | 51 |
| Gambar 20. Grafik pasar advance packaging (Widiastuti, 2016 ) .....  | 51 |
| Gambar 21. Contoh produk pangan yang menggunakan penjerap oksigen (Widiastuti, 2016 ) .....  | 53 |
| Gambar 22. Contoh produk pangan yang menggunakan penjerap oksigen (Widiastuti, 2016 ) .....  | 53 |
| Gambar 23. Contoh produk pangan yang menggunakan penjerap kelembaban (Widiastuti, 2016 ).....  | 54 |
| Gambar 24. Logo Tara Pangan (sumber: www.jlppi.or.id).....   | 55 |
| Gambar 25. Logo Daur Ulang (sumber: www.jlppi.or.id).....  | 55 |
| Gambar 26. Struktur kimia kitosan .....  | 62 |
| Gambar 27. Reaksi kimia proses deasetilasi kitin menjadi kitosan (sumber: Nurhayati dan Agusman, 2000) ....  | 63 |
| Gambar 28. Serbuk kitosan (Nurhayati dan Agusman, 2000) .....  | 64 |
| Gambar 29. Rumpun laut penghasil alginat utama di perairan Indonesia (Sumber: Subaryono, 2010).....  | 71 |
| Gambar 30. Struktur kimia alginat.....   | 71 |
| Gambar 31. Contoh pelepasan obat kinetika orde nol.....  | 82 |
| Gambar 32. Contoh pelepasan obat kinetika orde satu .....  | 83 |
| Gambar 33. Contoh pelepasan obat kinetika model Higuchi .....  | 85 |
| Gambar 34. Contoh pelepasan obat kinetika model Korsmeyer-Peppas .....   | 86 |
| Gambar 35. Mekanisme perubahan radikal DPPH menjadi non radikal DPPH (Molyneux, 2004) .....  | 88 |
| Gambar 36. Ilustrasi interaksi kitosan-alginat pada rentang pH < 3,4-3,7 (Lawrie et al. 2007).....   | 90 |
| Gambar 37. Ilustrasi interaksi kitosan-alginat pada pH antara 3,4-3,7 s/d 6,3 (Lawrie et al. 2007) .....   | 91 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 38. Spektrum FTIR kitosan (a), alginat (b),<br>dan KPE kitosan-alginat (c).....                      | 92  |
| Gambar 39. Spektrum FTIR eugenol (a), KPE kitosan-<br>alginat (b), dan KPE kitosan-alginat-eugenol (c)..... | 97  |
| Gambar 40. Persentase pelepasan eugenol dari film KPE<br>pada variasi komposisi KPE.....                    | 99  |
| Gambar 41. Nilai penyerapan air film KPE pada variasi<br>komposisi KPE.....                                 | 99  |
| Gambar 42. Persentase pelepasan eugenol dari film KPE<br>pada variasi konsentrasi eugenol.....              | 102 |
| Gambar 43. Nilai penyerapan air film KPE pada variasi<br>konsentrasi eugenol.....                           | 103 |
| Gambar 44. Pola nilai kuat tarik film KPE pada variasi<br>komposisi KPE.....                                | 105 |
| Gambar 45. Pola nilai kuat tarik film KPE pada variasi<br>konsentrasi eugenol.....                          | 106 |
| Gambar 46. Pola nilai % elongasi film KPE dengan variasi<br>komposisi KPE.....                              | 107 |
| Gambar 47. Pola nilai % elongasi film KPE pada variasi<br>konsentrasi eugenol.....                          | 108 |
| Gambar 48. Pola nilai WVP film KPE pada variasi<br>komposisi KPE.....                                       | 110 |
| Gambar 49. Pola nilai WVP film KPE pada variasi<br>konsentrasi eugenol.....                                 | 111 |
| Gambar 50. Pola nilai transparansi film KPE pada variasi<br>komposisi KPE.....                              | 112 |
| Gambar 51. Pola nilai transparansi film KPE pada variasi<br>konsentrasi eugenol.....                        | 113 |
| Gambar 52. Kurva DTA-TGA untuk film A1 .....  | 118 |
| Gambar 53. Kurva DTA/TGA untuk film B3.....   | 119 |
| Gambar 54. Hasil SEM film A1 perbesaran<br>1000× (a) 5000× (b).....   | 121 |
| Gambar 55. Hasil SEM film B3 perbesaran<br>1000× (a) 5000× (b).....   | 122 |

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 56. Nilai aktivitas antioksidan (% RSA) dari film dengan variasi konsentrasi eugenol. Konsentrasi eugenol 0,05% b/v (B1), 0,10% b/v (B2), dan 0,20 b/v (B3) ..... | 126 |
| Gambar 57. Profil aktivitas antioksidan eugenol pada film thermoplastic flour (TPF) (Woranuch and Yoksan., 2013) .....   | 127 |
| Gambar 58. Struktur kimia dari komponen utama teh (Sumber: Lamberta and Elias, 2008) .....   | 135 |
| Gambar 59. Hasil uji kuat tarik film kitosan-ekstrak the (Peng et al. 2013) .....  | 135 |
| Gambar 60. Hasil uji elongasi film kitosan-ekstrak teh (Peng et al. 2013) .....  | 136 |
| Gambar 61. Profil pelepasan dari film kitosan dengan penambahan ekstrak teh pada food simulant berupa air (Peng et al. 2013) .....                                       | 140 |
| Gambar 62. Profil pelepasan dari film kitosan dengan penambahan ekstrak teh pada food simulant berupa etanol 20% (Peng et al. 2013).....                                 | 141 |
| Gambar 63. Profil pelepasan dari film kitosan dengan penambahan ekstrak teh pada food simulant berupa etanol 75% (Peng et al. 2013).....                                 | 142 |
| Gambar 64. Profil pelepasan dari film kitosan dengan penambahan ekstrak teh pada food simulant berupa etanol 95% (Peng et al. 2013).....                                 | 143 |

## DAFTAR SINGKATAN

|      |                              |
|------|------------------------------|
| BHT  | Butylated Hydroxytoluene     |
| PEC  | Polyelectrolyte Complex      |
| LDPE | Low-Density Polyethylene     |
| BHA  | Butylated Hydroxyanisole     |
| KPE  | Kompleks Polielektrolit      |
| PET  | Polyethylene Terephthalate   |
| ALG  | Alginat                      |
| CTS  | Kitosan                      |
| TPF  | Thermoplastic Flour          |
| DPPH | 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil |
| RSA  | Radical Scavenging Activity  |
| TPP  | Tri Poliphosphate            |
| WVP  | Water Vapor Permeability     |
| WVTR | Water Vapor Transmisson Rate |
| PIC  | Poli-Ion Complex             |
| PE   | Polyethylene                 |
| PP   | Polypropylene                |
| TBHQ | Tert-Butylhydroquinone       |
| PG   | Propyl Gallate               |
| NDGA | Nordihydroguaiaretic acid    |

## PENGANTAR DEKAN

*Alhamdulillah*, segala puji hanya milik Allah SWT. Shalawat & Salam semoga senantiasa terlimpah pada teladan agung Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat dan pengikutnya sampai hari kebangkitan kelak. Berkat rahmat dan hidayah Allah SWT, program penulisan buku ajar dan referensi telah dapat dirampungkan.

Kewajiban dosen untuk menulis dan memproduksi buku, baik buku ajar maupun buku referensi sejatinya sudah diatur dalam UU Nomor 12 tahun 2012 tentang perguruan tinggi dan UU Nomor 14 tahun 2005 tentang Guru dan Dosen dan sejumlah regulasi lainnya. Pasal 12 UU No.12 tahun 2012 dengan tegas menyebutkan bahwa dosen secara perseorangan atau kelompok wajib menulis buku ajar atau buku teks yang diterbitkan oleh perguruan tinggi sebagai salah satu sumber belajar.

Kompetisi Buku Ajar dan Referensi (KOBAR) Fakultas Tarbiyah dan Keguruan (FTK) UIN Mataram tahun 2020 adalah upaya Fakultas untuk berkontribusi dalam implemementasi undang-undang di atas, dimana secara kuantitatif, grafik riset dan publikasi dosen PTKI masih harus terus ditingkatkan. Tujuan lainnya adalah meningkatkan mutu pembelajaran dengan mewujudkan suasana akademik yang kondusif dan proses pembelajaran yang efektif, efisien dengan kemudahan akses sumber belajar bagi dosen dan mahasiswa. Publikasi ini juga diharapkan *men-support* peningkatan karir dosen dalam konteks kenaikan jabatan fungsional dosen yang ujunngnya berdampak pada peningkatan status dan peringkat akreditasi program studi dan perguruan tinggi.

Secara bertahap, Fakultas terus berikhtiar meningkatkan kuantitas dan kualitas penerbitan buku. Pada tahun 2019 berjumlah 10 judul buku dan meningkat cukup signifikan tahun 2020 menjadi 100 judul yang terdistribusi dalam 50 judul buku ajar dan 50 judul buku referensi. Ikhtiar Fakultas tidak berhenti pada level publikasi, namun berlanjut pada pendaftaran Hak Kekayaan Intelektual (HKI) dosen di Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual (DJKI) Kementerian Hukum

dan Hak Asasi Manusia RI, sehingga tahun 2020 menghasilkan 100 HKI dosen.

Kompetisi buku ajar dan referensi tahun 2020 berorientasi interkoneksi-integrasi antara agama dan sains, berspirit Horizon Ilmu UIN Mataram dengan inter-multi-transdisiplin ilmu yang mendialogkan metode dalam *Islamic studies* konvensional berkarakteristik deduktif-normatif-teologis dengan metode *humanities studies* kontemporer seperti sosiologi, antropologi, psikologi, ekonomi, hermeneutik, fenomenologi dan juga dengan metode ilmu eksakta (*natural sciences*) yang berkarakter induktif-rasional. Dari 100 judul buku, terdapat 10 judul tematik yang menjawab problem epistemologis pendidikan Islam, terutama terkait misi Kementerian Agama RI seperti moderasi Islam (*Islam wasathiyah*), pendidikan inklusi, pendidikan anti korupsi, pendidikan karakter, pendidikan multikultural, etno-pedagogik, pembelajaran DARING (dalam jaringan), pendidikan & isu gender, ragam pesantren (pesisir, enterprenuer), dan tema teraktual yaitu merdeka belajar dan kampus merdeka.

Mewakili Fakultas, saya berterima kasih atas kebijakan dan dukungan Rektor UIN Mataram Prof. Dr. H Mutawali, M.Ag dan jajarannya, kepada 100 penulis yang telah berkontribusi dalam tahapan kompetisi buku tahun 2020, dan tak terlupakan juga editor dari dosen sebidang dan penerbit yang tanpa sentuhan *zauqnya*, *performance* buku tak akan semenarik ini. Tak ada gading yang tak retak; tentu masih ada kurang, baik dari substansi maupun teknis penulisan, di ‘ruang’ inilah kami harapkan saran kritis dari khalayak pembaca. Semoga agenda ini menjadi *amal jariyah* dan hadirkan keberkahan bagi sivitas akademika UIN Mataram dan ummat pada umumnya.

Mataram, 29 Oktober 2020 M  
12 Rabi’ul Awal 1442 H

Dekan

  
**Dr. Hj. Lubna, M.Pd.**  
NIP. 196812311993032008

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan barokah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul “*Active Packaging: Sistem Pengemasan Untuk Kualitas Pangan Yang Lebih Baik*”.

Buku referensi ini merupakan hasil kajian dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, yang dipadukan dengan beberapa hasil penelitian dari beberapa Jurnal Publikasi baik dari publikasi nasional maupun internasional. Buku ini diperuntukan untuk berbagai kalangan (guru, dosen, mahasiswa atau masyarakat umum) yang ingin mengetahui tentang pengembangan sistem pengemasan aktif dalam menjaga kualitas produk pangan. Melalui buku referensi ini, penulis berharap pembaca dapat memahami bagaimana urgensi dari sistem pengemasan aktif jika dilihat dari segi keamanan suatu produk pangan maupun dari segi lingkungan di masa depan.

Dalam proses penyusunan buku ini, tentunya tidak terlepas dari berbagai rintangan, tantangan, dan permasalahan yang dihadapi. Namun, berkat petunjuk dan bimbingan Allah SWT, serta dengan dorongan, arahan, saran dan kritik yang bersifat konstruktif dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan buku ini tepat pada waktunya. Oleh karena itu, sebagai rasa syukur dan hormat penulis, melalui kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

Suami, Bapak Gibran Satya Nugraha, S.Kom., M.Eng. yang telah dengan penuh kesabaran dan ketulusan memberikan dukungan dan doa terbaik kepada penulis.

Ibu Dr. Hj. Lubna, M. Pd., selaku Dekan Fakultas tarbiyah (FTK) Universitas Islam Negeri Mataram yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyusun hasil kajian dan studi literatur dari beberapa penelitian menjadi salah satu buku hasil kompetisi di FTK UIN Mataram.

Ibu Dr. Dwi Wahyudiati, M. Pd., selaku editor buku ini yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis.

Bapak dan Ibu dosen Program Studi Tadris Kimia yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan buku ini.

Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penyelesaian buku ini.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan karunia dan hidayah-Nya bagi semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa apa yang disajikan di dalam buku ini masih memiliki banyak kekurangan dan tentunya masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca guna penyempurnaan buku ini di kemudian hari. Penulis berharap semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan bagi perkembangan dunia pendidikan.

Mataram, November 2020

Penulis





# PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang

Di era pandemi COVID-19 (*Coronavirus Disease-19*) ini, pencegahan penyebaran virus corona menjadi fokus utama yang harus dilaksanakan oleh semua pihak. Peningkatan jumlah kasus dari hari ke hari tentunya menjadi hal yang cukup meresahkan dan menakutkan. Data Kemenkes RI menunjukkan bahwa kasus yang terkonfirmasi positif COVID-19 telah mencapai angka  $\pm 283.000$  dan sebanyak  $>10.000$  orang dikonfirmasi meninggal dunia. Seperti yang kita ketahui, COVID-19 merupakan virus yang dapat menginfeksi siapa saja tanpa mengenal usia. Orang hamil, orang lanjut usia, anak-anak, dan orang yang memiliki sistem kekebalan tubuh yang rendah akan memiliki risiko penularan yang besar. Pembatasan kontak fisik (*physical distancing*) dan penerapan sanitasi menjadi solusi sekaligus pilihan bagi masyarakat untuk menekan angka penularan COVID-19 ini.

Seperti yang telah kita pahami bersama, penyebaran COVID-19 ini terjadi sangat cepat melalui kontak antara manusia dengan manusia. Menjaga sistem imun atau sistem kekebalan tubuh melalui konsumsi makanan yang sehat, bergizi, dan bersih tentunya menjadi salah satu cara untuk menjaga daya tahan tubuh. Berdasarkan Pedoman Produksi dan Distribusi Pangan Olahan Pada Masa Status Darurat esehatan Corona Virus Disease 2019 (COVID-19) di Indonesia yang dikeluarkan oleh Badan Pengolahan Obat dan Makanan (BPOM) Republik Indonesia, salah satu masalah yang dapat menjadi poin krusial dalam masa pandemi ini adalah sanitasi pangan yang sangat erat kaitannya dengan kebersihan makanan. Memang sampai saat ini belum terdapat bukti valid yang menunjukkan bahwa penularan COVID-19 dapat terjadi melalui pangan. Badan kesehatan dunia atau *World*

*Health Organization* (WHO) juga menyatakan bahwa risiko penularan COVID-19 melalui pangan dan kemasan pangan sangat rendah selama Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik (CPPOB) selalu dipraktikkan secara kontinyu oleh seluruh sektor industri di setiap mata rantai pasok pangan<sup>1</sup>.

Sanitasi pangan merupakan salah satu upaya untuk menciptakan, menjaga, dan mempertahankan kondisi pangan agar terbebas dari bahaya bakteri, radikal bebas, maupun dari cemaran biologis, cemaran kimia, atau benda lainnya. Sanitasi ini menjadi hal yang sangat penting karena berhubungan dengan kesehatan umat manusia. Dalam Al-Qur'an, Allah SWT memerintahkan kita untuk mengkonsumsi makanan yang halal dan baik.

الشَّيْطَانُ خُطُوَاتٍ تَتَّبِعُونَ ۖ وَلَا طَيْبًا حَلَّلَا الْأَرْضِ فِي مِمَّا كَلَّمُوا النَّاسُ بِآيَاتِهَا  
مُبِينٌ عَدُوٌّ لَكُمْ إِنَّهُ (Q.S Al-Baqarah: 168)

Artinya: Wahai manusia! Makanlah dari (makanan) yang halal dan baik yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah setan. Sungguh, setan itu musuh yang nyata bagimu (Q.S Al-Baqarah: 168).

Berdasarkan ayat Al-Qur'an tersebut, Allah SWT secara terang-terangan memerintahkan kita untuk memilih makanan yang halal dan baik karena akan sangat memengaruhi kesehatan jasmani dan rohani kita. Kata “baik” dalam ayat tersebut dapat merujuk pada makanan yang bersih dan aman dari bakteri maupun cemaran lain yang berbahaya bagi tubuh. Karena sanitasi pangan berkaitan erat dengan kesehatan, maka

---

<sup>1</sup> Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, *Pedoman Produksi Dan Distribusi Pangan Olahan Pada Masa Status Darurat Kesehatan Corona Virus Disease 2019 (Covid-19) Di Indonesia* (BADAN PENGAWAS OBAT DAN MAKANAN RI, 2016).

masalah sanitasi ini menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan oleh berbagai pihak.

Sanitasi pangan sangat erat kaitannya dengan tinggi atau rendahnya kualitas suatu produk makanan. Salah satu faktor yang sangat penting dalam menjaga kualitas produk makanan ialah pengemasan dari makanan. Pengemasan yang baik dapat menjaga dan melindungi kualitas produk makanan dari gangguan bakteri, patogen, mikroorganisme, maupun dari proses oksidasi lipid. Proses oksidasi lipid pada makanan disebabkan oleh adanya reaksi dengan radikal bebas. Adanya proses oksidasi akan mengakibatkan terjadinya perubahan rasa, aroma, dan warna pada suatu produk makanan. Selain itu, proses oksidasi akan menyebabkan penurunan kualitas gizi dari suatu produk makanan. Hal ini disebabkan oleh terjadinya degradasi dan terbentuknya aldehid yang berbahaya<sup>2</sup>.

Selama ini, metode yang digunakan untuk mencegah proses oksidasi lipid yaitu dengan menambahkan suatu zat aktif yang berperan sebagai antioksidan ke dalam produk makanan. Penambahan ini dilakukan dengan tujuan untuk mereaksikan radikal bebas dengan zat antioksidan sehingga produk makanan dapat terlindungi dari proses oksidasi lipid. Seiring berjalannya waktu, metode penambahan antioksidan secara langsung dengan dosis yang relatif tinggi ke dalam suatu produk makanan dinilai kurang efisien. Hal ini disebabkan oleh proses oksidasi yang dapat terjadi pada permukaan makanan sehingga justru akan mempercepat proses oksidasi lipid. Selain itu, penambahan suatu antioksidan ke dalam makanan dengan

---

<sup>2</sup> Ishrat Majid et al., "Novel Food Packaging Technologies : Innovations and Future Prospective," *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>.

dosis yang tinggi akan menyebabkan terjadinya proses pro-oksidan\*<sup>3</sup>.

Teknologi *active packaging* menjadi salah satu sistem pengemasan yang menjanjikan dan dapat dikembangkan. Teknologi ini memiliki kemampuan untuk melindungi kualitas dan keamanan produk pangan, serta dapat memperpanjang waktu penyimpanan. Teknologi *active packaging* yang mulai dikembangkan yaitu teknologi *antioxidant packaging* atau *antimicrobial packaging*. Metode ini didasarkan pada pengembanan suatu zat aktif berupa senyawa yang memiliki aktivitas antioksidan atau aktivitas antibakteri ke dalam suatu film pengemas untuk mencegah terjadinya oksidasi atau gangguan mikroorganisme dan bakteri. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kestabilan produk makanan dan memperpanjang waktu penyimpanan. Pengembanan suatu zat aktif ke dalam pengemas dianggap menjadi solusi yang lebih efektif dibandingkan penambahan zat aktif ke dalam makanan secara langsung. Hal ini disebabkan oleh pengembanan suatu zat aktif ke dalam film pengemas akan membutuhkan jumlah yang lebih sedikit dan pelepasan zat aktif yang digunakan juga dapat dikontrol.<sup>4</sup>

Dalam pembuatan suatu pengemas makanan, bahan dasar pengemas menjadi hal yang sangat penting untuk dipertimbangkan. Saat ini, pengembangan pengemas makanan dengan menggunakan polimer sintetik terus mengalami peningkatan terutama dalam keperluan industri. Hal ini

---

<sup>3</sup> Carol López-de-dicastillo et al., “Active Antioxidant Packaging Films : Development and Effect on Lipid Stability of Brined Sardines” 131 (2012): 1376–1384.

\*<sup>3</sup> proses yang memicu terjadinya oksidasi

<sup>4</sup> Carol López De Dicastillo et al., “Immobilization of Green Tea Extract on Polypropylene Films to Control the Antioxidant Activity in Food Packaging,” *FRIN* 53, no. 1 (2013): 522–528, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.05.022>.

tentunya dapat menyebabkan munculnya permasalahan lingkungan berupa limbah-limbah plastik yang akan sulit terdegradasi di lingkungan sekitar.

Negara Indonesia tercatat menghasilkan lebih dari 100 miliar kantong plastik setiap tahun. Jumlah ini jika dikonversi, sama dengan 12 juta barel minyak bumi, atau setara dengan nilai 11 triliun rupiah. Tentunya kita semua telah memahami bahwa sampah kantong plastik akan membutuhkan waktu hingga ratusan tahun untuk dapat terurai. Selain itu, hal lain yang sangat disayangkan ialah selama proses peruraian tersebut, lebih dari 1 juta hewan laut terbunuh pertahunnya<sup>5</sup>. Melihat kenyataan ini, beberapa perusahaan mulai menawarkan terobosan dan inovasi baru. Perusahaan-perusahaan ini mulai merilis produk pengemas yang bersifat *bio-degradable* (dapat terurai secara biologi), yakni kantong berbahan alami yang dapat diperbarui, pengganti kantong plastik yang berbasis minyak bumi, seperti *polyethylene* (PE) dan *polypropylene* (PP).

Akibat adanya beberapa kerusakan lingkungan karena penggunaan plastik dengan material sintetik seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dimulailah pengembangan teknologi pengemasan yang berbasis pada penggunaan material alami. Penggunaan material *biodegradable* sebagai bahan pembuatan film pengemas makanan akan menjadi alternatif yang harus konsisten dikembangkan oleh para peneliti. Bahan-bahan yang memiliki sifat biokompatibel dan nontoksik (tidak beracun) tentunya menjadi hal utama yang harus dikaji terlebih dahulu sebelum dijadikan sebagai bahan dasar film untuk pengemas makanan dalam skala industri sehingga nantinya akan aman digunakan.

---

<sup>5</sup> Ditjen Pen, Warta Ekspor, and Edisi Mei, "Kemasan Sebagai Daya Saing Produk," *Kementerian Perdagangan*, 2016.

Selain bersifat ramah lingkungan, biokompatibel dan nontoksik, material alami yang dijadikan sebagai bahan dasar film pengemas makanan biasanya merupakan material yang mudah didapat, dapat diperbaharui, dan harganya murah. Beberapa polimer alami yang telah dikembangkan antara lain kitosan, alginat, pati tapioka, karagenan, dan masih banyak lagi. Penggunaan polimer alami dianggap sebagai solusi dalam pembuatan film untuk pengemas makanan. Kini, pengembangan pengemas makanan yang baik dan ramah lingkungan menjadi hal penting dalam kehidupan karena berkaitan dengan kesehatan manusia dan kebersihan lingkungan.

Di era modern seperti sekarang ini, terus terjadi peningkatan keinginan konsumen terhadap kebutuhan produk pangan yang aman, hanya mengandung sedikit bahan tambahan (pengawet), namun memiliki umur simpan yang panjang dan kualitas produk yang baik terutama pada tingkat kesegarannya. Pada umumnya, tingkat kesegaran makanan dapat dilihat secara kasat mata seperti pada buah, sayur, daging dan produk-produk lainnya. Kondisi tidak segarnya suatu produk makanan ini biasanya ditandai dengan adanya perubahan warna, memiliki tekstur yang lembek ataupun timbulnya aroma yang kurang sedap. Perubahan warna, tekstur dan aroma yang dimaksud yaitu kondisi perubahan yang terjadi akibat pembusukan.

Pembusukan makanan itu sendiri merupakan masalah global yang sering timbul baik itu di pasar tradisional sampai di pasar modern. Penyebab kebusukan itu sendiri terjadi akibat adanya pertumbuhan mikroorganisme yang tidak diinginkan, terpaparnya bahan makanan oleh udara ataupun oksigen, temperatur, kelembaban, cahaya, dan proses enzimatik lainnya. Oleh sebab itu, perlu adanya pengembangan sistem pengemasan aktif (*active packaging*) yang merupakan suatu sistem

pengemasan yang memiliki sebuah untuk memperlihatkan secara aktif perubahan produk serta menentukan mutunya.

Adapun beberapa urgensi dan hal-hal yang mendukung terkait pengembangan *active packaging* (kemasan aktif) antara lain, meningkatnya permintaan pangan yang siap saji, adanya persyaratan tentang kesehatan dan keamanan konsumen yang semakin ketat, kondisi umur simpan yang lebih panjang dari suatu produk pangan, adanya isu lingkungan: pengurangan sampah, daur ulang, *biodegradable*, serta adanya permintaan untuk semakin mengurangi atau bahkan tanpa menambahkan bahan tambahan pangan dari konsumen.

Buku ini sedikit mengulas dan membahas tentang penggunaan material dari kelompok polimer alami yaitu kitosan dan alginat sebagai bahan dasar film. Selanjutnya, polimer alami yang dijadikan sebagai film pengemas akan dipelajari potensinya untuk pengembangannya sebagai suatu *active packaging* untuk produk-produk makanan. Potensi film pengemas yang dibuat dipelajari melalui sifat-sifat film tersebut. Pengembangan film yang berbasis *active packaging* ini diharapkan menjadi solusi yang menjanjikan karena diketahui dapat memperpanjang masa simpan makanan, menjaga kualitas makanan agar terhindar dari gangguan mikroba, radikal bebas, termasuk dari berbagai kerusakan fisik, kimia, biologis dan lingkungan.

## **B. Rumusan Masalah**

Adapun beberapa masalah yang dirumuskan dari beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu:

1. Bagaimana potensi polimer alam seperti kitosan dan alginat jika pembuatannya dilakukan dengan metode pembentukan kompleks polielektrolit (KPE) kemudian dikembangkan sebagai bahan dasar film (*active packaging films*) untuk pengemas makanan?



2. Bagaimana sifat fisik dan mekanik film berbahan dasar kitosan-alginat?
3. Bagaimana profil pelepasan zat aktif dari film berbahan dasar kitosan-alginat?
4. Apakah film berbahan dasar kitosan-alginat dapat diaplikasikan langsung ke makanan?
5. Bagaimana potensi suatu ekstrak tanaman digunakan sebagai agen aktif jika dipadukan dengan suatu polimer alam seperti kitosan dan diaplikasikan sebagai *active packaging*?

### C. Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Mempelajari potensi paduan polimer kitosan-alginat yang diimbangkan suatu senyawa aktif sebagai *active packaging*
2. Mengkaji kinetika pelepasan suatu zat aktif dari film pengemas berbahan dasar kitosan-alginat
3. Mempelajari sifat-sifat film kitosan-alginat agar dapat dikembangkan sebagai *active packaging* dan diaplikasikan ke suatu makanan
4. Mempelajari perbedaan sistem pengemasan teknik *active packaging* dengan pengemas edible film

### D. Metodologi

Pada dasarnya, penelitian mengenai *active packaging* cukup banyak dilakukan dan mulai dikembangkan, bahkan saat ini mulai diaplikasikan pada makanan secara langsung. Di dalam buku ini, tahapan metodologi penelitian dalam pengembangan suatu *active packaging* akan dijelaskan secara terperinci satu persatu.

Ketika memulai penelitian/pengembangan mengenai *active packaging*, maka tahapan pertama adalah proses pembuatan film

teremban suatu senyawa aktif. Selanjutnya, film yang telah dibuat akan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR. Selain itu, dilakukan juga analisis terhadap beberapa sifat film pengemas seperti: uji kuat tarik dan elongasi, ketebalan film, penentuan nilai transparansi, permeabilitas uap air, dan uji penyerapan air untuk mengetahui sifat film.

Uji pelepasan eugenol dilakukan secara bertahap dan dilakukan secara *in vitro* menggunakan suatu larutan simulat. Uji dilakukan selama waktu tertentu pada temperatur ruang. Tiap satuan waktu, larutan uji diambil dan konsentrasi eugenolnya ditentukan melalui pengukuran absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Konsentrasi zat aktif yang terlepas dari film ke dalam *food simulant\** diamati sebagai fungsi waktu.

Penentuan aktivitas antioksidan film dilakukan menggunakan metode DPPH. Metode *fixed reaction time* dilakukan dengan mereaksikan larutan zat aktif yang terlepas dari film dengan radikal DPPH dan diamati absorbansinya pada panjang gelombang 517 nm. Aktivitas antioksidan dilihat dari nilai RSA (Radical Scavenging Activity). Setelah itu, beberapa analisis juga dapat dilakukan seperti analisis termal DTA/TGA terhadap film yang dibuat untuk mengetahui pengaruh terhadap sifat termal film. Analisis morfologi film juga dilakukan menggunakan SEM.

Beberapa tahapan metodologi dalam pengembangan *active packaging (antioxidant packaging)*:

#### **D.1. Sintesis Film: Pembuatan film kompleks polielektrolit (KPE) kitosan-alginat**

Pembuatan film kompleks polielektrolit dapat menggunakan metode berikut.

***Pembuatan film variasi komposisi kompleks polielektrolit (KPE) kitosan-alginat***

Sejumlah alginat dengan massa tertentu (Tabel 1) dilarutkan dengan akuades sampai larutan menjadi homogen (larutan A). Kitosan dengan massa tertentu yang telah disiapkan, ditambahkan ke dalam larutan A. Setelah itu, larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan konsentrasi 2% ditambahkan ke dalam larutan tersebut (larutan B). Selanjutnya, ditambahkan eugenol ke dalam larutan B hingga konsentrasi akhirnya dalam larutan menjadi 0,1%. Kedua larutan selanjutnya diaduk sampai homogen (larutan KPE kitosan-alginat-eugenol) selama 24 jam. Film dicetak menggunakan cawan petri dengan cara mengambil larutan KPE kitosan-alginat sebanyak 10 mL. Selanjutnya, film dikeringudarkan pada suhu ruang.

Tabel 1. Perbandingan massa kitosan-alginat pada KPE

| Kode film | Kitosan : Alginat | Kitosan (mg) | Alginat(mg) |
|-----------|-------------------|--------------|-------------|
| A1        | 9: 1              | 45,0         | 5.0         |
| A2        | 8: 2              | 40,0         | 10,0        |
| A3        | 7: 3              | 35,0         | 15,0        |

***Pembuatan film variasi konsentrasi eugenol***

Serbuk alginat dilarutkan dengan akuades sampai larutan menjadi homogen (larutan A). Selanjutnya, serbuk kitosan ditambahkan ke dalam larutan A. Setelah itu, larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  2% ditambahkan ke dalam larutan tersebut. Kemudian, eugenol dimasukkan ke larutan yang telah disiapkan hingga konsentrasi akhirnya dalam larutan menjadi 0,05%, 0,10%, dan 0,20% (% b/v). Larutan diaduk sampai homogen (larutan KPE kitosan-alginat-eugenol) selama 24 jam menggunakan pengaduk magnet. Film

dicetak menggunakan cawan petri dengan cara mengambil larutan KPE kitosan-alginat sebanyak 10 mL. Selanjutnya, film dikeringudarkan pada suhu ruang. Komposisi film yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi film KPE kitosan-alginat-eugenol

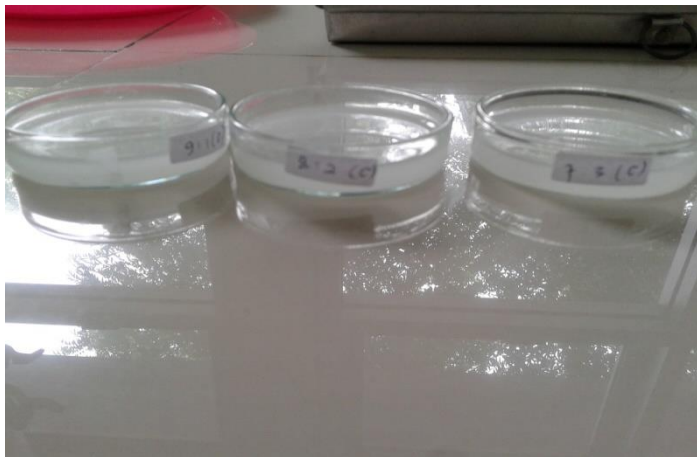
| Kode film | Rasio CTS:ALG | Kitosan (%b/v) | Alginat (%b/v) | Eugenol (%b/v) |
|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| A1        | 9:1           | 1.125          | 0.125          | 0.500          |
| A2        | 8:2           | 1.000          | 0.250          | 0.500          |
| A3        | 7:3           | 0.875          | 0.375          | 0.500          |
| B1        | 8:2           | 1.000          | 0.250          | 0.250          |
| B2        | 8:2           | 1.000          | 0.250          | 0.500          |
| B3        | 8:2           | 1.000          | 0.250          | 1.000          |



Gambar 1. Proses pembuatan larutan KPE kitosan alginat



Gambar 2. Larutan KPE kitosan-alginat-eugenol



Gambar 3. Pembuatan film KPE kitosan-alginat-eugenol menggunakan cawan petri



Gambar 4. Salah satu produk film pengemas yang dihasilkan

## **D.2. Karakterisasi film menggunakan FTIR**

Karakterisasi film dilakukan untuk memastikan interaksi antara matriks film dengan zat aktif yang digunakan dalam pembuatan film. Karakterisasi film biasanya dilakukan dengan menggunakan instrumen FTIR. Mula-mula, film yang telah kering harus dikeringkan di dalam wadah yang berisi silika (desikator) selama 14 hari sebelum dianalisis. Selanjutnya, dilakukan pengukuran pada rentang panjang gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ . Spektrum yang dihasilkan merupakan hubungan antara bilangan gelombang dan persen transmitans.



Gambar 5. Instrumen FTIR untuk karakterisasi film  
(sumber: [www.mediacom.com](http://www.mediacom.com))

### **D.3. Pengujian kemampuan penyerapan air film**

Besarnya penyerapan air oleh film dilakukan dengan cara membenamkan film yang telah dikeringkan sehingga terbebas dari air ke dalam akuades selama  $\pm 60$  menit. Perhitungan besarnya persentase penyerapan air diperoleh melalui persamaan:

$$\text{Penyerapan air (\%)} = \frac{M_0 - M}{M} \times 100\%$$

Dimana,  $M_0$  merupakan massa film setelah direndam dalam akuades sedangkan  $M$  merupakan massa film yang telah dikeringkan.

### **D.4. Uji ketebalan film**

Ketebalan film yang telah kering diukur menggunakan mikrometer sekrup. Ketebalan diukur sebanyak 5-10 kali ulangan pada titik yang berbeda. Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan milimeter (mm).



Gambar 6. Alat micrometer sekrup untuk mengukur ketebalan film (sumber: [www.fisikabc.com](http://www.fisikabc.com))

#### **D.5. Penentuan nilai transparansi**

Transmitansi cahaya dari suatu film diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada kisaran panjang gelombang sinar UV-Vis yaitu 200-800 nm. Selanjutnya, nilai transparansi dari film dihitung menggunakan persamaan berikut (Hans and Floros 1997):

$$\text{Nilai transparansi} = -\log T_{600}/x$$

dengan  $T_{600}$  merupakan transparansi film pada bilangan gelombang 600 nm dan  $x$  merupakan ketebalan film (mm). Semakin tinggi nilai transparansi menunjukkan bahwa semakin rendah transparansi dari film.

#### **D.6. Uji kuat tarik dan elongasi**

Film yang telah dikeringkan di dalam desikator dipotong dengan ukuran tertentu dan dibentuk sesuai aturan pengujian. Kedua ujung film dijepit pada mesin penguji. Selanjutnya tombol “Start” ditekan dan alat akan menarik film hingga terputus. Pengukuran dilakukan 3-5 kali ulangan untuk setiap komposisi film.





Gambar 7. Contoh alat pengujian *tensile strength*/kuat tarik suatu film  
(sumber: [www. http://indonesian.labtestmachines.com](http://indonesian.labtestmachines.com))



Gambar 8. Contoh alat pengujian elongasi suatu film  
(sumber: <http://m.indonesian.firetesting-equipment.com>)

#### **D.7. Uji permeabilitas uap air**

Uji permeabilitas uap air dilakukan berdasarkan pada ASTM E96-95 1995. Pengujian ini dilakukan dengan metode *wet cup* yang telah dimodifikasi. Pertama, akuades dimasukkan ke dalam cawan petri Cawan petri berisi

akuades ditutup dengan kertas aluminium foil yang dilubangi seluas  $\pm 10\%$  dari luas permukaan cawan petri. Bagian tepi cawan petri harus ditutup dengan rapat dan direkatkan menggunakan lem epoksi. Selanjutnya, lubang ditutup menggunakan film dengan ukuran yang telah disesuaikan. Penutupan lubang dilakukan dengan cara meletakkan film yang akan diuji di atas lapisan aluminium foil. Selanjutnya, cawan petri yang berisi air ditimbang bobotnya sebagai bobot awal, kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 5 jam pada suhu  $37 \pm 0,5$  °C. Setiap 1 jam, cawan petri diambil dan ditimbang. Nilai laju transmisi uap air (WVTR) dan permeabilitas uap air (WVP) masing-masing diperoleh menggunakan Persamaan berikut.

$$WVTR = \frac{\text{bobot air yang hilang}}{\text{waktu} \times \text{luas}}$$

$$WVP = \frac{WVTR}{S \times (R_1 - R_2)} \times d$$

Keterangan:

$S$  = nilai tekanan uap jenuh pada suhu 37 °C

$R_1$  = RH dalam cawan petri (100%)

$R_2$  = RH pada suhu 37 °C (81%)

$d$  = ketebalan film (m)

#### **D.8. Penentuan profil pelepasan senyawa aktif dari matriks film**

Penentuan profil pelepasan senyawa aktif dari film dilakukan secara *in vitro* menggunakan suatu larutan *food simulant*. Film yang telah dibuat direndam ke dalam larutan *food simulant*. Setiap satuan waktu yaitu pada jam ke-1, 3, 6, 24, 48, 72, dan 96 (selama  $\pm 4$  hari), larutan diukur dan

konsentrasi zat aktif dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang tertentu. Besarnya pelepasan zat aktif yang digunakan dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Pelepasan (\%)} = \frac{\text{zat aktif (released)}}{\text{Eugenol total}} \times 100\%$$

#### **D.9. Uji aktivitas antioksidan**

Untuk pengujian aktivitas antioksidan film, metode yang mudah digunakan adalah metode *fixed reaction time* yang menggunakan larutan DPPH. Film yang telah mengemban senyawa aktif direndam di dalam etanol 96% (v/v). Setiap satuan waktu, sebanyak 0,5 mL larutan uji diambil dan ditambahkan 3,5 mL radikal DPPH dengan konsentrasi 75  $\mu\text{M}$  yang dilarutkan dalam pelarut etanol 96% (v/v). Campuran kemudian diaduk dan didiamkan selama 30 menit pada suhu ruang dan kondisi gelap. Selanjutnya, dilakukan pengukuran absorbansi larutan uji setiap satuan waktu yaitu pada jam ke-1, 3, 6, 24, 48, 72, dan 96. Besarnya absorbansi radikal DPPH diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 517 nm sebanyak 3 kali ulangan (triplo). Sebanyak 0,5 mL etanol 96% (v/v) dijadikan sebagai kontrol. Nilai aktivitas antioksidan (RSA) dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{RSA (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Asampel}}{\text{Akontrol}}\right) \times 100\%$$



Gambar 9. Contoh instrumen UV-Vis dalam pengujian film  
(sumber: <https://www.kimiapost.net/>)

#### **D.10. Analisis termal**

Pengujian ini dilakukan menggunakan instrument DTA/TGA. Sampel film yang sudah kering disiapkan untuk dianalisis. Alat dikondisikan dan atmosfer diatur menggunakan gas nitrogen  $30 \text{ mL menit}^{-1}$ . Sampel dipanaskan pada suhu  $30\text{--}300 \text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan kecepatan  $10 \text{ }^{\circ}\text{C menit}^{-1}$ .



Gambar 10. Contoh instrument TGA yang digunakan dalam analisis termal (sumber: <https://www.industry-plaza.com/>)

### **D.11. Analisis morfologi film**

Analisis dilakukan menggunakan mikroskop elektron payaran (SEM). Sampel yang berupa lembaran film dimasukkan ke dalam tempat sampel dengan perekat ganda dan dilapisi dengan logam emas pada keadaan vakum. Sampel diamati menggunakan SEM dengan tegangan  $\pm 15$ -20 kV.



Gambar 11. Contoh instrument SEM yang digunakan dalam analisis morfologi (sumber: <http://central-laboratory.um.ac.id>)

## E. Teori Mutakhir

### E.1. Sistem pengemasan teknik *edible packaging*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pengemas suatu makanan merupakan hal yang sangat penting dan merupakan hal paling krusial pada suatu produk makanan. Selain untuk melindungi produk dari kontaminasi lingkungan, pengemas juga dapat menjadi daya tarik tersendiri bagi pembelinya sehingga pengemasannya diusahakan dapat memberikan tampilan yang menarik. Untuk itu digunakanlah suatu kemasan pangan yang

berbasis *food grade*<sup>6</sup>. Dalam penggunaan suatu kemasan pangan, diperlukan persyaratan utama dari kemasan yaitu tidak adanya pengaruh kontaminasi kemasan terhadap produk yang dikemas sehingga produk makanan aman bagi kesehatan manusia.

Plastik merupakan pengemas makanan yang paling umum digunakan saat ini. Meskipun sangat terjangkau dari segi harga, memiliki sifat yang fleksibel, tidak korosif, tidak mudah pecah, dan dapat dikombinasikan dengan bahan kemasan lain, plastik diketahui dapat membahayakan kesehatan manusia. Selain itu, plastik juga akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan. Bahaya lain terkait penggunaan plastik pada makanan ialah penggunaannya pada suatu makanan yang sangat panas dapat menyebabkan terjadinya peruraian polimer dari suatu plastik menjadi monomernya. Selanjutnya, monomer-monomer ini dapat bermigrasi atau berpindah ke dalam bahan pangan/produk makanan yang dikemasnya. Plastik juga memiliki sifat fisikokimia yang sangat stabil dan baru dapat terurai dalam rentang waktu 200–400 tahun atau bahkan membutuhkan waktu yang lebih lama.

Salah satu cara untuk menanggulangi limbah plastik adalah dengan menggunakan kemasan plastik ramah lingkungan yang mampu terurai secara hayati (biasa disebut *biodegradable packaging*) dimana polimer yang digunakan ialah polimer yang berasal dari polimer alam. Penelitian kemasan plastik ramah lingkungan yang mampu terurai secara hayati (*biodegradable packaging*), yang menggunakan polimer alam sebagai bahan dasarnya telah banyak dilakukan, baik di dalam maupun di luar negeri.

---

<sup>6</sup> Standarisasi material yang layak digunakan dalam memproduksi suatu perlengkapan makanan

Sampai saat ini, beberapa sistem *packaging* banyak yang telah dikembangkan bahkan telah banyak pula yang dipatenkan dan diperdagangkan. Meskipun demikian, penelitian lebih lanjut masih perlu dilakukan dan dilanjutkan, karena lembaran-lembaran film pengemas yang diperoleh masih memerlukan peningkatan sifat, baik sifat mekanik maupun *barrier* (penahan/penghalang), juga pada kestabilan film pada penyimpanan.<sup>7</sup>

Untuk memenuhi permintaan konsumen dalam hal bahan pengemas yang tidak berbahaya dan ramah lingkungan, maka dikembangkanlah salah satu teknik pengemasan yaitu *edible packaging*. *Edible packaging* merupakan sistem pengemasan yang bersifat *biodegradable* dan dapat menjaga kualitas bahan pangan saat mengalami penyimpanan yang cukup lama. Terdapat dua jenis edible packaging yaitu edible coating dan edible film.

- a) *Edible coating* merupakan pengemas yang digunakan sebagai pelapis (*coating*) makanan semi basah maupun buah-buahan<sup>8</sup>.
- b) *Edible film* adalah lapisan tipis dan kontinu berupa interaksi rantai polimer yang menghasilkan agregat polimer yang lebih besar dan stabil.

Meskipun penggunaan edible film kelihatan masih baru dilakukan, penelitian mengenai pengembangan edible film justru telah dimulai sejak 35 tahun yang lalu<sup>9</sup>. Namun sayangnya, hanya sedikit dari film-film pengemas yang telah

---

<sup>7</sup> Guntarti Supeni and Suryo Irawan, "Pengaruh Penggunaan Kitosan Terhadap Sifat Barrier Edible Film Tapioka Termodifikasi," *Jurnal Kimia dan Kemasan* 34, no. 1 (2014): 199.

<sup>8</sup> Nurhayati and Agusman, "EDIBLE FILM KITOSAN DARI LIMBAH UDANG," *Squalen* 6, no. 1 (2000): 38–44.

<sup>9</sup> A. Gennadios, C. L. Weller, and R. F. Testin, "Property Modification of Edible Wheat, Gluten-Based Films," *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 36, no. 2 (1993): 465–470.



diteliti dan dipelajari tersebut diaplikasikan secara komersial. Kenyataan ini berkaitan dengan adanya keterbatasan sifat *edible film* dibandingkan dengan sifat film polimer lainnya. Saat ini, industri polimer telah mampu menyediakan material-material pembungkus makanan yang mempunyai sifat fisik dan penghalang yang lebih baik dibandingkan edible film. Berdasarkan keuntungan yang dimiliki edible film dibandingkan dengan film polimer sintetik, edible film diprediksi akan lebih banyak digunakan sebagai kemasan makanan pada masa-masa yang akan datang.

Adapun beberapa keuntungan dari penggunaan edible film, antara lain:

- a) Dapat dimakan,
- b) Biaya umumnya rendah,
- c) Kegunaannya dapat mengurangi limbah,
- d) Mampu meningkatkan sifat organoleptik dan mekanik pada makanan dan
- e) Mampu menambah nilai nutrisi,
- f) Dapat berfungsi sebagai *carrier/zat* pembawa untuk senyawa antimikroba dan antioksidan
- g) Dapat digunakan sebagai kemasan primer makanan

Sampai saat ini, penelitian mengenai pelapisan produk pangan dengan teknik *edible coating/film* telah banyak dilakukan dan memang telah terbukti dapat memperpanjang masa simpan dan memperbaiki kualitas produk. Pengembangan edible film berbasis antimikroba (Gambar 12) juga menjadi salah satu alternatif yang banyak dikembangkan. Hampir sama seperti edible film pada umumnya, edible film berbasis antimikroba ini juga berpotensi untuk mencegah kontaminasi patogen pada berbagai bahan pangan yang memiliki jaringan (daging, buah-buahan, dan sayuran). Kombinasi antimikroba dengan pengemas film untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba

pada makanan dapat memperpanjang masa simpan dan memperbaiki mutu pangan<sup>10</sup>.

Adapun jenis bahan antimikroba yang dapat ditambahkan ke dalam suatu matriks *edible coating/film* antara lain adalah minyak atsiri, rempah-rempah dalam bentuk bubuk atau oleoresin, kitosan, dan bakteriosin seperti nisin. Bahan antimikroba dari senyawa kimia antara lain adalah asam organik seperti asam laktat, asetat, malat, dan sitrat, serta sistem laktoperoksidase yang merupakan antimikroba alami yang terdapat dalam susu dan saliva dari mamalia. Keuntungan penambahan bahan aktif antimikroba ke dalam edible coating adalah a) Meningkatkan masa simpan produk makanan,

- b) Sifat penghalang yang berasal dari lapisan film yang diperkuat dengan komponen aktif antimikroba dapat menghambat bakteri pembusuk dan mengurangi risiko kesehatan
- c) Penggunaan bahan antimikroba dari bahan alami juga lebih aman dibanding bahan antimikroba sintetis.



Gambar 12. Contoh edible film berbasis antimikroba  
(sumber: <https://www.bebeja.com/>)

---

<sup>10</sup> Antimikroba Berbasis Pati and Christina Winarti, "Teknologi Produksi Dan Aplikasi Pengemas," *J. Litbang Pert.* V 31, no. 3 (2012): 85–93.

## E.2. Active packaging

Saat ini, perkembangan teknologi kemasan pangan terus meningkat sebagai respon terhadap kebutuhan konsumen maupun tren di industri pangan. Industri pangan senantiasa berusaha untuk menggunakan sedikit bahan pengawet, menjaga produk makanan agar tetap segar, mengupayakan untuk memperpanjang umur simpan produk pangan, dan menjaga kualitas dari produk pangan yang dihasilkan. Selain itu, adanya perkembangan zaman yang menyebabkan terjadinya perubahan gaya hidup konsumen juga menjadi tantangan bagi industri kemasan pangan untuk melakukan berbagai inovasi pada kemasan pangan. Upaya untuk menghasilkan kemasan pangan yang dapat memperpanjang umur simpan dengan tetap dapat mempertahankan dan memonitor keamanan, serta kualitas pangan terus dilakukan.

Pada beberapa tahun terakhir, salah satu inovasi dalam industri bidang kemasan pangan adalah diperkenalkannya sistem pengemasan aktif (*active packaging system*). Berbeda dengan konsep keamanan kemasan tradisional dimana kemasan yang dibuat akan diusahakan untuk meminimalkan interaksi yang terjadi antara pangan dengan kemasan dan sedapat mungkin bersifat *inert* (tidak ada reaksi yang terjadi), kemasan aktif justru memanfaatkan interaksi antara produk pangan dengan kemasan yang membungkus produk pangan tersebut. Penggunaan kemasan aktif bertujuan untuk memperpanjang masa simpan pangan (*shelf life*) dan tetap menjaga atau bahkan meningkatkan kualitas pangan yang dikemas.

Saat ini, permintaan konsumen terhadap kemasan bahan pangan adalah teknik pengemasan yang ramah lingkungan, produk-produk yang lebih alami dan kemasan

maupun produk yang tidak menggunakan bahan pengawet. Berbagai industri di bidang pengolahan pangan juga terus berusaha untuk meningkatkan/memperpanjang masa simpan, kualitas produk makanan, serta keamanan dari produk. Adapun teknologi pengemasan bahan pangan yang modern saat ini mencakup pengemasan aktif (*Active Packaging*), pengemasan atmosfer termodifikasi (*Modified Atmosfer Packaging/ MAP*), dan *Intelligent Packaging*. Ketiga teknik pengemasan ini memiliki tujuan yang sama yaitu bertujuan untuk menjaga, mempertahankan, bahkan meningkatkan keamanan dan mutu bahan semaksimal mungkin.

*Active packaging* adalah kemasan yang dirancang agar dapat memperpanjang umur simpan (*shelf-life*), mempertahankan atau meningkatkan kondisi pangan yang dikemas. Konsep dasar pada teknologi pengemasan ini adalah dengan menambahkan suatu komponen tertentu ke dalam sistem kemasan yang dibuat yang memiliki kemampuan dapat melepaskan atau menyerap zat – zat tertentu dari atau ke dalam pangan yang dikemas atau lingkungan di sekitarnya. Pengembangan kemasan ini diharapkan untuk menyebabkan terjadinya perubahan komposisi dan karakteristik organoleptik. Suatu bahan aktif (*active agent*) dapat ditambahkan ke dalam bahan kemasan atau ke dalam permukaan kemasan di dalam struktur multilayer atau dalam elemen khusus yang dimasukkan ke dalam kemasan seperti sachet, label atau tutup botol. Bahan-bahan aktif yang dapat ditambahkan beragam jenisnya, dapat berupa asam organik, suatu enzim, bakteriosin, fungisida, ekstrak alami, ion, etanol, dan sebagainya. Bahan aktif (*active agent*) dapat ditempatkan di luar kemasan primer, di antara beberapa bagian kemasan

primer atau di dalam kemasan primer atau dicampurkan dalam matriks film pengemas.

*Active packaging* merupakan sistem pengemasan yang memiliki agen antioksidan maupun antibakteri di dalamnya. *Active packaging* dapat pula didefinisikan sebagai kemasan yang dapat mengubah kondisi dalam makanan kemasan untuk memperpanjang waktu penyimpanan, menjaga keamanan, dan sifat sensori dengan tetap mempertahankan kualitas produk makanan kemasan. Pengemas makanan yang dibuat dengan melakukan penambahan suatu antioksidan (*antioxidant packaging*) ataupun antibakteri (*antimicrobial packaging*) merupakan salah satu teknologi *active packaging* yang banyak digunakan saat ini. Teknologi *antioxidant packaging* didasarkan pada penambahan antioksidan ke dalam film pengemas agar dapat menjaga kualitas produk makanan yang mudah mengalami kerusakan seperti oksidasi lipid. Sedangkan teknologi *antimicrobial packaging* didasarkan pada pengembanan suatu zat aktif yang memiliki aktivitas antibakteri agar makanan dapat terlindungi dari kontaminasi lingkungan.

Saat ini, *active packaging* menjadi salah satu sistem pengemasan yang menjanjikan karena memiliki kemampuan untuk melindungi kualitas dan keamanan produk pangan. Pada sistem pengemasan aktif (*active packaging*), adanya interaksi antara kemasan aktif dengan pangan dan/atau lingkungan di sekitar pangan yang sengaja dilakukan untuk memunculkan tantangan baru bagi para peneliti agar terus berusaha mengkaji lebih dalam dan lebih teliti, serta mengevaluasi keamanan dari kemasan tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan mempelajari proses migrasi dari zat-zat penyusun (zat aktif) dari kemasan/film yang dibuat ke dalam pangan, mengkaji mekanisme pelepasan zat aktif

dari film pengemas, juga mempelajari ketidakefektifan dari kerja kemasan aktif.

Adapun beberapa fungsi yang diharapkan dari kemasan aktif saat ini adalah :

- Mempertahankan integritas dan mencegah secara aktif kerusakan produk (memperpanjang umur simpan),
- Meningkatkan atribut produk (penampilan, rasa, flavor, dan lain-lain),
- Memberikan respon secara aktif terhadap perubahan produk atau lingkungan kemasan,
- Mengkomunikasikan informasi produk, riwayat produk (*product history*) atau kondisi untuk penggunaannya,
- Memudahkan dalam menggunakan kemasan

Menurut Majid *et al.* (2016), teknik active packaging (pengemasan aktif) dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

a) Absorpsi (penyerapan)

Absorpsi (penyerapan) merupakan sistem penghilangan komponen-komponen yang tidak diinginkan seperti oksigen, karbondioksida, etilen, kelebihan air, serta komponen spesifik lain.

b) *Releasing systems* (sistem pelepasan)

Pada sistem pelepasan (*releasing system*), komponen aktif seperti agen antioksidan, agen antibakteri, dan pengawet sengaja ditambahkan ke dalam kemasan makanan.

c) Sistem lain.

Sistem lain dalam *active packaging*, dapat digunakan *heating, cooling*, dan pengawetan.



Gambar 13. Agen aktif untuk pengembangan active packaging (pengemas aktif)<sup>11</sup>

### ***Apa yang dimaksud dengan Pengemasan Atmosfer Termodifikasi (MAP)?***

Pengemasan atmosfer termodifikasi (MAP) merupakan salah satu teknik pengemasan produk pangan dengan menggunakan suatu bahan kemasan yang memiliki kemampuan untuk menahan keluar masuknya gas. Hal ini akan mengakibatkan beberapa hal, yaitu:

- a) Konsentrasi gas di dalam kemasan berubah
- b) Menyebabkan laju respirasi produk menurun
- c) Mengurangi pertumbuhan mikrobia,
- d) Mengurangi kerusakan oleh enzim
- e) Memperpanjang umur simpan.

Teknik pengemasan atmosfer termodifikasi (MAP) banyak digunakan dalam teknologi yang pengolahannya dilakukan secara minimal seperti buah-buahan, sayuran segar, dan bahan-bahan pangan yang siap santap (*ready-to eat*). Saat ini, teknik pengemasan atmosfer termodifikasi (MAP) telah berkembang dengan sangat pesat, hal ini

<sup>11</sup> Carla Vilela et al., "Trends in Food Science & Technology A Concise Guide to Active Agents for Active Food Packaging," *Trends in Food Science & Technology* 80, no. August (2018): 212–222, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.006>.

didorong oleh kemajuan fabrikasi film kemasan yang dapat menghasilkan kemasan dengan permeabilitas gas yang luas serta tersedianya penjerap untuk oksigen (O<sub>2</sub>), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), etilen dan air.

Para ahli pengemasan sering menganggap bahwa teknik pengemasan atmosfer termodifikasi (MAP) merupakan satu dari bentuk teknik pengemasan aktif (*active packaging*). Hal ini disebabkan oleh banyaknya metode pengemasan aktif (*active packaging*) juga memodifikasi komposisi udara di dalam kemasan bahan pangan. Ide penggunaan teknik pengemasan aktif (*active packaging*) bukanlah hal yang baru, tetapi keuntungan dari segi mutu dan nilai ekonomi dari teknik ini merupakan perkembangan terbaru dalam industri kemasan bahan pangan. Adapun keuntungan dari teknik kemasan aktif, antara lain:

- a) Tidak mahal (relatif terhadap harga produk yang dikemas),
- b) Ramah lingkungan,
- c) Mempunyai nilai estetika yang dapat diterima
- d) Sesuai untuk sistem distribusi.

### ***Apa yang dimaksud dengan Intelligent Packaging?***

Pada beberapa tahun terakhir ini, salah satu teknik pengemasan yang berkembang dan cukup inovatif dalam kemasan pangan adalah teknik pengemasan cerdas (*intelligent packaging*). Teknik pengemasan cerdas ini dirancang dengan tujuan untuk memonitor kondisi pangan yang dikemas ataupun memonitor kondisi lingkungan di sekeliling suatu produk pangan. Sistem kemasan cerdas mampu menjalankan beberapa fungsi dengan cerdas seperti melakukan penginderaan, mendeteksi, melacak, merekam dan mengkomunikasikan kualitas atau kondisi pangan sepanjang



rantai pangan (termasuk selama transportasi dan penyimpanan).

Berbeda dengan kemasan “konvensional” pada umumnya dimana kemasan konvensional hanya dapat memberikan informasi tentang produk itu sendiri (seperti produsen, tanggal kadaluarsa, komposisi), kemasan cerdas ini dapat menginformasikan perubahan yang terjadi pada produk atau lingkungannya, seperti suhu, pH, dan pertumbuhan mikroba). Oleh karena itu, konsumen benar-benar dapat mengetahui kondisi produk pangan yang mereka beli.

Fungsi cerdas dari kemasan ini dapat diperoleh dari adanya indikator, sensor, atau peralatan yang mampu memberikan informasi dalam sistem kemasan. Indikator-indikator ini dapat memberikan informasi mengenai perubahan yang terjadi di dalam produk atau lingkungan sekitar produk (seperti suhu, pH) melalui perubahan visual. Indikator yang diaplikasikan pada kemasan pangan antara lain *time-temperature indicator*, indikator gas oksigen, indikator karbondioksida, dan indikator kesegaran. Sedangkan biosensor merupakan peralatan yang mampu mendeteksi, merekam, dan mentransfer informasi tentang reaksi biologis yang terjadi dalam kemasan dengan ketelitian yang tinggi.

Teknik kemasan cerdas (*intelligent packaging*) ini dapat dibedakan menjadi dua<sup>12</sup>, yaitu:

- a) Indikator eksternal merupakan indikator yang dapat mengukur kondisi kemasan pada bagian luar  
Contoh: *Time-Temperatur Indicator* (TTI) dan indikator pertumbuhan mikroba

---

<sup>12</sup> Simran Kaur and Divya Puri, “Active and Intelligent Packaging : A Boon to Food Packaging,” *International Journal of Food Science and Nutrition* 2, no. 4 (2017): 15–18.

- b) Indikator internal merupakan indikator yang dapat secara langsung mengukur kualitas produk di dalam kemasan.

Contoh: indikator karbondioksida, indikator oksigen, indikator pertumbuhan mikroorganisme atau indikator kesegaran, dan indikator patogen

### **Pengemasan kategori absorpsi (penyerapan)**

#### ***Penjerap Oksigen (Oxygen Absorber)***

Sistem pengemas berbasis penjerap oksigen dipasarkan pertama sekali di negara Jepang pada tahun 1977. Pengemas yang dikembangkan berupa penjerap dalam bentuk besi yang dimasukkan ke dalam kantung (*sachet*). Sejak saat itu, berbagai model desain dan aplikasi dari pengemas berbasis penjerap oksigen ini terus berkembang.

Pengemas dengan kemampuan menjerap oksigen ini umumnya digunakan untuk menyerap oksigen pada produk pangan seperti hamburger, pasta segar, mie, kentang goreng, daging asap (sliced ham dan sosis), cakes dan roti dengan umur simpan panjang, kacang-kacangan, kopi, dan rempah-rempah. Penggunaan suatu kantung untuk menjerap oksigen tentunya akan memberikan keuntungan terutama untuk produk-produk yang sangat sensitif terhadap oksigen dan cahaya seperti produk bakery dan pizza, daging yang dimasak dimana adanya pertumbuhan jamur dan perubahan warna merupakan masalah utamanya. Berdasarkan pada Gambar 13, beberapa agen aktif yang dapat digunakan sebagai penjerap oksigen antara lain besi, palladium, asam askorbat, pirogalol, asam galat, glukosa oksidase, dan lakase<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Vilela et al., "Trends in Food Science & Technology A Concise Guide to Active Agents for Active Food Packaging."

Adanya kandungan oksigen yang tinggi dalam suatu produk pangan yang dikemas akan sangat berpengaruh terhadap lamanya waktu penyimpanan dari produk pangan tersebut. Seperti yang kita ketahui, gas oksigen sendiri merupakan senyawa yang sangat berperan dalam proses terjadinya oksidasi komponen pangan terutama pada pangan berlemak dan meningkatkan pertumbuhan mikroba yang dapat mengakibatkan menurunnya mutu pangan seperti perubahan rasa, warna, dan kehilangan nutrient sehingga umur simpannya menjadi lebih pendek.

Untuk meminimalkan penurunan mutu pada produk – produk yang sensitif terhadap oksigen ialah dengan menggunakan suatu sistem penjerap oksigen yang dapat menghilangkan residu oksigen setelah pengemasan dilakukan. Penjerap oksigen dapat digunakan sendiri maupun dikombinasikan dengan *modified atmosphere packaging* (MAP) atau kemasan vakum. Penggunaan penjerap oksigen dengan MAP juga dapat dikombinasikan. Selanjutnya, kemasan vakum dapat menyebabkan peningkatan laju penghilangan oksigen di *headspace* kemasan atau yang terlarut dalam pangan. Bahkan saat ini, terdapat beberapa produsen penjerap oksigen mengklaim bahwa produknya dapat menurunkan residu oksigen sampai kurang dari 0,01 %.

Tabel 1 Perusahaan dan nama dagang penjerap oksigen

| Perusahaan                         | Negara    | Nama Dagang        |
|------------------------------------|-----------|--------------------|
| Mitsubishi Gas Chemical Co.,Ltd.   | Jepang    | Ageless            |
| Toppan Printing Co.,Ltd.           | Jepang    | Freshlizer         |
| Toagosei Chemical Industry Co.,Ltd | Jepang    | Vitalon            |
| Nippon Soda Co.,Ltd.               | Jepang    | Seagul             |
| Finetec Co.,Ltd.                   | Jepang    | Sanso-Cut          |
| Multisorb Technologies Co.,Ltd.    | USA       | FreshMax, FreshPax |
| Standa Industrie                   | Perancis  | ATCO               |
| Bioka Ltd.                         | Finlandia | Bioka              |

(Sumber: Biji et al., 2015<sup>14</sup>)

---

<sup>14</sup> K B Biji, C N Ravishankar, and C O Mohan, “Smart Packaging Systems for Food Applications : A Review,” *Journal of Food Sci Technol* 52, no. October (2015): 6125–6135.

Keuntungan utama dalam penggunaan suatu penjerap oksigen hampir sama dengan keuntungan dari MAP yaitu dapat menurunkan kadar oksigen pada tingkat yang sangat rendah (*ultra-low level*). Konsentrasi oksigen yang tinggi di dalam kemasan dapat menyebabkan meningkatnya pertumbuhan mikroorganisme, menurunkan nilai gizi bahan pangan, menurunkan nilai sensori (bau, rasa dan warna) serta mempercepat terjadinya proses reaksi oksidasi lemak yang menyebabkan ketengikan pada bahan pangan berlemak<sup>15</sup>. Keuntungan lain dari penggunaan penjerap oksigen adalah biayanya lebih murah dibandingkan biaya pengemasan menggunakan gas.

Sampai saat ini, penjerap oksigen merupakan salah satu jenis *active packaging* yang paling komersial dan banyak digunakan. Perkembangan awal dari sistem penjerap oksigen adalah berupa label atau sachet yang dimasukkan ke dalam kemasan. Perkembangan selanjutnya adalah pengembangan sistem ini didesain dengan cara penambahan agen penjerap oksigen ke dalam bahan kemasan itu sendiri, menggunakan sistem baik berupa sistem monolayer maupun multilayer atau liner tutup botol. Bahan untuk penjerap oksigen biasanya merupakan bahan yang dapat bereaksi dengan oksigen untuk mengurangi konsentrasi oksigen. Serbuk besi merupakan penjerap yang paling umum digunakan. Teknologi penjerap oksigen lainnya antara lain menggunakan mekanisme oksidasi asam askorbat, oksidasi enzimatis (contoh glukosa oksidase dan alkohol oksidase).

---

<sup>15</sup> Majid et al., "Novel Food Packaging Technologies : Innovations and Future Prospective."



Gambar 14. Penjerap oksigen berbentuk label (Widiastuti, 2016 )



Gambar 15. Penjerap oksigen berbentuk lab (Widiastuti, 2016 )

### ***Penjerap Kelembaban (Moisture Absorber)***

Kandungan air yang berlebih dalam kemasan pada produk dengan *water activity* tinggi, seperti produk daging dan ayam akan menyebabkan pertumbuhan bakteri dan jamur. Kandungan air yang tinggi ini akan menyebabkan penurunan mutu produk dan memperpendek masa simpan suatu produk pangan. Mengontrol kelembaban yang berlebihan dalam suatu produk pangan dalam kemasan

merupakan hal yang penting untuk menghambat pertumbuhan mikroba dan meningkatkan tampilan dan kesegaran dari pangan tersebut. Salah satu cara yang efektif untuk mengontrol kelembaban adalah dengan menggunakan penjerap kelembaban.

Lapisan penjerap untuk uap air (*Drip-absorber pad*) biasanya digunakan untuk pengemasan daging dan ayam dimana lapisan terdiri atas granula-granula polimer superabsorbent di antara dua lapisan polimer mikroporous atau non-woven. Absorber ini akan menyerap air dan mencegah terjadinya perubahan warna dari produk pangan dan kemasan. Polimer yang paling banyak digunakan untuk menyerap air antara lain, garam poliakrilat dan kopolimer dari pati. Polimer superabsorben memiliki kemampuan untuk menyerap 100-500 kali dari beratnya sendiri. Alat yang sama dengan skala yang lebih besar digunakan untuk menyerap lelehan es pada proses transportasi ikan segar maupun hasil laut lain melalui jalur udara. Bahan – bahan lain yang digunakan sebagai penjerap kelembaban adalah propilenglikol (berbentuk film), silika gel (dalam bentuk sachet), dan tanah liat (yang berbentuk sachet).



Penjerap kelembaban dalam bentuk pad



Silika gel

Gambar 16. Penjerap kelembaban (Widiastuti, 2016 )

### **Pelepas Karbon Dioksida (*Carbon Dioxide Emitter*)**

Salah satu jenis kemasan aktif lainnya yang memiliki efek antimikroba adalah kemasan dengan pelepas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Adanya peningkatan kadar karbondioksida biasanya pada kisaran 10 – 80 % dalam suatu kemasan bertujuan untuk melepaskan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sehingga proses pengawetan dapat terjadi terutama pada produk pangan seperti unggas dan daging.



Gambar 17. Pelepas karbondioksida (Widiastuti, 2016 )

Selama ini karbondioksida diketahui dapat menekan pertumbuhan mikroba pada permukaan suatu produk pangan secara efisien sehingga dapat memperpanjang umur simpan produk. Jenis kemasan aktif ini biasanya dikaitkan dengan sistem MAP (*Modified Atmosphere Packaging*) untuk menyeimbangkan hilangnya kandungan CO<sub>2</sub> karena proses pelarutan ke dalam daging dan permeasi melalui bahan kemasan. Berdasarkan pada Gambar 13, beberapa agen aktif yang dapat digunakan sebagai pelepas karbondioksida antara lain sodium bikarbonat, asam sitrat, dan besi karbonat.

### **Penjerap Etilen (*Ethylene Absorber*)**

Etilen adalah hormon tanaman yang dihasilkan selama pematangan buah dan sayuran. Etilen dapat memberikan pengaruh yang negatif terhadap produk segar, karena etilen akan mempercepat proses pematangan pada produk seperti pisang dan tomat, sehingga produk menjadi cepat busuk, tetapi jika digunakan pada produk seperti



jeruk, maka dapat menghilangkan warna hijau (degreening) sehingga dihasilkan jeruk dengan warna kuning yang merata, dan penampilannya lebih baik. Secara umum, etilen merupakan bahan yang tidak diinginkan untuk penyimpanan produk segar, sehingga etilen harus disingkirkan dari lingkungan penyimpanan, hal ini disebabkan karena dalam jumlah sedikit sudah dapat menurunkan mutu dan masa simpan produk dan dapat meningkatkan laju respirasi sehingga akan mempercepat pelunakan jaringan dan kebusukan buah. Selain itu etilen dapat mempercepat degradasi klorofil yang kemudian akan menyebabkan kerusakan kerusakan pasca panen lainnya.

Penyerap etilen yang dapat digunakan adalah potasium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ), karbon aktif dan mineral-mineral lain, yang dimasukkan ke dalam sachet. Bahan yang paling banyak digunakan adalah kalium permanganat yang diserapkan pada silika gel. Permanganat akan mengoksidasi etilen membentuk etanol dan asetat. Bahan penyerap etilen ini mengandung 5%  $\text{KMnO}_4$  dan dimasukkan ke dalam sachet untuk mencegah keluarnya  $\text{KMnO}_4$  karena  $\text{KMnO}_4$  bersifat racun. Jenis penyerap etilen lainnya adalah :

- Penyerap berbentuk katalis logam seperti palladium yang dijerapkan pada karbon aktif. Etilen diserap dan kemudian diuraikan dengan menggunakan katalis
- Karbon aktif yang mengandung bromin, tetapi penggunaannya harus hati-hati karena dapat membentuk gas bromin jika sachet tersentuh dengan air.
- Mineral-mineral yang mempunyai kemampuan menyerap etilen seperti zeolit, tanah liat dan batu Oya dari Jepang, dilaporkan telah digunakan sejak ribuan tahun lalu untuk penyimpanan produk segar. Dari hasil penelitian diketahui

bahwa produk yang di kemas dalam kemasan PE yang di dalamnya terdapat

Beberapa jenis mineral memiliki masa simpan yang lebih panjang dibandingkan dengan yang dikemas tanpa mineral. Hal ini mungkin disebabkan oleh terbukanya pori-pori dari bahan polimer oleh mineral yang terdispersi sehingga terjadilah pertukaran gas di dalamnya.

- Kombinasi diena dan triena yang defisien elektron pada bahan kemasan. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi tetrazine yang bersifat hidrofilik dengan polimer polietilena yang bersifat hidrofobik dapat menurunkan konsentrasi etilen selama 48 jam. Tetrazine akan berubah warnanya jika sudah jenuh dengan etilen, sehingga dapat digunakan sebagai indikator. Berdasarkan pada Gambar 13, beberapa agen aktif yang dapat digunakan sebagai penyerap etilena antara lain  $\text{KMnO}_4$ , oksida-oksida logam, karbon aktif, dan titanium dioksida.

### **Kemasan Antimikroba (*Antimicrobial Packaging*)**

Produk-produk pangan seperti daging, ikan, dan unggas dapat menjadi media yang sangat cocok bagi pertumbuhan berbagai mikroorganisme. Pertumbuhan mikroba tentunya akan mempercepat perubahan aroma, warna dan tekstur dari pangan. Hal ini akan mengakibatkan penurunan umur simpan dan peningkatan risiko terjadinya keracunan makanan. Oleh karena itu, penggunaan kemasan antimikroba dapat memperpanjang umur simpan dan mempertahankan mutu dan keamanan pangan. Kemasan antimikroba dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu

- a) Kemasan yang mengandung bahan/senyawa antimikroba dan memiliki kemampuan bermigrasi ke

permukaan pangan sehingga akan terjadi kontak dengan pangan

- b) Kemasan antimikroba yang efektif menghambat pertumbuhan mikroba di permukaan pangan

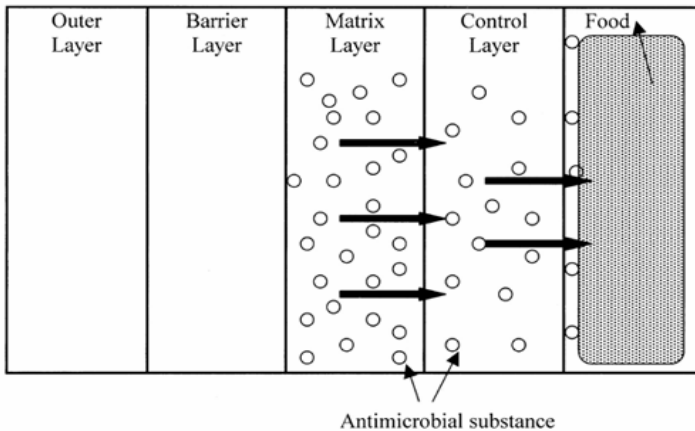
Beberapa jenis bahan antimikroba yang digunakan antara lain asam organik (asam propionat, asam sorbat, benzoat, dll), bakteriosin (nisin), antibiotik (Imazalil), fungisida/antijamur (Benomyl), ekstrak rempah (Thymol, p-cymene), enzim (lysozyme), protein (Conalbumin), paraben (heptilparaben), dan logam (perak). Bahan kemasan dapat dilapiskan, diinkorporasi, diimobilisasi, atau permukaan termodifikasi pada bahan kemasan. Kemasan antimikroba dapat dikatakan kurang sukses secara komersial, berbeda halnya dengan bahan antimikroba yang berbasis perak. Yang terbilang sukses secara komersial.

Pada dasarnya, suatu antimikroba yang dicampurkan atau diberikan pada permukaan bahan pangan akan memperpanjang umur simpan bahan pangan tersebut. Penambahan antimikroba dapat dilakukan dengan cara mencampurkannya ke dalam bahan kemasan. Selanjutnya, dalam jumlah kecil zat aktif antimikroba akan bermigrasi ke dalam bahan pangan. Cara ini efektif diberikan pada kemasan vakum karena bahan kemasan dapat bersentuhan langsung dengan permukaan pangan. Kemasan film atau coating antimikroba mempunyai kelebihan yaitu dapat lebih melindungi produk karena dapat mematikan secara langsung pada saat mikroba kontak dengan bahan kemasan. Suatu agen aktif yang memiliki aktivitas antimikroba dapat bersifat bakterisidal (membunuh bakteri), bakteristatik (menghambat pertumbuhan bakteri), fungisidal (membunuh kapang), fungistatik (menghambat pertumbuhan kapang), dan germisidal (menghambat

germinasi spora bakteri). Adapun ilustrasi dari struktur suatu kemasan antimikroba dapat dilihat pada Gambar 18.

Mekanisme senyawa antimikroba dalam menghambat pertumbuhan bakteri ada beberapa cara yaitu :

- Merusak struktur dinding sel dengan cara menghambat proses pembentukan dinding sel atau menyebabkan lisis pada dinding sel yang sudah terbentuk.
- Mengubah permeabilitas membran sitoplasma, membran sitoplasma yang rusak akan menyebabkan pertumbuhan sel terhambat atau bahkan mati.
- Menyebabkan protein terdenaturasi.
- Menghambat kerja enzim di dalam sel dan mengganggu metabolisme sel.



Gambar 18. Struktur multi-layer pada suatu kemasan antimikroba (Sumber: Koontz, 2006 )

### ***Releasing systems (sistem pelepasan)***

Sistem pengemasan aktif, terkontrol, dan cerdas telah mengalami pertumbuhan yang sangat eksplosif di Amerika Serikat. Negara-negara di luar Amerika Serikat juga mengalami pertumbuhan yang hampir mirip yaitu dengan

tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata sebesar 11,3% sampai 2008<sup>16</sup>. Selama dekade terakhir, kemasan aktif memiliki mengalami pertumbuhan dan perubahan yang signifikan karena inovasi telah menantang para perusahaan untuk mengembangkan kemasan yang aman bagi produk makanan dan minuman tradisional.

Kemasan berbasis polimer untuk suatu produk makanan dapat dijadikan sebagai matriks dimana bahan aktif dilepaskan secara terkontrol ke dalam produk makanan. Sistem pelepasan terkontrol dari suatu bahan aktif adalah salah satu inovasi yang dapat dikategorikan dalam bidang kemasan aktif. Pengemas dengan sistem pelepasan pengawet berupa antimikroba, pelepas antioksidan, penyedap rasa dan penghasil aroma adalah contoh sistem pengemasan aktif dengan tujuan untuk pengawetan dan memperpanjang umur simpan dari suatu produk makanan, serta meningkatkan kualitasnya.

Pada tahun 1960-an, konsep modern tentang pemberian obat dimulai dengan penelitian untuk meningkatkan efektivitas kinerja obat dengan cara penargetan khusus dan pengiriman, serta pelepasan tepat waktu dari suatu senyawa aktif. Hal ini bertujuan untuk mengontrol konsentrasi dari zat aktif dalam durasi yang lebih lama. Selanjutnya, pengembangan dan penelitian yang signifikan mengenai penggabungan senyawa aktif dalam kemasan makanan dan pelepasan terkontrol ke dalam produk kemasan dimulai dengan sungguh-sungguh pada tahun 1990-an.

Suatu kemasan dengan sistem pelepasan terkontrol sangat cocok untuk mengendalikan proses degradasi

---

<sup>16</sup> John L Koontz and Virginia Tech, "Special Delivery : Controlled Release of Active Ingredients from Food and Beverage Packaging," *Italian Packaging Technology Award (IPTA) Paper Competition*, no. February (2006).

makanan akibat dari reaksi yang berkelanjutan, seperti pertumbuhan mikroba dan oksidasi lipid. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan senyawa aktif secara konstan dan terus-menerus sehingga dapat menjaga keamanan dan kualitas produk pangan. Pelepasan terkontrol dapat didefinisikan sebagai proses dimana satu atau lebih bahan aktif disediakan pada tempat dan waktu yang diinginkan dengan jumlah/konsentrasi tertentu.<sup>17</sup> Pelepasan terkontrol memiliki beberapa keuntungan berikut:

- (a) Bahan aktif yang dilepaskan akan selalu terkontrol selama periode waktu yang lama,
- (b) Kehilangan kandungan bahan aktif selama proses memasak produk pangan dapat dihindari atau dibatasi karena adanya peningkatan stabilitas
- (c) Komponen-komponen yang bersifat reaktif dan tidak kompatibel dapat dipisahkan

Profil pelepasan dari suatu sistem pelepasan terkontrol dapat biasanya akan mengikuti kinetika pelepasan orde nol dan pelepasan orde pertama. Pelepasan orde nol merupakan profil pelepasan paling sederhana dimana laju pelepasan zat aktifnya konstan atau tetap. Pada kinetika pelepasan orde pertama, tingkat pelepasan dari zat aktif akan sebanding dengan massa zat aktif yang terkandung di dalam suatu film pengemas. Konsentrasinya akan menurun secara eksponensial terhadap waktu .

Dalam pengembangan suatu pengemas aktif, terdapat dua model pelepasan yang paling sering digunakan, yaitu:

---

<sup>17</sup> Ibid.

- a) *Controlled release* merupakan teknik dimana melepaskan obat/zat aktif secara konstan sehingga memberikan konsentrasi obat/zat aktif dalam plasma tetap setiap waktu. Sistem pemberian dari obat dilakukan dengan laju yang telah ditentukan untuk jangka panjang.
- b) *Sustained release* merupakan teknik pelepasan obat/ zat aktif yang menunjukkan proses pelepasan terhambat, berkepanjangan atau pelepasan lambat untuk jangka waktu lama. Sistem pelepasan berkelanjutan hanya memperpanjang terapi obat untuk jangka waktu lama.

Pengemasan suatu antioksidan sebagai bahan aktif ke dalam pengemas menjadi solusi yang lebih efektif dibandingkan penambahan suatu zat aktif ke dalam makanan secara langsung. Pada suatu pengemas antioksidan (*antioxidant packaging*), Pengemasan suatu antioksidan ke dalam pengemas akan membutuhkan jumlah antioksidan yang lebih sedikit dan pelepasan antioksidan yang digunakan juga dapat dikontrol. Selain itu, aktivitas pencegahan terjadinya oksidasi lipid akan dapat difokuskan pada permukaan produk makanan .

Pengemas makanan yang dibuat dengan melakukan penambahan suatu antioksidan ataupun antibakteri (*antioxidant packaging*) merupakan salah satu teknologi *active packaging* yang banyak digunakan saat ini. Teknologi *antioxidant packaging* didasarkan pada penambahan antioksidan ke dalam film pengemas agar dapat menjaga kualitas produk makanan yang mudah mengalami kerusakan seperti oksidasi lipid.

Beberapa dekade terakhir ini, penggunaan polimer sintetik sebagai bahan kemasan untuk produk makanan telah meningkat pesat. Hal ini disebabkan oleh kemampuan dari polimer sintetik yang lebih baik dibandingkan bahan tradisional lainnya, seperti logam, kaca, dan karton.

Penelitian mengenai pengembanan suatu zat antioksidan ke dalam matriks film pengemas telah banyak dilakukan. Penambahan antioksidan seperti BHT (*butylated hydroxytoluene*) ke dalam LDPE (*low-density polyethylene*) telah dilakukan oleh Rreola et al. pada tahun 2007<sup>18</sup>. Dari penelitian ini dilaporkan bahwa penambahan antioksidan ini dapat meningkatkan waktu penyimpanan dan mampu menurunkan laju terjadinya oksidasi lipid. Penggunaan BHA (*butylated hydroxyanisole*) dan BHT (*butylated hydroxytoluene*) sebagai antioksidan memang telah banyak dilakukan. Namun, keduanya merupakan antioksidan sintesis sehingga dianggap berbahaya karena bersifat toksik dan juga berpotensi memiliki sifat karsinogenik . Oleh karena itu, penggunaan antioksidan alami seperti ekstrak tanaman menjadi solusi tepat dan dianggap lebih aman untuk dikembangkan.

Selanjutnya, Penelitian mengenai antioxidant packaging juga telah dilakukan dan dikembangkan oleh Peng et al. (2013)<sup>19</sup>. Pada penelitian Peng et al. (2013), dia telah mengembangkan film komposit dari kitosan dengan menggunakan ekstrak teh sebagai antioksidan. Ekstrak teh yang digunakan berupa ekstrak teh hijau dan teh hitam. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan ekstrak teh akan meningkatkan aktivitas antioksidan dari film dilihat dari nilai radical scavenging activity (RSA)

---

<sup>18</sup> W Ilfrido T Orres Rreola et al., “Effect of a Low-Density Polyethylene Film Containing Butylated Hydroxytoluene on Lipid Oxidation and Protein Quality of Sierra Fish ( *Scomberomorus Sierra* ) Muscle during Frozen Storage” (2007): 6140–6146.

<sup>19</sup> Yong Peng, Yan Wu, and Yunfei Li, “International Journal of Biological Macromolecules Development of Tea Extracts and Chitosan Composite Films for Active Packaging Materials,” *International Journal of Biological Macromolecules* 59 (2013): 282–289, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.019>.



DPPH yang mencapai 100%. Peningkatan konsentrasi ekstrak teh akan meningkatkan laju pelepasan ekstrak dari film. Meskipun penelitian tersebut menunjukkan hasil yang cukup baik, namun dilihat dari sifat mekanik film yang dihasilkan masih tergolong kurang memuaskan. Penelitian menunjukkan bahwa sifat mekanik film menurun dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak sedangkan nilai permeabilitas uap air mengalami peningkatan. Sebelumnya, pengembangan antioxidant packaging ini dilakukan dengan menambahkan antioksidan sintetik seperti BHA (*butylated hydroxyanisole*) dan BHT (*butylated hydroxytoluene*). Rreola<sup>20</sup> et al. (2007) telah melakukan penambahan zat antioksidan BHT (*butylated hydroxytoluene*) ke dalam LDPE (*low-density polyethylene films*). Selanjutnya, dilakukan investigasi mengenai efek penambahan BHT ke dalam LDPE terhadap proses oksidasi lipid dan kualitas protein dari Sierra Fish (*Scomberomorus sierra*) selama proses penyimpanan. Penambahan BHT ini diketahui dapat meningkatkan waktu penyimpanan hingga 120 hari dan juga mampu menurunkan laju terjadinya oksidasi lipid secara signifikan dibandingkan dengan LDPE tanpa penambahan senyawa BHT.

Meskipun penggunaan BHT sebagai antioksidan memberikan hasil yang cukup memuaskan dalam hal mengatasi proses oksidasi lipid, namun senyawa BHT merupakan antioksidan sintetik. Penggunaan BHT ini dianggap berbahaya karena sifat toksik yang dimiliki dan juga diduga bersifat karsinogenik<sup>21</sup>. Oleh karena itu,

---

<sup>20</sup> Rreola et al., "Effect of a Low-Density Polyethylene Film Containing Butylated Hydroxytoluene on Lipid Oxidation and Protein Quality of Sierra Fish ( *Scomberomorus sierra* ) Muscle during Frozen Storage."

<sup>21</sup> Ubonrat Siripatrawan and Bruce R Harte, "Food Hydrocolloids Physical Properties and Antioxidant Activity of an Active Fi Lm from Chitosan

penggunaan antioksidan alami seperti ekstrak tanaman menjadi solusi tepat dan dianggap lebih aman. Penggunaan ekstrak alami seperti ekstrak teh hijau dan teh hitam dalam film komposit kitosan oleh Peng et al., (2013), ekstrak daun teh, ekstrak biji anggur, ekstrak jahe, dan ekstrak daun ginkgo dalam film gelatin oleh Li et al., (2014)<sup>22</sup> telah banyak dipelajari dan dikaji.

Penambahan ekstrak-ekstrak alami tersebut memang menunjukkan hasil yang baik jika ditinjau dari aktivitas antioksidan pada film komposit kitosan ataupun film gelatin yang dihasilkan. Namun, penggunaan ekstrak alami tersebut memerlukan kajian yang lanjut untuk mengetahui senyawa apa yang paling berperan sebagai antioksidan dalam ekstrak tersebut. Hal ini menyebabkan pengembangan antioxidant packaging mulai difokuskan pada penggunaan senyawa murni seperti  $\alpha$ -tokoferol, asam oleat, asam tanat, asam galat, carvacrol, dan eugenol.

### **Bagaimanakah keadaan pangsa pasar dari kemasan aktif (*active packaging*)?**

Beberapa tahun terakhir, penelitian dan pengembangan di bidang kemasan aktif (*active packaging*) dan kemasan cerdas (*intelligent packaging*) sangat dinamis. Awalnya, kemasan aktif dan kemasan cerdas pertama kali mulai dipasarkan di Jepang pada pertengahan 1970an. Selanjtnya, pada pertengahan tahun 1990an pengembangan kemasan aktif dan kemasan cerdas

---

Incorporated with Green Tea Extract,” *Food hydrocolloids* 24, no. 8 (2010): 770–775, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.003>.

<sup>22</sup> Jian-hua Li et al., “Food Hydrocolloids Preparation and Characterization of Active Gelatin-Based Films Incorporated with Natural Antioxidants,” *Food hydrocolloids* 37 (2014): 166–173, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.015>.

mulai mendapat perhatian dari industri di Uni Eropa dan Amerika Serikat.

Tren pangsa pasar global (*global market*) untuk sistem pengemasan yang canggih (*advanced*) seperti kemasan terkontrol (*controlled packaging*), termasuk di dalamnya kemasan aktif dan kemasan cerdas terus meningkat dari tahun ke tahun, diperkirakan sekitar \$ 31,4 milyar pada tahun 2011. Pada tahun 2012, angkanya mencapai \$ 33,3 milyar, dan diprediksi akan mencapai 44,3 milyar pada 2017<sup>23</sup>.

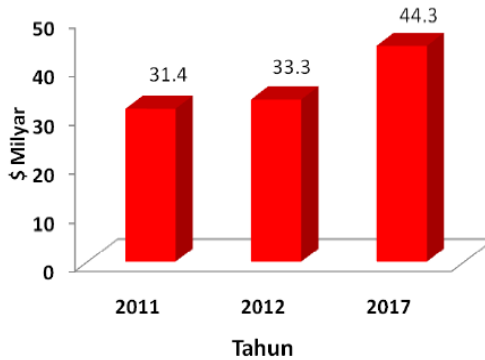
Di berbagai negara maju, penjerap kelembaban dan penjerap oksigen merupakan jenis kemasan aktif (*active packaging*) pertama yang dikembangkan dan sukses diaplikasikan untuk meningkatkan kualitas dari produk makanan dan memperpanjang umur simpan. Perkembangan selanjutnya mulai banyak bermunculan. Sejumlah konsep kemasan aktif dan kemasan cerdas seperti pelepas etanol (contoh untuk produk roti), penjerap etilen (contoh untuk buah-buahan musiman), dan time-temperature indicator, indikator oksigen, dll.

Meskipun kemasan aktif diketahui dapat menjaga kualitas dan memperpanjang umur simpan suatu produk makanan, pada kenyataannya berbagai pihak industri masih sering mempertanyakan efisiensi dari kemasan aktif. Ada beberapa paten yang menunjukkan efisien dalam uji *in-vitro* dan pada kondisi uji di laboratorium. Akan tetapi, saat digunakan dan diaplikasikan pada kondisi nyata, justru kemasan tersebut menggunakan aktivitas yang terbatas atau bahkan tidak ada aktivitas sama sekali. Hal ini dapat disebabkan oleh seringnya kondisi antara model dan produk pangan sebenarnya sangat

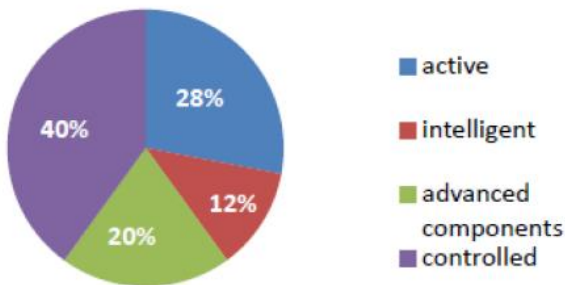
---

<sup>23</sup> D W I Retno Widiastuti, *KAJIAN KEMASAN PANGAN AKTIF DAN CERDAS ( ACTIVE AND INTELLIGENT FOOD PACKAGING )* (Indonesia, 2016).

berbeda. Sebagai contoh, adanya perbedaan jumlah bahan pangan yang dikemas, rasio dan distribusi bagian lemak dan non lemak, fluktuasi dan keanekaragaman parameter fisika dan kimia seperti *water activity*, pH, dll.<sup>24</sup>



Gambar 19. Grafik global market untuk system advanced packaging (kemasan aktif, controlled packaging, kemasan cerdas, dan komponen advanced packaging (Widiastuti, 2016 )



Gambar 20. Grafik pasar advance packaging (Widiastuti, 2016 )

---

<sup>24</sup> Ibid.

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa segmen pasar teknologi kemasan yang advanced pada tahun 2011 didominasi oleh *controlled packaging* yaitu sebesar 40%, *advanced component* sebesar 20%, dan untuk kemasan aktif sebesar 28%, dan kemasan cerdas sebesar 12 %. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan *antioxidant packaging* maupun *antimicrobial packaging* sangat dibutuhkan dan sangat diminati dalam menjaga kualitas produk pangan.

### **Lalu, bagaimanakah kondisi penggunaan kemasan aktif di Indonesia?**

Saat ini, kemasan aktif yang telah banyak beredar di masyarakat Indonesia adalah pengemas aktif dengan kemampuan menyerap oksigen dan penjerap. Pengemas aktif dengan kemampuan menyerap oksigen berbagai merk umumnya digunakan pada produk-produk berupa roti basah dan makanan kering. Berikut ini adalah beberapa produk pangan yang menggunakan penjerap oksigen (Gambar 21). Selain penjerap oksigen, di supermarket – supermarket banyak ditemukan produk daging atau unggas yang menggunakan penjerap kelembaban dalam bentuk pad (Gambar 23).



Gambar 21. Contoh produk pangan yang menggunakan penjerap oksigen (Widiastuti, 2016 )



Gambar 22. Contoh produk pangan yang menggunakan penjerap oksigen (Widiastuti, 2016 )



Gambar 23. Contoh produk pangan yang menggunakan penjerap kelembaban (Widiastuti, 2016 )

### **E.3. Pengujian Migrasi Kemasan**

Penggunaan kemasan dewasa ini cukup tinggi, mulai dari kemasan transport yang merupakan kemasan sekunder atau tersier pada saat pengangkutan atau transportasi, maupun kemasan primer atau kemasan pangan. Kemasan pangan disebut juga *Food Contact Material* (FCM) dimana merupakan suatu material atau article yang pada akhirnya akan kontak atau bersentuhan langsung dengan bahan makanan. Yang termasuk dalam FCM ini meliputi bahan kemasan, peralatan makan, mesin proses, container dll. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, kemasan pangan memiliki beberapa fungsi diantaranya :

- a) Melindungi makanan , baik perlindungan mekanik, kimia dan biologi
- b) Menjaga kualitas makanan selama penyimpanan.

Persyaratan dari kemasan pangan ini adalah kemasan dapat digunakan tanpa adanya pengaruh kontaminasi kemasan terhadap produk yang dikemas sehingga aman bagi

kesehatan manusia. Sesuai dengan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 24/M-IND/PER/2010, setiap kemasan pangan yang diperdagangkan di dalam negeri ataupun impor wajib mencantumkan logo tara pangan (*food grade*) dan kode daur ulang. Tujuan dari logo tara pangan adalah untuk menunjukkan kemasan yang dimaksud aman untuk mengemas pangan sehingga dapat melindungi konsumen dari efek bahaya makanan yang terkontaminasi yang berasal dari material dan artikel yang kontak dengan makan atau senyawa yang bermigrasi ke dalam makanan.



Gambar 24. Logo Tara Pangan (sumber: [www.jlppi.or.id](http://www.jlppi.or.id))



Gambar 25. Logo Daur Ulang (sumber: [www.jlppi.or.id](http://www.jlppi.or.id))



Migrasi merupakan suatu proses terjadinya perpindahan suatu zat dari kemasan pangan ke dalam makanan. Migrasi dapat memberikan dampak terhadap kualitas dan keamanan. Untuk kualitas, migrasi dapat menyebabkan terjadinya perubahan terhadap aroma, bau dan rasa dari produk yang dikemas. Sedangkan untuk keamanan, migrasi dapat terakumulasi dalam tubuh yang apabila dibiarkan dalam waktu yang lama dapat memberikan dampak terhadap kesehatan manusia. Migrasi yang terjadi pada suatu kemasan terbagi menjadi 2, yaitu :

### 1. Migrasi global

Migrasi global merupakan hasil perpindahan semua komponen dari suatu kemasan dimana perpindahan yang terjadi tidak dibedakan apakah komponen tersebut berbahaya atau tidak bagi kesehatan manusia. Sumber bahan, jenis senyawa dan zat yang bermigrasi dari suatu kemasan dapat berupa residu reaksi polimerisasi (monomer, katalis, pelarut dll), bahan-bahan tambahan (stabilizer, plasticizer, filler) serta logam-logam berat termigrasi ( Pb, Cd, Hg, Cr<sup>6+</sup>).

### 2. Migrasi spesifik

Berbeda dengan global migrasi, pada spesifik migrasi komponen yang berpindah dari suatu kemasan ke dalam produk sudah diketahui dan membahayakan bagi kesehatan manusia. Contoh dari spesifik migrasi ini adalah monomer-monomer dari kemasan seperti Monomer VCM (*Vinil Chloride Monomer*) pada Kemasan PVC (*Poly Vinil Chloride*) dan Monomer Stirena pada kemasan Polystirena.

Pengujian migrasi global dilakukan dengan mengkontakkan produk dengan simulan pangan. Simulan pangan adalah larutan yang dapat menyerupai aktivitas

pelepasan komponen dari pangan berair, asam, beralkohol dan berlemak. Simulan pangan digunakan sebagai pengganti pangan pada uji migrasi. Hal ini disebabkan oleh uji dengan menggunakan pangan langsung terkadang sulit dilakukan karena produk pangan merupakan matriks yang sangat kompleks. Metode yang dapat dilakukan untuk pengujian global migrasi diantaranya :

### 1. *Cell Migration*

Metode ini digunakan pada kemasan multilayer/multilapis, dimana kemasan tersebut terdiri dari beberapa layer. Kemasan digunting dengan ukuran sesuai dengan alat yang akan digunakan (Cell). Pada metode ini, bagian dalam kemasan yang akan dikontakkan dengan simulan pangan.

### 2. *Total Immersion* (Perendaman)

Metode total imersi ini merupakan metode yang digunakan pada kemasan *single layer* (lapisan tunggal), dimana sampel dipotong dengan ukuran sekitar 10x10 cm<sup>2</sup> yang kemudian direndam dalam larutan simulan.

### 3. *Article Filling*

Metode *Article Filling* merupakan metode dengan menuangkan langsung simulan ke dalam kemasan yang akan diuji.

Potensi migrasi akan meningkat seiring dengan meningkatnya lama kontak, suhu kontak, dan luas permukaan kontak. Apabila konsentrasi komponen aditif dalam bahan kemasan semakin tinggi maka migrasi yang terjadi juga akan meningkat. Potensi migrasi akan menurun jika bahan kemasan memiliki bobot molekul tinggi, kontak antara

pangan dan kemasan terjadi secara tidak langsung atau kering, daya difusi bahan kemasan rendah (inert), dan adanya lapisan pembatas yang inert\*<sup>25</sup>.

Makanan terdiri dari beberapa komposisi yang sangat kompleks, sehingga sulit untuk memperoleh jumlah migrasi kemasan ke produk tersebut (makanan). Oleh karena itu digunakan simulan pangan yang merupakan single komponen untuk mewakili komposisi pangan yang bertujuan untuk memudahkan melihat dan menghitung jumlah migrasi dari bahan kemasan.

Dalam buku Pedoman Uji migrasi yang dikeluarkan oleh BPOM menyebutkan bahwa menurut aturan Uni Eropa (EU) batas migrasi menjadi dua yaitu batas migrasi total dan batas migrasi spesifik. Batas migrasi total adalah perpindahan seluruh zat yang berpindah dari kemasan ke dalam pangan dalam simulan tertentu sesuai jenis atau tipe pangan dengan batas maksimal sebesar 60mg/kg pangan. Sementara batas migrasi spesifik adalah jumlah maksimum suatu zat spesifik yang diperbolehkan berpindah dari suatu FCS (*Food Contact Substance*) dari kemasan ke dalam pangan dan dipresentasikan sebagai perpindahan senyawa spesifik (FCS) tersebut ke dalam simulan pangan.

Simulan pangan yang direkomendasikan *Food and Drug Administration* (FDA) dan *European Union* (EU) diklasifikasikan tipe pangannya yakni pangan berair, asam, berlemak, dan beralkohol. Secara umum, FDA merekomendasikan simulan etanol 10% untuk pangan berair dan asam, etanol 10% atau 50% untuk pangan beralkohol, dan minyak makan, HB307 (campuran trigliserida sintetis), atau Miglyol 812 (minyak kelapa yang difraksinasi) untuk makanan berlemak. FDA juga

---

\*<sup>25</sup> Tidak bereaksi

mengatur tentang beberapa simulan pengganti untuk pangan berlemak, bila penggunaan minyak makan tidak praktis. Simulan tersebut terdiri dari etanol 95% dan 50%, tergantung polimer yang diuji. Alternatif simulan pangan yang disarankan oleh FDA antara lain air destilasi dan asam asetat 3% untuk pangan berair dan asam; dan etanol 50% atau 95% atau heptana untuk pangan berlemak.. EU membagi penggunaan simulan pangan menjadi empat bagian, yaitu air destilasi untuk pangan berair ( $\text{pH} > 4,5$ ); asam asetat 3% untuk pangan asam ( $\text{pH} < 4,5$ ); etanol 10% untuk pangan beralkohol dan minyak zaitun rectified, campuran triiserida sintetis, minyak bunga matahari, atau minyak jagung untuk pangan berlemak.

Tipe pangan yang tercantum dalam Peraturan Kepala BPOM RI No.HK 00.05.55.6497 tentang batas kemasan pangan mengacu pada tipe pangan yang digunakan di US FDA. Tipe pangan tersebut diklasifikasikan menjadi pangan berair, asam, beralkohol, dan berlemak. Hal ini sangat penting diketahui untuk menentukan simulant pangan yang akan direkomendasikan pada saat pengujian batas migrasi. Simulant pangan yang direkomendasikan adalah

- Pangan berair/asam/beralkohol rendah : etanol 10%
- Pangan beralkohol tinggi : 50%
- Pangan berlemak: larutan etanol air atau minyak pangan

Mengacu pada peraturan dari Uni Eropa dalam 82/711/EEC untuk berbagai tipe pangan dan simulan pangan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Tipe Pangan dan Simulan Pangan menurut Uni Eropa

| Tipe Pangan              | Simulant Pangan  | Singkatan  |
|--------------------------|--|------------|
| Pangan berair (pH > 4.5) | Air destilasi atau air lain yang serupa  | Simulant A |
| Pangan asam (pH < 4.5)   | Asam asetat 3% (w/v)   | Simulant B |
| Pangan beralkohol        | Etanol 10%, disesuaikan dengan kandungan alcohol sebenarnya dari pangan tersebut jika melebihi 10% (v/V) | Simulant C |
| Pangan berlemak          | Simulant pangan berlemak   | Simulant D |
| Pangan kering            | Tidak ada  | Tidak ada  |

Simulan A, B, dan C disebut *aqueous food stimulant* karena simulant jenis ini berbasis air, sedangkan Simulan D disebut *fatty food stimulant*. Dalam beberapa penelitian menyebutkan bahwa total migrasi bahan kemasan yang digunakan untuk sop torbun yang menggunakan simulan A, B, dan C masih di bawah ketentuan Commission Directive 90/128/EEC (1990). Sedangkan untuk Simulan yang menggunakan alkohol 95%, memberikan hasil yang cukup tinggi, tiga kali lipat dari yang diperbolehkan. Dalam pembahasan juga menyebutkan bahwa 95% alcohol dalam air mempresentasikan larutan penguji pengganti minyak atau lemak, dimana alkohol berkonsentrasi tinggi cukup agresif dalam melarutkan lapisan enamel\*<sup>26</sup> kemasan.

#### **E.4. Kitosan**

Kitosan merupakan suatu polisakarida berbentuk linear yang terdiri atas monomer N-asetilglukosamina dan D-glukosamina. Kitosan dapat diperoleh dari deasetilasi kitin, suatu komponen utama dari eksoskeleton invertebrata. Kitosan merupakan polimer dengan kelimpahan terbesar kedua di alam. Kitosan memiliki sifat biokompatibel, biodegradabel, dan nontoksik. Sifat-sifat yang dimiliki oleh kitosan ini menjadikan kitosan sering dimanfaatkan di berbagai bidang seperti untuk aplikasi di bidang kimia, biomedis, makanan, dan kosmetik<sup>27</sup>.

Salah satu sumber utama perolehan kitosan yaitu dari limbah kulit udang. Widodo (2006) melaporkan bahwa limbah kulit udang mengandung kitin sebesar 15%–20%. Udang merupakan salah satu komoditas perikanan

---

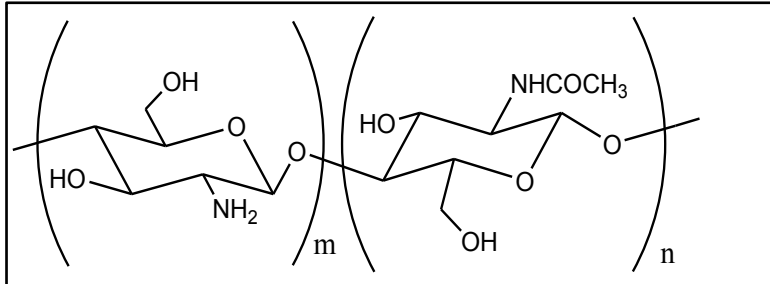
\*<sup>26</sup> Lapisan yang mengkilap, biasanya pada kemasan berupa kaleng

<sup>27</sup> Peng, Wu, and Li, "International Journal of Biological Macromolecules Development of Tea Extracts and Chitosan Composite Films for Active Packaging Materials."

Indonesia yang diperhitungkan di dunia. Pada tahun 2010, produksi udang Indonesia menduduki peringkat ke-4 di dunia setelah China, Thailand, dan Vietnam dengan nilai produksinya adalah

China 1.300.000 ton, Thailand 560.000 ton, Vietnam 370.000 ton, dan Indonesia 350.000 ton<sup>28</sup>.

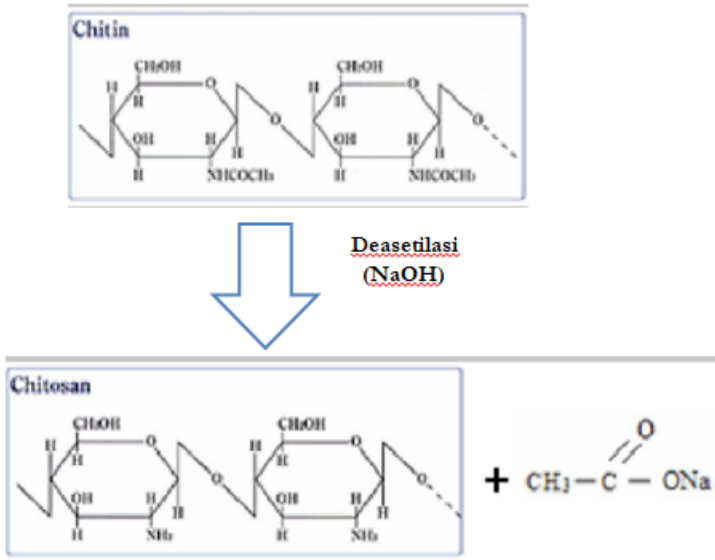
Kitosan mudah terbiodegradasi di alam dan bersifat polielektrolit kationik karena mempunyai gugus fungsional berupa gugus amino. Selain gugus amino, terdapat juga gugus hidroksil primer dan sekunder. Adanya gugus fungsi tersebut menyebabkan kitosan mempunyai kereaktifitas kimia yang tinggi. Gugus fungsi yang terdapat pada kitosan juga memungkinkan untuk modifikasi ikatan kimia yang beraneka ragam termasuk reaksi-reaksi dengan zat perantara ikatan silang, sehingga memungkinkan penggunaannya sebagai bahan campuran bioplastik, yaitu plastik yang dapat terdegradasi dan tidak mencemari lingkungan.



nilai  $m = 0,7-0,9$  dan  $n = 0,3 - 0,1$

Gambar 26. Struktur kimia kitosan

<sup>28</sup> Nurhayati and Agusman, "EDIBLE FILM KITOSAN DARI LIMBAH UDANG."



Gambar 27. Reaksi kimia proses deasetilasi kitin menjadi kitosan (sumber: Nurhayati dan Agusman, 2000)

Kitosan merupakan polisakarida turunan kitin yang dapat membentuk edible film yang kuat, elastis, fleksibel, dan sulit dirobek. Tahapan yang dilalui pada proses pembuatan kitosan antara lain proses deproteinasi (penghilangan protein), demineralisasi (penghilangan mineral), dan depigmentasi (penghilangan zat warna atau pemutihan) hingga terbentuk kitin. Tahap selanjutnya adalah proses deasetilasi kitin berupa penghilangan gugus asetil (-COCH<sub>3</sub>) pada gugus amino kitin menjadi gugus amino bebas kitosan dengan menggunakan larutan basa hingga diperoleh biopolimer kitosan (Gambar 26). Larutan basa konsentrasi tinggi seperti NaOH 50% dapat digunakan untuk deasetilasi kitin sehingga dapat memutuskan ikatan yang kuat antara ion nitrogen dan gugus karboksil. Kitosan murni umumnya bersifat kohesif, kompak, dan memiliki lapisan yang mulus tak berpori dan



retak . Kitosan yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 28. Karakteristik mutu kitosan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat dan Mutu Kitosan

| Parameter Pengamatan | Nilai  |
|----------------------|--|
| Ukuran partikel      | Serpihan/bubuk <2 mm   |
| Kadar air            | < 10,00%   |
| Kadar abu            | < 2,00%  |
| Protein              | -  |
| Derajat deasetilasi  | $\geq 70\%$  |
| Bau                  | tidak berbau   |
| Warna (larutan)      | jernih/putih   |
| Viskositas           | Rendah : < 200 cps<br>Medium : 200–799 cps<br>Tinggi : 800–2000 cps<br>Ekstra tinggi : >2000 cps |



Gambar 28. Serbuk kitosan (Nurhayati dan Agusman, 2000)

Kitosan berbentuk spesifik dan mengandung gugus amino dalam rantai karbonnya. Hal ini menyebabkan

kitosan bermuatan positif yang berlawanan dengan polisakarida lainnya. Kitosan mengandung cukup banyak polisakarida setelah selulosa. Berat molekul kitosan  $1,036 \times 10^5$  dalton. Berat molekul ini tergantung dari derajat deasetilasi yang dihasilkan pada saat ekstraksi. Semakin banyak gugus asetil yang hilang dari polimer kitin maka semakin kuat interaksi antarion dan ikatan hidrogen dari kitosan.

Kitosan tidak bersifat racun dan merupakan polimer yang bisa diuraikan oleh alam serta mempunyai kesamaan dengan selulosa. Perbedaan antara kitosan dan kitin adalah gugus amina ( $-NH_2$ ) pada posisi C-2 dari kitosan sedangkan pada selulosa terdapat gugus hidroksil ( $-OH$ ). Kitosan memiliki muatan ion positif yang secara kimia memberikan kemampuan berikatan dengan muatan negatif, yaitu lemak, lipid, kolesterol ion logam, protein, dan makromolekul. Kelebihan ini membuat kitin dan kitosan mempunyai nilai komersial yang menarik karena sifat alami kitosan yang sangat bagus dalam hal biokompatibilitas, biodegradable, penyerapan dan kemampuan untuk dibentuk menjadi film, dan penyerapan ion logam.

Selama ini, kitosan telah banyak digunakan sebagai bahan pembuat biodegradable film dan pengawet pangan yang tahan terhadap mikroba. Sifat antibakteri kitosan berasal dari struktur polimer yang mempunyai gugus amin bermuatan positif, sedangkan polisakarida lain umumnya bersifat netral atau bermuatan negatif. Gugus amin kitosan dapat berinteraksi dengan muatan negatif suatu molekul seperti protein dari mikroba.

Kitosan memiliki sifat antimikroba dengan spektrum yang luas, baik terhadap bakteri, jamur maupun kapang. Mekanisme kitosan dalam menghambat mikroba dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu 1) interaksi dengan

menghambat membran sel, 2) inaktivasi enzim-enzim, dan 3) merusakkan bahan-bahan genetik mikroba. Aktivitas antimikroba kitosan bergantung pada derajat deasetilasi, berat molekul, pH media, suhu, dan komponen lain (Vasconez et al. 2009).

Sifat antibakteri kitosan antara lain berasal dari struktur polimer yang mempunyai gugus amin bermuatan positif, sedangkan polisakarida lain umumnya bersifat netral atau bermuatan negatif. Gugus amin kitosan dapat berinteraksi dengan muatan negatif suatu molekul seperti protein dari mikroba yang menyebabkan bocornya protein dan struktur intraseluler dari mikroba<sup>29</sup>.

Umumnya kitosan mempunyai efek bakterisidal lebih kuat terhadap bakteri gram positif seperti *Listeria monocytogenes*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, dan *Lactobacillus bulgaricus*, dibandingkan dengan bakteri gram negatif seperti *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Salmonella typhimurium*, dengan konsentrasi kitosan yang dibutuhkan sebesar 0,1%<sup>30</sup>. Kitosan sebagai komponen larutan coating akan lebih efektif sebagai pengawet, sementara bila dicampurkan dalam media film, kitosan akan terjat di dalam matriks sehingga aktivitas mikrobanya menurun<sup>31</sup>. Beberapa hasil penelitian efektivitas antimikroba kitosan ditampilkan pada Tabel 5.

---

<sup>29</sup> Pati and Winarti, "Teknologi Produksi Dan Aplikasi Pengemas."

<sup>30</sup> Hong Kyoong No et al., "Antibacterial Activity of Chitosans and Chitosan Oligomers with Different Molecular Weights," *International Journal of Food Microbiology* 74, no. 1–2 (2002): 65–72.

<sup>31</sup> S. Chi, S. Zivanovic, and M. P. Penfield, "Application of Chitosan Films Enriched with Oregano Essential Oil on Bologna - Active Compounds and Sensory Attributes," *Food Science and Technology International* 12, no. 2 (2006): 111–117.

### **E.5. Alginat**

Alginat (Gambar 30) merupakan polisakarida alam yang ditemukan dalam alga coklat. Alginat merupakan salah satu jenis hidrokoloid, yaitu suatu sistem koloid oleh polimer organik di dalam air (Hoefler, 2004). Alginat dapat diekstraksi dari rumput laut coklat seperti *Sargassum* sp. dan *Turbinaria* sp. (Gambar 29) yang potensinya di Indonesia cukup besar, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Alginat telah lama dimanfaatkan, baik dalam bidang pangan maupun non pangan. Dalam bidang pangan, alginat banyak digunakan sebagai penstabil emulsi pada es krim, pensuspensi pada susu coklat, pengatur viskositas pada

Tabel 5. Penelitian aktivitas antimikroba edible coating berbasis pati dan kitosan.

| Bahan baku edible film | Konsentrasi kitosan (%) | Jenis mikroba                          | Efektivitas             | Referensi                     |
|------------------------|-------------------------|--|-------------------------|-------------------------------|
| Pati-kitosan           | 1,0                     | <i>Lactobacillus</i> spp.              | Kurang efektif          | Vasconez <i>et al.</i> (2009) |
| Kitosan                | □                       | <i>Zygosaccharomyces bailii</i>        | Efektif                 | Pranoto <i>et al.</i> (2005)  |
|                        |                         | <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> ,    | □                       |                               |
|                        |                         | <i>S. typhimurium</i> ,                |                         |                               |
|                        |                         | <i>L. monocytogenes</i> ,              |                         |                               |
|                        |                         | <i>B. cereus</i>                       |                         |                               |
| Pati jagung-kitosan    | 75:50                   | <i>E. coli</i>                         | □                       | Liu <i>et al.</i> (2009)      |
|                        |                         | <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> ,    | Efektif (14, 12, 15 mm) |                               |
| Kitosan                | 0,1                     | <i>B. subtilis</i>                     | 100% membunuh bakteri   | Kanatt <i>et al.</i> (2008)   |
|                        |                         | <i>B. cereus</i> , <i>S. aureus</i> ,  |                         |                               |
|                        |                         | <i>E. coli</i> , <i>P. fluorescens</i> |                         |                               |

(Sumber: Winarti et al. 2012<sup>32</sup>)

<sup>32</sup> Pati and Winarti, "Teknologi Produksi Dan Aplikasi Pengemas."

Tabel 6. Hasil penelitian kemasan edible antimikroba berbahan baku alginat

| Bahan baku         | Jenis minyak atsiri                 | Konsentrasi (%) | Jenis mikroba       | Aktivitas penghambatan | Referensi                       |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------|------------------------|---------------------------------|
| Pati sagu-alginat  | Minyak serai                        | 0,4             | <i>E. coli</i>      | 94,0 ± 2,0 mm          | Maizura <i>et al.</i> (2007)    |
| Alginat            | Bawang putih                        | 0,4             | <i>S. enteridis</i> | 61,7 ± 2,4 mm          | Pranoto <i>et al.</i> (2005)    |
|                    |                                     | 0,4             | <i>S. aureus</i>    | 46,58 mm               |                                 |
| Alginat-puree apel | Minyak oregano, kayu manis, serai   | 0,4             | <i>B. cereus</i>    | 51,42 mm               | Rojas-Grau <i>et al.</i> (2007) |
|                    |                                     | 0,3             | <i>E. coli</i>      | Membunuh 50% bakteri   |                                 |
| Alginat            | Minyak kayu manis, palmarosa, serai | 0,3             | <i>S. enteridis</i> | Efektif                | Massilia <i>et al.</i> (2008)   |

(Sumber: Winarti *et al.* 2012<sup>33</sup>)

<sup>33</sup> Ibid.

yoghurt, dan lain-lain. Dalam bidang non pangan, alginat banyak digunakan sebagai pengental pada textile printing, pengatur keseragaman dan kehalusan permukaan kertas, pengontrol penetrasi dan stabilitas lem yang terbuat dari pati maupun latex, dan pengatur pelepasan lambat bahan kimia pada pupuk dan obat-obatan.

Alginat tersusun atas  $\beta$ -D-manuronat dan  $\alpha$ -L-guluronat yang dihubungkan oleh ikatan 1-4. Karena bersifat biokompatibel, non-toksik, dan mudah membentuk gel, alginat sering diaplikasikan sebagai agen pembuatan gel, agen penstabil koloid, dan lain-lain baik di bidang bioteknologi, medis, maupun, industri makanan. Alginat juga memiliki kemampuan membentuk gel dengan mudah ketika bereaksi dengan kation divalen seperti  $\text{CaCl}_2$  yang mengikat gugus karboksilat dari alginat<sup>34</sup>. Beberapa hasil penelitian efektivitas antimikroba berbasis alginat ditampilkan pada Tabel 6.

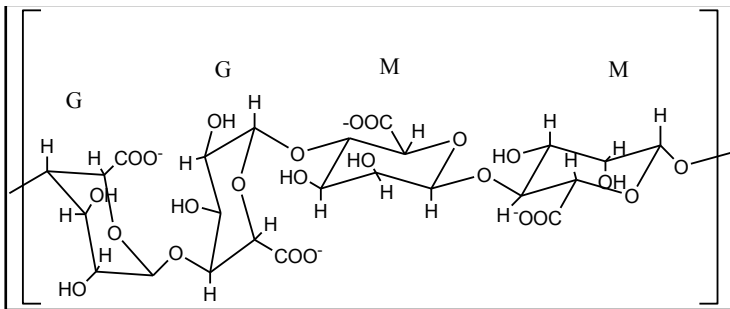


---

<sup>34</sup> Tuanny Cavatão De Freitas et al., "Identification of Bioactive Compounds and Analysis of Inhibitory Potential of the Digestive Enzymes from *Syzygium* Sp. Extracts," *Journal of Chemistry* 2019 (2019).



Gambar 29. Rumput laut penghasil alginat utama di perairan Indonesia (Sumber: Subaryono, 2010).



M = asam manuronat dan G = asam guluronat

Gambar 30. Struktur kimia alginat<sup>35</sup>

Berat molekul alginat adalah 32–200 kDa, berhubungan erat dengan derajat polimerisasi 180– 930. Nilai pK gugus karboksil adalah 3,4–4,4. Alginat bersifat larut air dalam bentuk garam alkali, magnesium,

<sup>35</sup> Gwen Lawrie et al., “Interactions between Alginate and Chitosan Biopolymers Characterized Using FTIR and XPS,” *Biomacromolecules* 8 (2007): 2533–2541.



amonias atau amina. Alginat tidak larut air dalam bentuk garam kalsium alginat atau asam alginat. Viskositas larutan alginat dipengaruhi oleh berat molekul dan keberadaan ion dalam larutan<sup>36</sup>.

Pemanfaatan alginat didasarkan pada tiga sifat utamanya yaitu yang pertama kemampuannya dalam menaikkan viskositas larutan apabila alginat dilarutkan dalam air. Kedua adalah kemampuan alginat untuk membentuk gel, gel akan terbentuk jika pada larutan natrium alginat ditambahkan garam Ca. Gel terbentuk karena adanya reaksi kimia, pada proses tersebut Ca akan menggantikan posisi natrium dari alginat dan mengikat molekul alginat yang panjang. Proses ini tidak memerlukan panas dan gel yang terbentuk tidak akan meleleh jika dipanaskan. Berbeda dengan gel agar yang memerlukan pemanasan untuk pembentukan gelnya, sehingga air harus dipanaskan sampai suhu 80 °C untuk membentuk swelling/gelatinisasi agar dan gel terbentuk pada suhu di bawah 40 °C. Sifat ketiga dari alginat adalah kemampuannya untuk membentuk film dari natrium atau kalsium alginat dan fiber dari kalsium alginat.

Alginat paling banyak digunakan dalam industri tekstil yaitu sekitar 50%, industri pangan 30%, industri kertas 6%, welding rods 5%, farmasi 5%, dan lain-lainnya 4%. Pada industri tekstil, alginat digunakan sebagai pengental pada textile printing. Dengan penambahan alginat maka kekentalan bahan pewarna akan lebih baik sehingga menghasilkan kualitas textile printing yang lebih baik yaitu warna yang tajam dan bentuk gambar atau garis yang lebih halus.

---

<sup>36</sup> Subaryono, "Modifikasi Alginat Dan Pemanfaatan Produknya," *Squalen* 5, no. 1 (2010): 1–7.

Salah satu contoh kelemahan alginat yang menyebabkan terbatasnya penggunaan bahan tersebut adalah sifatnya yang mudah mengendap. Alginat umumnya mengendap pada pH di bawah 4. Hal tersebut menyebabkan keterbatasan penggunaannya sehingga tidak dapat digunakan sebagai penstabil emulsi pada produk-produk yang ber-pH rendah seperti salad dressing, yoghurt, atau penjernih pada bir. Contoh lain kelemahan alginat adalah sineresis atau keluarnya air dari gel selama penyimpanan yang cukup tinggi sehingga menurunkan mutu gel yang dihasilkan. Produk gel yang dikehendaki adalah gel yang stabil dan nilai sineresisnya rendah sehingga gel tetap utuh selama penyimpanan<sup>37</sup>.

Alginat alami juga mempunyai keterbatasan dalam hal sifatnya yang hidrofilik dan sulit untuk berasosiasi dengan material yang bersifat hidrofobik, sehingga kemampuannya sebagai bahan pengatur pelepasan lambat terhadap obat-obatan menjadi terbatas pada bahan-bahan yang bersifat larut dalam air saja dan tidak dapat dilakukan pada bahan obat yang tidak larut air<sup>38</sup>.

## **E.6. Eugenol**

Zat antioksidan merupakan suatu senyawa yang dapat menurunkan laju (memperlambat) atau mencegah terjadinya proses oksidasi. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam hal penggunaan antioksidan di dalam makanan, antara lain jumlahnya efektif dalam konsentrasi rendah, bersifat kompatibel dengan substrat makanan, tidak

---

<sup>37</sup> Ibid.

<sup>38</sup> Eilish Broderick et al., "The Characterisation of a Novel, Covalently Modified, Amphiphilic Alginate Derivative, Which Retains Gelling and Non-Toxic Properties," *Journal of Colloid and Interface Science* 298, no. 1 (2006): 154–161.

memengaruhi rasa, warna, dan aroma produk makan, serta bersifat non-toksik. Sekitar 500 senyawa telah digunakan sebagai antioksidan dalam industri berdasarkan struktur kimis dan cara kerjanya<sup>39</sup>.

Eugenol merupakan senyawa fenolik alam yang diekstrak dari tanaman cengkeh. Penggunaan senyawa ini dalam berbagai bidang telah banyak dilakukan seperti di industri makanan, biomedis, farmasetik, kosmetik, dan material untuk active packaging. Namun, kebanyakan senyawa fenolik yang diperoleh dari tanaman memiliki sifat sensitif terhadap oksigen, cahaya, dan panas. Eugenol merupakan senyawa yang memiliki sifat sebagai antioksidan dan antibakteri. Penggunaan eugenol pada suatu matriks film diharapkan mampu memperbaiki kemampuan aktivitas antioksidan terhadap radikal DPPH sehingga dapat menjaga produk makanan dari proses oksidasi.

Meskipun penelitian mengenai enkapsulasi senyawa fenolik turunan yang berasal dari tanaman telah banyak dilakukan, baik dalam bidang kosmetik maupun farmasetik, tetapi belum banyak laporan spesifik yang difokuskan pada bidang active packaging. Woranuch dan Yoksan (2013) menemukan bahwa semakin tinggi konsentrasi eugenol yang terembani dalam nanopartikel kitosan-TPP, maka aktivitas antioksidan yang dihasilkan juga semakin besar. Akan tetapi, kajian mengenai kinetika pelepasan eugenol dan efek adanya eugenol yang terembani dalam nanopartikel kitosan-TPP yang berkaitan dengan aplikasi sebagai pengemas makanan masih belum dilakukan.

Pada penelitian selanjutnya, Woranuch dan Yoksan kembali mempelajari lebih lanjut mengenai efek eugenol yang

---

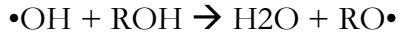
<sup>39</sup> Majid et al., "Novel Food Packaging Technologies : Innovations and Future Prospective."

teremban dalam nanopartikel kitosan-TPF. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penambahan eugenol ke dalam film nanopartikel kitosan-TPF menghasilkan aktivitas antioksidan yang cukup tinggi yaitu sebesar 52,63% selama 72 jam. Pengemban eugenol dalam nanopartikel kitosan-TPF juga menunjukkan tidak terjadi perubahan yang signifikan pada tipe kristal dan titik leleh dari TPF tetapi dapat mengurangi suhu dekomposisi dari TPF sekitar 30-35 °C. Namun, peningkatan konsentrasi eugenol justru menurunkan kekuatan tarik film, modulus, dan elongasi pada TPF sementara meningkatkan permeabilitas oksigen. TPF yang mengemban eugenol menghasilkan aktivitas antioksidan yang sangat baik dibandingkan dengan TPF tanpa penambahan eugenol. Selain itu film yang dihasilkan juga dapat menurunkan nilai permeabilitas uap air.

Selama ini, senyawa-senyawa yang memiliki gugus fenolik telah diketahui memiliki sifat antioksidan dengan cara pembentukan spesies radikal bebas melalui hilangnya atom hidrogen. Selama proses ini berlangsung, gugus fenolik akan diubah menjadi spesies radikal fenoksil yang jauh lebih stabil karena adanya delokalisasi elektron yang terjadi dengan adanya cincin benzena terdekat atau dimerisasi. Oleh karena itu, radikal fenoksil akan bersifat kurang berbahaya dan tidak bereaksi dengan molekul substrat lain. Sifat antioksidan dari gugus fenolik ini bergantung pada kemudahan senyawa tersebut untuk kehilangan elektronnya menjadi bentuk radikal<sup>40</sup>.

---

<sup>40</sup> Masahiro O Gata et al., "Antioxidant Activity of Eugenol and Related Monomeric and Dimeric Compounds," *Chem. Pharm. Bull* 48, no. October (2000): 1467–1469.



Keterangan:

$\bullet\text{OH}$  = radikal hidroksil,

$\text{ROH}$  = senyawa fenolik

Beberapa studi telah dilakukan untuk mengetahui besarnya aktivitas antioksidan dari eugenol dan mekanisme kerjanya. Gata et al. (2000) telah melakukan kajian mengenai aktivitas antioksidan dari eugenol dan senyawa monomer serta dimernya. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa mekanisme antioksidan pada senyawa eugenol terjadi melalui pengubahan gugus fenolik menjadi spesies radikal fenoksil yang lebih stabil dengan adanya delokalisasi elektron dan terjadi reaksi dimerisasi.

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Farhath et al.<sup>41</sup> (2013) menunjukkan bahwa eugenol memiliki aktivitas antioksidan yang sangat tinggi dibandingkan dengan minyak atsiri lainnya seperti geraniol, gernal asetat, dan gingerol. Penentuan aktivitas antioksidan yang dilakukan dengan metode DPPH, menghasilkan nilai  $\text{IC}_{50}$  sebesar  $0,9 \mu\text{g}/\text{mL}$  sedangkan geraniol, gernal asetat, dan gingerol memiliki nilai  $\text{IC}_{50}$  sebesar 24,6; 4,2 dan  $68,4 \mu\text{g}/\text{mL}$ .

Semakin rendah nilai  $\text{IC}_{50}$  mengindikasikan semakin tinggi aktivitas antioksidan yang dimiliki. Dari empat minyak atsiri yang digunakan, eugenol memiliki nilai yang paling rendah. Nilai  $\text{IC}_{50}$  sebesar  $0,9 \mu\text{g}/\text{mL}$  menjelaskan bahwa untuk menghambat aktivitas radikal DPPH sebesar 50% diperlukan konsentrasi eugenol sebesar  $0,9 \mu\text{g}/\text{mL}$ . Konsentrasi yang sangat rendah ini menunjukkan bahwa

---

<sup>41</sup> Seema Farhath, "Antioxidant Activity of Geraniol , Geranial Acetate , Gingerol and Eugenol" 3, no. 1 (2013): 1–6.

eugenol memenuhi syarat sebagai zat antioksidan dalam makanan atau film pengemas makanan karena akan bekerja efektif melawan radikal bebas dalam jumlah yang kecil.

### **E.7. Film kitosan-alginat**

Penggunaan film kitosan seringkali terbatas karena sifat mekanik film kitosan yang kurang baik sementara sifat mekanik film merupakan salah satu aspek yang penting dalam bidang pengemasan makanan. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik film antara lain melalui metode pemaduan (blending), taut silang (crosslinking), dan pembentukan kompleks polielektrolit (KPE). Penelitian yang dilakukan oleh Smitha et al. (2005)<sup>42</sup> menunjukkan bahwa film paduan antara kitosan dengan natrium alginat akan membentuk kompleks poli-ion (PIC). Film PIC yang dihasilkan ini memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan film dengan bahan dasar kitosan saja. Adanya pembentukan kompleks ionik antara gugus anion alginat yaitu gugus karboksilat ( $-\text{COO}^-$ ) dengan gugus kation terprotonasi kitosan yaitu amina ( $-\text{NH}_3^+$ ), menyebabkan ikatan menjadi lebih baik sehingga kuat tarik film meningkat.

Adanya gugus amina yang terprotonasi pada struktur kitosan akan menyebabkan kitosan membentuk polikationik dalam medium asam dan dapat membentuk kompleks polielektrolit (KPE) dengan polianionik. Beberapa polianionik yang telah dipelajari dalam pembentukan KPE dengan kitosan ialah polimer alam seperti pektin, karaginan, dan alginat. Selain itu, pembentukan KPE kitosan juga

---

<sup>42</sup> B Smitha, S Sridhar, and A A Khan, "EUROPEAN POLYMER Chitosan – Sodium Alginate Polyion Complexes as Fuel Cell Membranes" 41 (2005): 1859–1866.

dapat dilakukan dengan polimer sintetik, anion logam, dan tripolifosfat (TPP).

Pengembangan film kompleks polielektrolit kitosan-alginat (KPE kitosan-alginat) telah dilakukan oleh Yan et al. pada tahun 2000<sup>43</sup>. Hasil penelitian tersebut menunjukkan film KPE kitosan-alginat yang terbentuk bersifat fleksibel, transparan, dan bersifat hidrofilik. Selain itu, film KPE kitosan-alginat memiliki kekuatan mekanik yang tinggi yaitu nilai *Young's modulus* mencapai 1300 MPa, kuat Tarik sebesar 13 MPa, dan persen elongasi sebesar 9%. Hal ini menunjukkan bahwa film kompleks polielektrolit kitosan-alginat dapat dikembangkan sebagai film untuk pengemas makanan.

Salah satu contoh penggunaan kitosan dalam aplikasi pengemas makanan juga telah dilakukan oleh Woranuch dan Yoksan<sup>44</sup> tahun 2013. Woranuch dan Yoksan (2013) mengembangkan film dari *thermoplastic flour* (TPF) yang teremban eugenol dan nanopartikel kitosan. Dari penelitian tersebut, penambahan eugenol menghasilkan aktivitas antioksidan sebesar 53% dalam waktu 72 jam. Aktivitas antioksidan dari film ini sangat baik dibandingkan dengan tanpa penambahan eugenol. Selain itu, terjadi penurunan permeabilitas uap air dari film yang dihasilkan. Namun, terjadi penurunan kekuatan mekanik film yaitu kuat tarik, elongasi, dan permeabilitas oksigen. Oleh karena itu, film kompleks polielektrolit kitosan-alginat yang teremban eugenol dapat menjadi alternatif pengganti material sintetik pengemas makanan yang berfungsi sebagai antioksidan (*antioxidant packaging*).

---

<sup>43</sup> Yan et al. (2000)

<sup>44</sup> Woranuch dan Yoksan (2013)

## E.8. Pelepasan senyawa aktif dari film

Sistem pelepasan terkontrol pada mulanya banyak digunakan di bidang farmasi untuk menggambarkan laju pelepasan dari suatu zat aktif pada suatu obat. Saat ini, pengembangan sistem pelepasan terkontrol tidak hanya digunakan di bidang farmasi saja, namun juga di bidang pangan dan pengemas makanan. Aplikasi sistem pelepasan terkontrol di bidang pengemasan makanan mulai banyak dikembangkan dan terus mengalami peningkatan. Sistem ini memungkinkan untuk mengetahui pelepasan suatu zat aktif dari suatu matriks obat maupun film pengemas dengan laju yang terkontrol. Pengembangan suatu film pengemas dengan sifat antioksidan (antioxidant packaging) juga didasarkan pada kemampuan pelepasan antioksidan dari dalam film dengan laju yang terkontrol. Menurut Dicastillo et al. (2013)<sup>45</sup>, pelepasan antioksidan dari film ke dalam makanan dengan laju terkontrol diharapkan mampu melindungi makanan dari proses oksidasi sehingga akan memperpanjang waktu penyimpanan sehingga dapat melindungi kualitas produk makanan.

Ketika pelepasan suatu zat aktif dilakukan dari suatu film pengemas, salah satu faktor yang memengaruhi laju pelepasannya ialah kesesuaian antara zat aktif (antioksidan) dengan produk makanan. Pada saat zat aktif (antioksidan) terlepas dari suatu film pengemas, kelarutan antioksidan tersebut akan menentukan efektivitas dari aktivitas antioksidannya. Suatu antioksidan yang memiliki sifat

---

<sup>45</sup> Dicastillo et al., "Immobilization of Green Tea Extract on Polypropylene Films to Control the Antioxidant Activity in Food Packaging."



hidrofobik akan lebih sesuai jika diaplikasikan pada makanan yang memiliki kandungan lipid yang tinggi<sup>46</sup>.

Food simulant merupakan suatu media yang umumnya digunakan untuk mengetahui laju pelepasan suatu antioksidan dari film pengemas. Beberapa *food simulant* yang sering digunakan, antara lain etanol 10% (alcoholic food simulant), etanol 95-100% (*fatty food simulant*), akuabides (*aqueous food simulant*), dan asam asetat 3% (*acidic food stimulant*). Senyawa dengan karakter hidrofobik biasanya menggunakan etanol 95-100% sebagai media yang digunakan untuk mempelajari laju pelepasannya. Senyawa  $\alpha$ -tokoferol merupakan antioksidan yang bersifat hidrofobik dan sering digunakan dalam pengembangan suatu film pengemas. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Gargiulo et al.<sup>47</sup> (2013), pelepasan  $\alpha$ -tokoferol dilakukan dalam etanol 95-100%.

Besarnya pelepasan suatu zat aktif dari suatu matriks dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain media pelepasan yang digunakan dan tipe polimernya. Proses pelepasan senyawa yang diembankan ke dalam suatu matriks berpori akan melibatkan dua proses yaitu proses difusi medium pelepasan ke dalam film dan difusi zat aktif yang diembankan ke luar dari matriks film. Berdasarkan penelitian Gargiulo et al. (2013), hidrofilisitas film ternyata berpengaruh terhadap laju pelepasan  $\alpha$ -tokoferol. Pada saat hidrofilisitas film menurun, laju difusi medium pelepasan (etanol) ke dalam film membutuhkan waktu yang lebih

---

<sup>46</sup> López-de-dicastillo et al., "Active Antioxidant Packaging Films : Development and Effect on Lipid Stability of Brined Sardines."

<sup>47</sup> Nicola Gargiulo et al., "Microporous and Mesoporous Materials a - Tocopherol Release from Active Polymer Films Loaded with Functionalized SBA-15 Mesoporous Silica," *Microporous and Mesoporous Materials* 167 (2013): 10–15, <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.07.037>.

lama, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan laju pelepasan  $\alpha$ -tokoferol. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan hidrofilisitas film akibat adanya perbedaan formulasi polimer yang digunakan akan memengaruhi laju pelepasan  $\alpha$ -tokoferol.

### **E.9. Kinetika Pelepasan senyawa aktif dari film**

Kinetika pelepasan suatu zat aktif dapat digunakan untuk menjelaskan laju pelepasan dan model pelepasannya. Pelepasan zat aktif dari suatu matriks sebagai fungsi waktu dapat dipelajari dengan beberapa model kinetika. Model kinetika yang lazim digunakan dalam pelepasan suatu zat aktif adalah model kinetika orde nol, orde satu, model kinetika Higuchi, dan Korsmeyer-Peppas<sup>48</sup>.

#### ***Kinetika pelepasan orde nol***

Pelepasan menggunakan model kinetika orde nol dilakukan dengan asumsi bahwa pelepasan zat aktif terjadi dengan laju konstan. Kinetika orde Nol merupakan model yang ideal karena pelepasan obat dimaksudkan untuk mencapai aksi farmakologis secara berkepanjangan. Obat akan didisolusi dari bentuk sediaan dan melepaskan obat secara perlahan. Pelepasan menggunakan kinetika orde nol dapat dijelaskan melalui persamaan berikut.

$$[A_t] = [A_0] + kt$$

Keterangan:

A<sub>t</sub>: konsentrasi zat aktif yang terlepas ke medium pelepasan pada waktu t atau waktu tertentu ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )

---

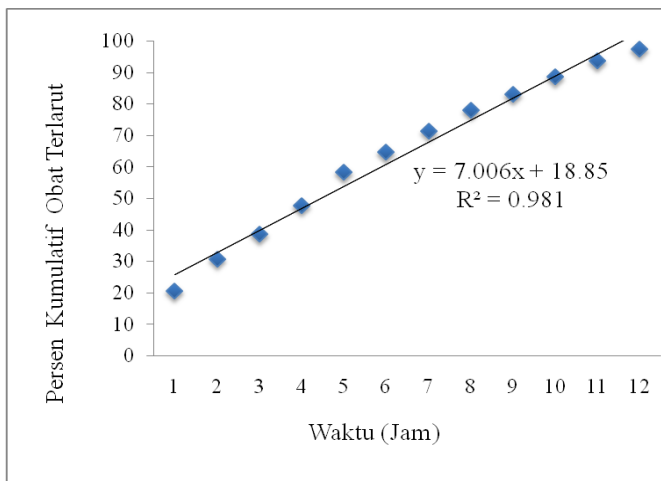
<sup>48</sup> Suvakanta Dash et al., "Kinetic Modeling on Drug Release from Controlled Drug Delivery Systems.," *Acta poloniae pharmaceutica* 67, no. 3 (2010): 217–23.

$A_0$ : konsentrasi awal zat aktif dalam medium pelepasan ( $A_0=0$ )

t: waktu pelepasan zat aktif (jam)

k: tetapan laju pelepasan zat aktif

Sediaan memiliki pelepasan orde nol akan melepaskan zat aktif dengan kecepatan konstan. Peningkatan konsentrasi obat berbanding lurus dengan waktu. Data pelepasan obat yang diperoleh secara in vitro diplot sebagai jumlah kumulatif obat terlepas terhadap waktu dan dihasilkan grafik linear jika kondisi yang ditetapkan terpenuhi seperti pada Gambar 31<sup>49</sup>.



Gambar 31. Contoh pelepasan obat kinetika orde nol

### ***Kinetika pelepasan orde satu***

Studi pelepasan zat aktif menggunakan kinetika orde satu mengasumsikan bahwa laju pelepasan suatu zat aktif bergantung pada konsentrasi. Wagner mengasumsikan bahwa luas permukaan yang terpapar dari tablet menurun secara eksponensial terhadap waktu selama proses disolusi\*.

---

<sup>49</sup> Ibid.

Hal ini menunjukkan bahwa pelepasan obat dari sebagian besar tablet dapat dijelaskan oleh kinetika orde Satu. Secara sistematis, kinetika orde satu mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$
$$\ln [A_t] = -kt + [A_0]$$

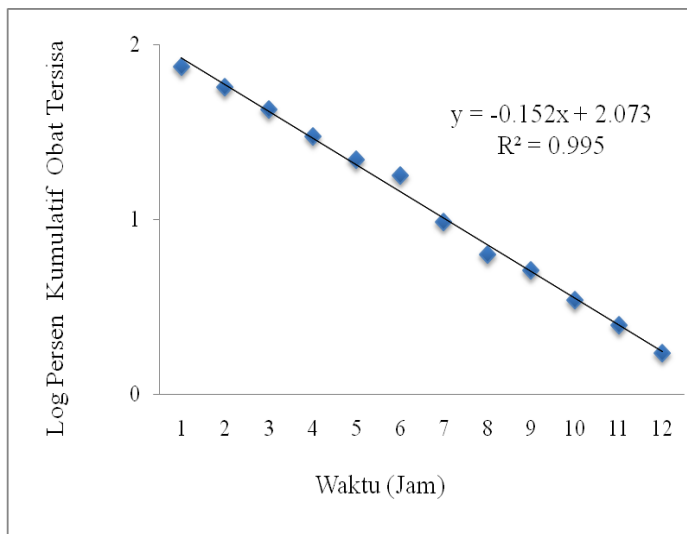
Keterangan:

$A_t$ : konsentrasi zat aktif yang tersisa dalam matriks pada saat waktu tertentu  $t$  ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )

$A_0$ : konsentrasi awal zat aktif dalam matriks ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )

$k$ : tetapan laju pelepasan zat aktif

$t$ : waktu pelepasan zat aktif (jam)



Gambar 32. Contoh pelepasan obat kinetika orde satu

Pelepasan yang mengikuti model kinetika orde satu akan sebanding dengan jumlah zat aktif yang tersisa di dalam matriks. Oleh karena itu, konsentrasi zat aktif yang terlepas akan semakin berkurang dengan meningkatnya waktu pelepasan. Suatu obat yang bersifat hidrofilik yang

terombang di dalam suatu matriks berpori merupakan salah satu contoh sistem yang mengikuti kinetika pelepasan orde satu<sup>50</sup>.

### ***Kinetika pelepasan model Higuchi***

Higuchi (1963) telah mengembangkan suatu model kinetika yang dapat digunakan untuk mempelajari suatu obat yang mudah larut dalam air maupun yang sukar larut dalam air yang diimbangkan ke dalam matriks semi padat dan padatan. Pelepasan dari suatu sistem dengan matriks yang homogen dapat dipelajari menggunakan persamaan berikut.

$$Q = \sqrt{Dt(2A - C_s)}C_s$$

Dengan,

Q: zat aktif yang terlepas setiap satuan waktu (t) per satuan area

D: konstanta difusi zat aktif dalam matriks yang homogen

A: total konsentrasi zat aktif dalam matriks per satuan volume

C<sub>s</sub>: kelarutan zat aktif di dalam matriks.

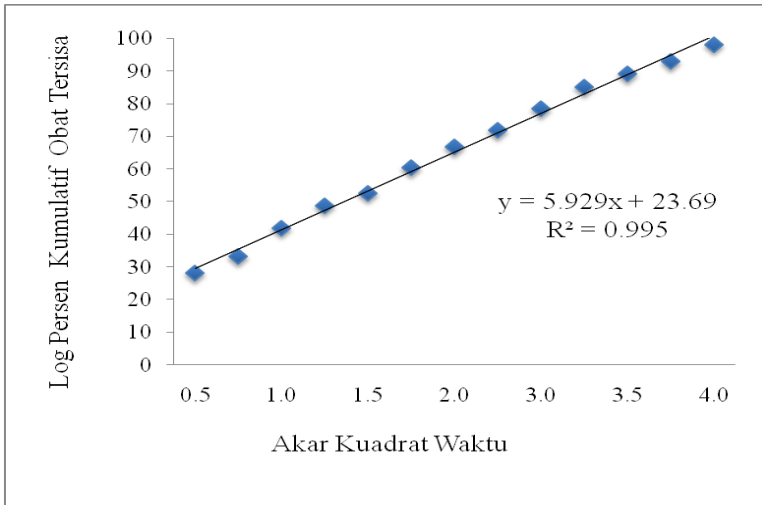
Penggunaan model Higuchi dalam kajian kinetika pelepasan telah disederhanakan menjadi persamaan berikut:

$$Q = kt^{1/2}$$

dengan Q merupakan persentase pelepasan (%), t merupakan waktu pelepasan zat aktif (jam), k merupakan konstanta laju pelepasan zat aktif.

---

<sup>50</sup> Ibid.



Gambar 33. Contoh pelepasan obat kinetika model Higuchi

### ***Kinetika pelepasan model Korsmeyer-Peppas***

Korsmeyer dkk. (1983) telah mengembangkan suatu persamaan yang dapat digunakan untuk menganalisis data pelepasan suatu zat aktif dari polimer. Dengan mengasumsikan bahwa difusi merupakan mekanisme pelepasan yang utama, maka terdapat hubungan eksponensial terhadap waktu, seperti persamaan di bawah ini.

$$\frac{M_t}{M} = kt^n$$

Dengan:

$M_t/M$ : fraksi kumulatif pelepasan zat aktif pada saat  $t$

$k$ : konstanta kinetika karakteristik dari sistem zat aktif/matriks

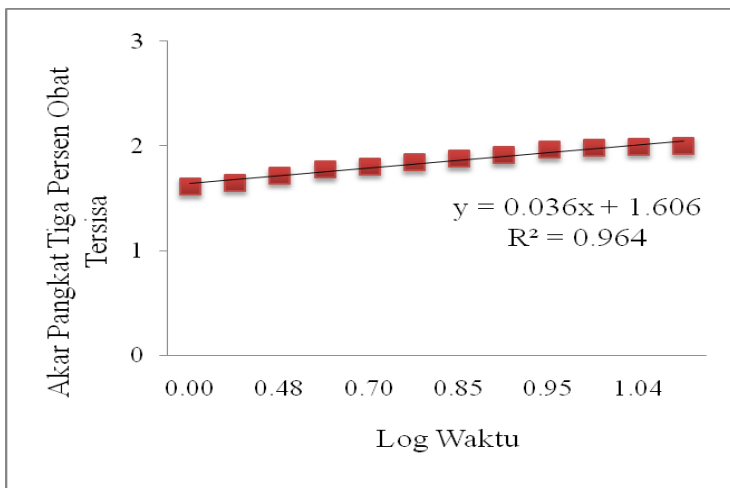
$t$ : waktu pelepasan zat aktif (jam)

$n$ : eksponen pelepasan yang berkaitan dengan mekanisme pelepasan.

Tabel 1 mendeskripsikan mekanisme pelepasan berdasarkan nilai eksponen pelepasan (n) pada model kinetika pelepasan Korsmeier-Peppas.

Tabel 7 Mekanisme pelepasan obat berdasarkan nilai n (eksponen pelepasan)

| Eksponen pelepasan (n) | Mekanisme pelepasan            | Laju sebagai fungsi waktu |
|------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| < 0,5                  | <i>Fickian diffusion</i>       | $t^{-0,5}$                |
| 0,45 < n < 0,89        | <i>(non-Fickian) diffusion</i> | $t^{n-1}$                 |
| 0,89                   | <i>Case II</i>                 | Pelepasan orde 0          |
| > 0,89                 | <i>Super case II</i>           | $t^{n-1}$                 |



Gambar 34. Contoh pelepasan obat kinetika model Korsmeier-Peppas

### E.10. Penentuan aktivitas antioksidan

Aktivitas antioksidan suatu zat tidak dapat diukur secara langsung, namun dapat diketahui melalui efek antioksidan dalam mengontrol proses oksidasi. Penentuan aktivitas antioksidan dapat dilakukan secara *in vitro* maupun *in*

vivo. Beberapa metode *in vitro* yang dapat digunakan untuk mengukur aktivitas antioksidan, antara lain metode DPPH atau 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil ( $\alpha,\alpha$ -difenil- $\beta$ -pikrilhidrazil), ABTS (Asam 2,2'-Azinobis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfonat), TRAP atau Total Radical-Trapping Antioxidant Parameter, dan Metode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power). Penentuan aktivitas antioksidan dalam food active packaging biasanya digunakan dua metode yaitu metode DPPH dan ABTS (Gomez-Estaca et al., 2014)<sup>51</sup>.

Larutan DPPH atau larutan 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil ( $\alpha,\alpha$ -difenil- $\beta$ -pikrilhidrazil) merupakan suatu radikal bebas yang stabil dan tidak membentuk dimer akibat delokalisasi dari elektron bebas pada seluruh molekul. Delokalisasi elektron bebas ini juga mengakibatkan terbentuknya warna ungu pada larutan DPPH sehingga bisa diukur absorbansinya pada panjang gelombang sekitar 515-520 nm. Ketika larutan DPPH dicampur dengan suatu senyawa yang dapat mendonorkan atom hidrogen seperti senyawa fenolik, maka warna ungu dari larutan akan hilang seiring dengan tereduksinya radikal DPPH dan selanjutnya, akan terjadi perubahan warna larutan DPPH menjadi warna kuning (Molyneux, 2004)<sup>52</sup>.

Uji aktivitas antioksidan dengan menggunakan metode ini berdasarkan pada hilangnya warna ungu akibat tereduksinya DPPH oleh antioksidan. Intensitas warna dari larutan uji diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang sekitar 515- 520 nm. Hasil dari uji ini biasanya diinterpretasikan sebagai EC<sub>50</sub>, yaitu jumlah antioksidan yang diperlukan untuk menurunkan konsentrasi

---

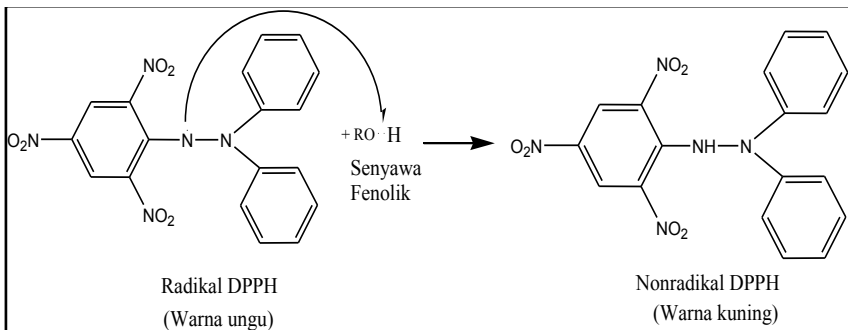
<sup>51</sup> López-de-dicastillo et al., "Active Antioxidant Packaging Films : Development and Effect on Lipid Stability of Brined Sardines."

<sup>52</sup> Philip Molyneux, "The Use of the Stable Free Radical Diphenylpicryl-Hydrazyl ( DPPH ) for Estimating Antioxidant Activity" 50, no. June 2003 (n.d.).



awal DPPH sebesar 50%. Pada metode ini tidak diperlukan substrat sehingga memiliki keuntungan, yaitu lebih sederhana dan waktu analisis yang lebih cepat.

Konsentrasi larutan stok DPPH yang lazim digunakan yaitu 50-100  $\mu\text{M}$  karena akan memberikan nilai absorbansi  $< 1,0$ . Waktu optimum reaksi yang direkomendasikan agar radikal DPPH bereaksi dengan senyawa aktif secara optimal ialah selama 30 menit. Waktu yang lebih singkat juga dapat digunakan seperti 5 menit atau 10 menit (Molyneux, 2004).



Gambar 35. Mekanisme perubahan radikal DPPH menjadi non radikal DPPH (Molyneux, 2004<sup>53</sup>)

<sup>53</sup> Ibid.

## PEMBAHASAN

### A. Potensi polimer alam kitosan-alginat sebagai bahan dasar film

Penggunaan material biodegradabel seperti kitosan dan alginat, sebagai pengemas makanan telah banyak dikembangkan oleh para peneliti. Kitosan maupun alginat memiliki sifat biokompatibel dan nontoksik sehingga aman digunakan dan bersifat ramah lingkungan. Pembuatan film dengan bahan dasar kitosan ataupun alginat seringkali menghasilkan film yang kurang memuaskan karena memiliki sifat mekanik yang kurang baik sehingga penggunaannya menjadi terbatas. Salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekaniknya ialah dengan pembentukan kompleks polielektrolit (KPE).

Kompleks polielektrolit merupakan hasil dari pembentukan interaksi antara dua polielektrolit yang mempunyai muatan yang berbeda. Kitosan merupakan suatu polikationik yang dapat membentuk KPE dengan polianionik jika berada dalam medium asam sedangkan alginat akan membentuk suatu polianionik sehingga kompleks polielektrolit dapat terbentuk. Pembentukan KPE dari polisakarida alam seperti kitosan dan alginat secara umum bersifat nontoksik dan biokompatibel sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti matriks pelepasan obat, pengemas makanan, dan membran dialisis<sup>54</sup>. Selain itu, pengembangan film KPE dari kitosan-alginat ternyata mampu memperbaiki sifat mekanik dari film tersebut.

Pembentukan kompleks polielektrolit kitosan-alginat terjadi karena adanya gaya elektrostatik antara gugus kationik

---

<sup>54</sup> Yan, Khor, and Lim, "PEC Films Prepared from Chitosan-Alginate Coacervates."

amino dari kitosan dan gugus anionik karboksilat dari alginat. Pembentukan suatu film KPE kitosan-alginat bergantung pada besarnya pH dan kekuatan ionik. Proses pembentukannya juga dapat dipengaruhi oleh ikatan hidrogen dan interaksi-interaksi intramolekular yang lain<sup>55</sup>.

Pada penelitian ini, pembentukan KPE kitosan-alginat dilakukan pada pH 4,0. Berdasarkan penelitian Yan et al. (2000), pembentukan KPE kitosan-alginat akan berlangsung optimum jika gugus amino dari kitosan maupun gugus karboksilat dari alginat dapat terionisasi dalam jumlah yang besar. Kitosan memiliki pKa sekitar 6,3 sedangkan alginat memiliki pKa antara 3,4–3,7. Oleh karena itu, pada pH sekitar 4,0 gugus amino dari kitosan akan terionisasi menjadi ion  $\text{-NH}_3^+$  sedangkan gugus karboksilat dari alginat terionisasi menjadi ion  $\text{-COO}^-$ . Jika semakin banyak gugus yang terionisasi, maka akan meningkatkan interaksi ionik sehingga interaksi yang terjadi semakin kuat walaupun adanya ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik yang terbentuk.



Gambar 36. Ilustrasi interaksi kitosan-alginat pada rentang pH < 3,4-3,7 (Lawrie et al. 2007)<sup>56</sup>

---

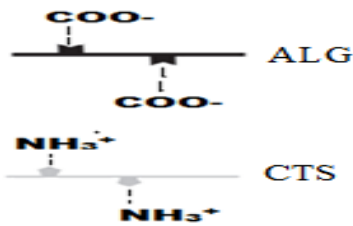
<sup>55</sup> Ibid.

<sup>56</sup> Lawrie et al., “Interactions between Alginate and Chitosan Biopolymers Characterized Using FTIR and XPS.”



Gambar 37. Ilustrasi interaksi kitosan-alginat pada pH antara 3,4-3,7 s/d 6,3 (Lawrie et al. 2007)<sup>57</sup>

Keterangan:



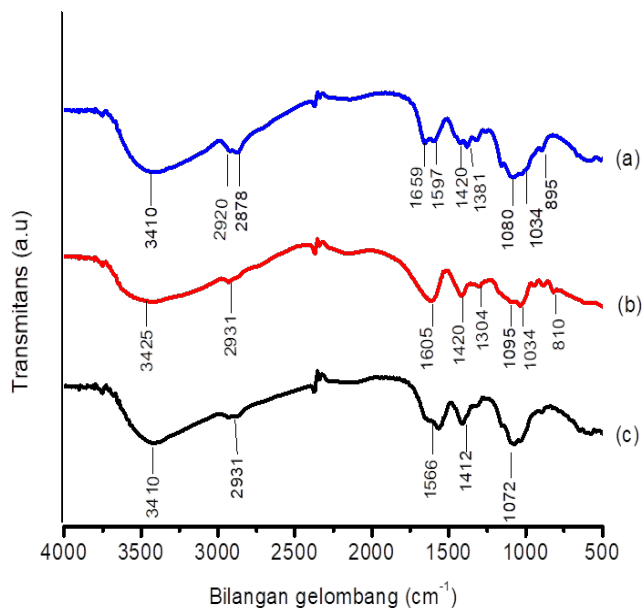
Gambar 36 dan Gambar 37 mengilustrasikan interaksi yang terjadi antara kitosan-alginat pada berbagai pH. Ketika pH larutan  $< 3,4-3,7$  ataupun  $pH > 6,3$ , interaksi ionik yang terjadi tidak optimal. Hal ini disebabkan oleh ionisasi yang terjadi dari gugus amino kitosan maupun gugus karboksilat alginat juga tidak optimal. Jika larutan KPE memiliki  $pH < 3,4-3,7$ , maka gugus karboksilat tidak akan terionisasi atau sedikit sekali yang terionisasi. Sedangkan gugus amino kitosan akan mengalami ionisasi. Sebaliknya, saat larutan KPE memiliki  $pH > 6,3$ , maka gugus amino kitosan

<sup>57</sup> Ibid.

akan terionisasi dalam jumlah yang sangat kecil sedangkan gugus karboksilat alginat akan mengalami ionisasi. Oleh karena itu, interaksi ionik yang terjadi pada pH yang tidak optimal yaitu  $pH < 3,4-3,7$  atau  $pH > 6,3$  akan menjadi sangat lemah dan tidak optimal.

### Karakterisasi Film KPE Kitosan-Alginat Menggunakan FTIR

Spektroskopi FTIR digunakan untuk menentukan karakteristik dari matriks film dan interaksi intramolekuler yang berhubungan dengan sifat fisik dan mekanik dari film KPE yang dibuat. Spektrum yang disajikan pada Gambar IV.2 merupakan spektra dari serbuk kitosan, serbuk alginat, dan film kompleks polielektrolit kitosan-alginat.



Gambar 38. Spektrum FTIR kitosan (a), alginat (b), dan KPE kitosan-alginat (c)

Spektra serbuk kitosan (spektra a) menunjukkan adanya serapan kuat di bilangan gelombang  $1659\text{ cm}^{-1}$  dan  $1597\text{ cm}^{-1}$ . Serapan pada  $1659\text{ cm}^{-1}$  berasal dari regangan C=O gugus amida dari kitosan yang mengandung asetil (amida I) sedangkan  $1597\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan serapan tumpang tindih dari amida II ( $\nu\text{ C-N}$  dan  $\delta\text{N-H}$ ) dengan vibrasi tekuk H-N-H dari gugus amina ( $\delta\text{N-H}$ )<sup>58</sup>. Serapan kuat lain dari spektra kitosan (spektra a) juga muncul pada bilangan gelombang  $3410\text{ cm}^{-1}$ . Serapan ini merupakan serapan yang terjadi karena adanya tumpang tindih dari gugus fungsi O-H dan N-H pada kerangka kitosan.

Pada bilangan gelombang  $2920$  dan  $2877\text{ cm}^{-1}$ , terdapat serapan kuat yang berasal dari vibrasi regangan alifatik ikatan C-H dari gugus alkil. Serapan lain yang muncul adalah pada bilangan gelombang  $1080$  dan  $1034\text{ cm}^{-1}$ . Keduanya berasal dari regangan C-O dari struktur sakarida pada kitosan. Dua serapan yang muncul pada  $1420$  dan  $1381\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan ikatan  $-\text{CH}_2$  dan  $-\text{CH}_3$  sedangkan serapan pada  $895\text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan dari vibrasi regangan C-C<sup>59</sup>.

Spektra FTIR alginat (Gambar 38 spektra b) menggambarkan serapan khas pada bilangan gelombang  $1605\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan regangan antisimetrik gugus  $\text{COO}^-$  dan pada  $1420\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan regangan simetrik gugus  $\text{COO}^-$ . Pada bilangan gelombang  $2931\text{ cm}^{-1}$  terdapat serapan kuat yang berasal dari regangan C-H alifatik dari alginat. Serapan lain muncul pada bilangan gelombang  $3425\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi regangan dari O-H. Selanjutnya, pada bilangan gelombang  $1304\text{ cm}^{-1}$  terdapat

---

<sup>58</sup> Peng, Wu, and Li, "International Journal of Biological Macromolecules Development of Tea Extracts and Chitosan Composite Films for Active Packaging Materials."

<sup>59</sup> Ibid.

serapan yang merupakan vibrasi skeletal dari alginat. Munculnya serapan pada bilangan gelombang  $1095\text{ cm}^{-1}$  dan  $1034\text{ cm}^{-1}$  disebabkan oleh adanya vibrasi regangan antisimetrik dari ikatan C–O–C pada struktur alginat. Sedangkan serapan pada bilangan gelombang  $810\text{ cm}^{-1}$  muncul karena adanya vibrasi regangan dari C–C<sup>60</sup>

Spektra film KPE kitosan-alginat pada spektra (c) menunjukkan terjadinya pergeseran serapan dari beberapa gugus baik pada kitosan maupun alginat. Hal ini menggambarkan adanya interaksi molekular yang terjadi dalam pembentukan KPE kitosan-alginat tersebut. Serapan karakteristik dari kitosan yaitu pada bilangan gelombang  $1597\text{ cm}^{-1}$  mengalami pergeseran menjadi  $1566\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan adanya perubahan lingkungan elektronik dari gugus amina karena adanya interaksi yang terjadi dengan alginat.

Pergeseran serapan untuk alginat terlihat dari adanya geseran gugus karboksilat dari bilangan gelombang  $1605\text{ cm}^{-1}$  menjadi  $1566\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini juga menunjukkan adanya interaksi ionik yang terjadi antara gugus amina kitosan dengan gugus karboksilat dari alginat. Pergeseran lain juga terjadi pada ikatan C–O–C dari struktur kitosan maupun alginat yakni geseran dari  $1080\text{ cm}^{-1}$  untuk kitosan dan  $1095\text{ cm}^{-1}$  untuk alginat menjadi  $1072\text{ cm}^{-1}$  pada film KPE. Namun, pergeseran ini tidak setajam pergeseran dari gugus amina ( $-\text{NH}_2$ ) kitosan dan gugus karboksilat ( $-\text{COO}^-$ ) alginat.

Serapan karakteristik dari film KPE kitosan-alginat pada bilangan  $1566\text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan baru yang muncul akibat adanya interaksi antara gugus  $-\text{NH}_3^+$  dari

---

<sup>60</sup> Lawrie et al., "Interactions between Alginate and Chitosan Biopolymers Characterized Using FTIR and XPS."

kitosan dan gugus  $-\text{COO}^-$  dari alginat. Serapan baru yang muncul memiliki intensitas yang cukup besar ini menandakan bahwa makin banyak gugus amina maupun karboksilat yang terionisasi sehingga interaksi yang terjadi semakin kuat. Hilangnya serapan dari regangan  $\text{C}=\text{O}$  gugus amida dari kitosan pada bilangan gelombang  $1659\text{ cm}^{-1}$  juga membuktikan bahwa interaksi ionik antara kitosan dan alginat merupakan interaksi yang kuat.

Tabel 8. Interpretasi pergeseran bilangan gelombang dari kitosan, alginat, dan KPE kitosan-alginat

| Material               | Bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Gugus karakteristik                             |
|------------------------|---|---|
| Kitosan                | 1659                                    | regangan $\text{C}=\text{O}$                    |
|                        | 1597                                    | vibrasi tekuk<br>$\text{H}-\text{N}-\text{H}$   |
|                        | 1080                                    | regangan $\text{C}-\text{O}$                    |
| Alginat                | 1605                                    | regangan antisimetrik<br>gugus $\text{COO}^-$   |
|                        | 1095                                    | regangan antisimetrik<br>$\text{C}-\text{O}$    |
| KPE<br>kitosan-alginat | 1566                                    | interaksi $\text{NH}_3^+$ dan<br>$\text{COO}^-$ |
|                        | 1072                                    | geseran $\text{C}-\text{O}-\text{C}$            |

Gambar 39 menyajikan spektrum dari eugenol, KPE kitosan-alginat, dan KPE kitosan-alginat-eugenol. Spektra FTIR eugenol menunjukkan bahwa adanya serapan kuat yang muncul pada bilangan gelombang  $3510\text{ cm}^{-1}$  yang berasal dari ikatan  $\text{O}-\text{H}$ . Selanjutnya, pada  $3070\text{ cm}^{-1}$  terdapat serapan yang berasal dari vibrasi regangan ikatan  $\text{C}-\text{H}$  aromatik. Pada bilangan gelombang  $1604\text{ cm}^{-1}$ , terdapat serapan yang berasal dari ikatan  $\text{C}=\text{C}$  pada ikatan  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-$  dari substituen yang terikat pada struktur aromatik. Serapan

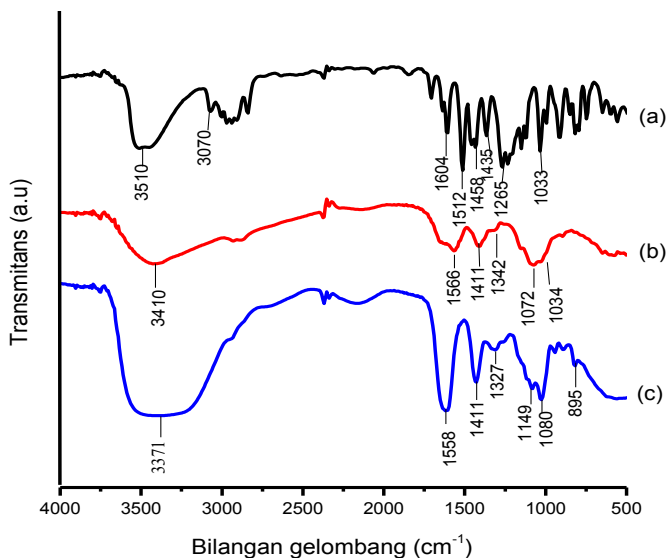


yang sangat tajam juga muncul pada bilangan gelombang  $1512\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi yang berasal dari ikatan C=C pada struktur aromatik eugenol. Bilangan  $1458$  dan  $1435\text{ cm}^{-1}$  dihasilkan oleh vibrasi regangan ikatan  $-\text{CH}_2$  dan  $-\text{CH}_3$ . Serapan lainnya pada bilangan gelombang  $1265\text{ cm}^{-1}$  muncul dari ikatan C-O-C pada ikatan  $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CAr}$ . Terdapat pula serapan yang tajam pada  $1034\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan dari ikatan C-O-H pada struktur aromatik yang mengikat gugus OH. Serapan lain yaitu pada bilangan gelombang  $910$ ,  $817$ , dan  $748\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan bahwa struktur aromatik mengikat substituen pada posisi nomor 1, 2, dan 4.

Berdasarkan spektrum (b) dan (c), terlihat adanya beberapa pergeseran bilangan gelombang yang terjadi ketika eugenol diembankan pada film KPE kitosan-alginat. Hal ini menunjukkan adanya interaksi molekuler yang terjadi sehingga menyebabkan pergeseran beberapa puncak spektra yang karakteristik. Puncak karakteristik dari film KPE kitosan alginat pada bilangan gelombang  $1566$  dan  $1342\text{ cm}^{-1}$  bergeser ke bilangan gelombang yang lebih kecil yaitu  $1558$  dan  $1327\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya efek cincin benzena eugenol pada matriks film KPE kitosan-alginat<sup>61</sup>. Selanjutnya, pergeseran serapan dari  $1072\text{ cm}^{-1}$  menjadi  $1080$  dan munculnya serapan baru pada  $1149\text{ cm}^{-1}$  (C-O) dan  $896\text{ cm}^{-1}$  (C-C) mengindikasikan bahwa terjadi interaksi yang kuat antara film KPE kitosan-alginat dengan eugenol.

---

<sup>61</sup> Peng, Wu, and Li, "International Journal of Biological Macromolecules Development of Tea Extracts and Chitosan Composite Films for Active Packaging Materials."



Gambar 39. Spektrum FTIR eugenol (a), KPE kitosan-alginat (b), dan KPE kitosan-alginat-eugenol (c)

## Pelepasan Eugenol pada Film KPE Kitosan-Alginat

### Pengaruh pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat pada berbagai variasi komposisi kitosan-alginat

Pengembangan suatu *active packaging* yang dilakukan dengan penambahan suatu antioksidan bertujuan untuk mengontrol laju pelepasan antioksidan tersebut dari dalam film ke permukaan makanan. Kelarutan antioksidan di dalam medium pelepasan yang digunakan (*food stimulant*) merupakan faktor penting yang akan memengaruhi laju pelepasan. Eugenol merupakan antioksidan yang memiliki karakter hidrofobik. Oleh karena itu, pelepasannya lebih sesuai dilakukan pada medium pelepasan yang mewakili makanan berlemak. Pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat dilakukan dalam medium pelepasan (*food stimulant*) yaitu etanol

96%. Larutan etanol 96% memiliki hidrofobisitas yang serupa dengan makanan berlemak sehingga akan digunakan sebagai medium pelepasan eugenol.

Pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat dilakukan selama 4 hari. Konsentrasi eugenol yang terlepas diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan diamati sebagai fungsi waktu. Film A1, A2, dan A3 memiliki profil pelepasan yang sama dimana pelepasan eugenol dari ketiga film sangat lambat. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi yang terbentuk antara eugenol dan KPE kitosan-alginat sangat kuat. Persentase pelepasan eugenol tertinggi dimiliki oleh film A2 yaitu sebesar 1,45% selama 4 hari. Sedangkan film A1 memiliki persentase pelepasan sebesar 0,94 % dan A3 1,21%.

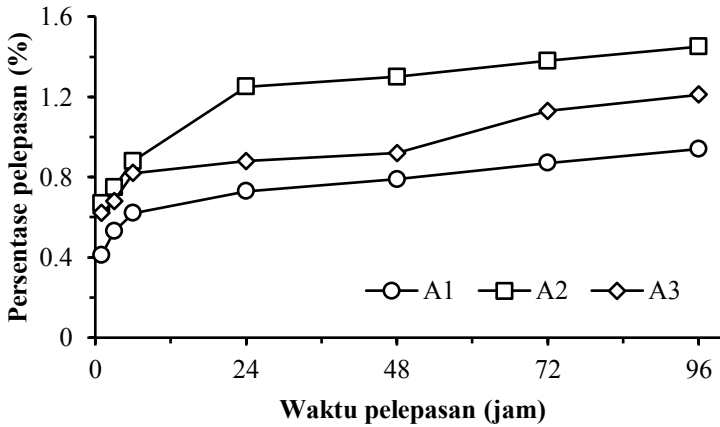
Berdasarkan penelitian Gargiulo et al. (2013)<sup>62</sup>, hidrofilitas film diketahui berpengaruh terhadap laju pelepasan  $\alpha$ -tokoferol. Ketika hidrofobisitas film meningkat, laju difusi medium pelepasan (etanol 96%) ke dalam film membutuhkan waktu yang lebih lama, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan laju pelepasan  $\alpha$ -tokoferol. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan hidrofilitas film akibat adanya perbedaan formulasi polimer yang digunakan akan memengaruhi laju pelepasan  $\alpha$ -tokoferol. Hal yang sama juga diperkirakan dapat terjadi pada laju pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat.

Penentuan hidrofilitas film dilakukan melalui uji penyerapan air. Peningkatan komposisi alginat menyebabkan kenaikan persentase penyerapan air dari masing-masing film. Hidrofilitas film KPE kitosan/alginat disebabkan oleh keberadaan alginat di dalam film KPE. Peningkatan jumlah alginat dalam kompleks polielektrolit kitosan-alginat akan

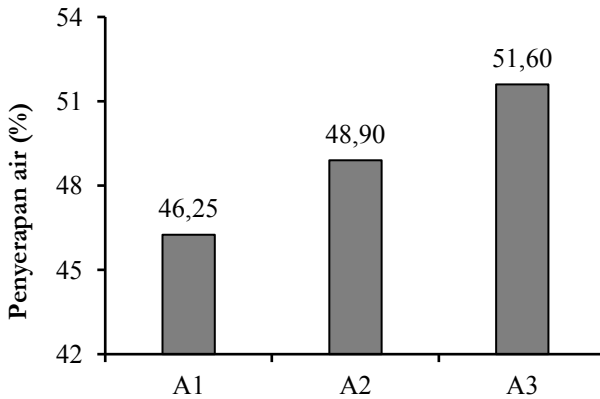
---

<sup>62</sup> Gargiulo et al., "Microporous and Mesoporous Materials  $\alpha$ -Tocopherol Release from Active Polymer Films Loaded with Functionalized SBA-15 Mesoporous Silica."

menghasilkan film yang lebih terhidrat sehingga memiliki hidrofilisitas yang lebih tinggi. Hal tersebut juga terjadi pada film A1, A2, dan A3. Persen penyerapan air tertinggi dimiliki oleh film A3 sebesar 51,60%, film A1 sebesar 46,25%, dan A3 sebesar 48,90%.



Gambar 40. Persentase pelepasan eugenol dari film KPE pada variasi komposisi KPE.



Gambar 41. Nilai penyerapan air film KPE pada variasi komposisi KPE

Menurut Gargiulo et al. (2013)<sup>63</sup>, semakin tinggi hidrofilisitas suatu film maka persentase pelepasan antioksidan akan meningkat. Pada film A1 dan A2, efek kenaikan hidrofilisitas film dapat digunakan untuk menjelaskan persentase pelepasan eugenol film A2 yang lebih tinggi dibandingkan film A1. Namun, untuk film A2 dan A3 justru kenaikan hidrofilisitas dari film menurunkan persentase pelepasan eugenol. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh interaksi antara eugenol dan KPE kitosan-alginat sangat kuat. Hal ini ditunjukkan dengan tingginya kekuatan tarik dari ketiga film tersebut (Tabel 9).

Hasil penelitian Yan et al. (2000)<sup>64</sup> menunjukkan bahwa kuat tarik dari film KPE kitosan-alginat yang dibuat memiliki nilai sebesar 7,53 MPa. Penambahan eugenol ke dalam KPE kitosan-alginat justru meningkatkan kuat tarik film A3 hingga 20,21 MPa, sedangkan film A2 memiliki kuat tarik sebesar 18,53 MPa. Hal ini menunjukkan interaksi yang terbentuk pada film A3 lebih kuat daripada film A2 sehingga pelepasan eugenol dari dalam film A3 lebih sulit dilakukan.

Pelepasan eugenol pada film KPE kitosan-alginat terjadi secara lambat dan berkelanjutan (sustained release). Hal ini mengindikasikan bahwa eugenol yang terikat pada film kitosan-alginat memiliki sifat dapat terlarut dalam air (water soluble). Althaf et al.<sup>65</sup> (2010) menyatakan bahwa pelepasan suatu zat aktif pada matriks obat yang berlangsung lambat dan berkelanjutan ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan pelepasan yang berlangsung sangat cepat. Pelepasan zat aktif

---

<sup>63</sup> Ibid.

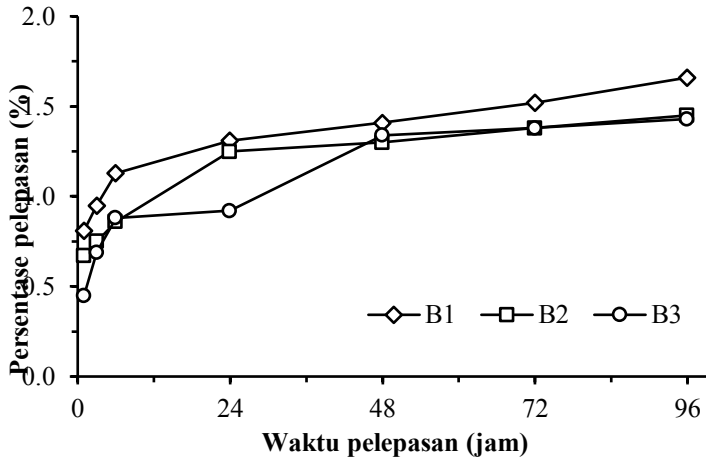
<sup>64</sup> Yan, Khor, and Lim, "PEC Films Prepared from Chitosan-Alginate Coacervates."

<sup>65</sup> Abdul S Althaf et al., "Design and Study of Lamivudine Oral Sustained Release Tablets" 1, no. 2 (2010): 61–76.

yang sangat cepat biasanya menyebabkan adanya efek toksisitas yang dihasilkan karena konsentrasi zat aktif yang terlepas sangat tinggi. Oleh karena itu, pelepasan secara lambat dan berkelanjutan (sustained release) dapat dikatakan lebih efektif dibanding pelepasan yang sangat cepat.

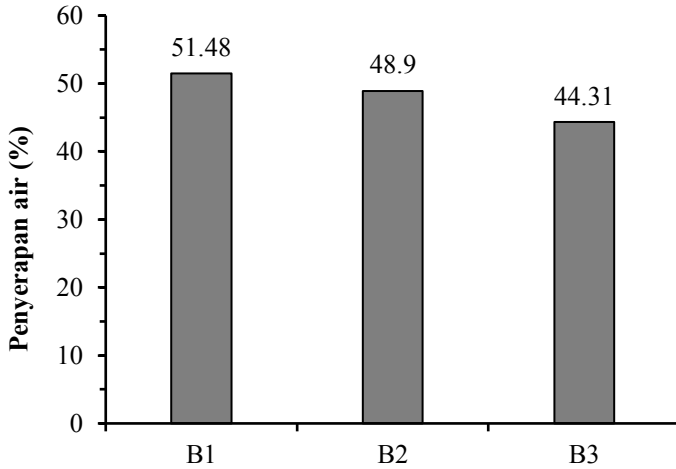
### **Pengaruh pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat pada berbagai variasi konsentrasi eugenol**

Profil pelepasan eugenol pada film KPE kitosan-alginat dengan variasi konsentrasi eugenol (film B1, B2, dan B3) terdapat pada Gambar 7. Pelepasan eugenol dari film B1, B2, dan B3 juga terjadi secara lambat dan berkelanjutan (sustained release). Pelepasan tertinggi terjadi pada film B1 dengan konsentrasi eugenol terendah yaitu sebesar 143  $\mu\text{g}/\text{mL}$  dengan persentase pelepasan 1,66%. Sedangkan, film B2 (286  $\mu\text{g}/\text{mL}$  eugenol) sebesar 1,45% dan film B3 (570  $\mu\text{g}/\text{mL}$  eugenol) sebesar 1,43%. Hal ini bertentangan dengan penelitian dari Woranuch dan Yoksan (2013) yang menyatakan bahwa penambahan senyawa eugenol ke dalam thermoplastic-flour (TPF) pada konsentrasi lebih tinggi akan menyebabkan interaksi antara nanopartikel kitosan-TPF dengan eugenol menjadi melemah sehingga persentase pelepasan senyawa eugenol menjadi lebih tinggi.



Gambar 42. Persentase pelepasan eugenol dari film KPE pada variasi konsentrasi eugenol

Meskipun persentase pelepasan film B1 > B2 > B3, namun jumlah eugenol yang terlepas menunjukkan pola yang sebaliknya dimana jumlah eugenol yang terlepas dari film B3 > B2 > B1. Fenomena ini dapat dijelaskan menggunakan data penyerapan air dari ketiga film tersebut. Berdasarkan data penyerapan air film tersebut, B1 memiliki hidrofilisitas yang paling tinggi dibandingkan dua film lainnya. Hidrofilisitas film yang semakin tinggi mengakibatkan film akan menyerap molekul air dalam jumlah yang lebih besar. Molekul air yang diserap dapat berinteraksi dan melarutkan eugenol jika dalam jumlah yang kecil meskipun tidak secara sempurna. Hal ini menyebabkan jumlah eugenol yang terlepas dari film lebih kecil dibandingkan dua film lainnya.



Gambar 43. Nilai penyerapan air film KPE pada variasi konsentrasi eugenol

Sebaliknya, jika hidrofilisitas film menurun mengindikasikan bahwa film akan menyerap molekul air lebih sedikit sehingga eugenol dalam film lebih bebas bergerak dan mudah untuk lepas ke dalam medium pelepasan etanol 96%. Selain itu, penambahan senyawa eugenol dalam jumlah yang besar akan memengaruhi interaksi yang terjadi antara kitosan dan alginat sehingga menyebabkan rongga antar rantai polimer meningkat. Oleh karena itu, difusi eugenol menuju medium pelepasan juga akan meningkat.

Namun, peningkatan rongga antar rantai polimer ini akan menyebabkan struktur film bersifat lebih rapuh. Hal ini dapat menjelaskan kuat tarik film B3 dengan konsentrasi eugenol terbesar memiliki nilai kuat tarik yang paling rendah di antara film yang lain. Pelepasan eugenol pada film KPE kitosan-alginat dengan variasi konsentrasi eugenol juga terjadi secara lambat dan berkelanjutan (*sustained release*). Oleh karena itu, film KPE kitosan-alginat-eugenol sangat berpotensi untuk



dijadikan sebagai antioxidant packaging dengan laju pelepasan eugenol yang terkontrol

### **Sifat Mekanik Film KPE Kitosan-Alginat**

Sifat mekanik suatu film menunjukkan kemampuan suatu film pengemas untuk melindungi integritas fisik suatu makanan<sup>66</sup>. Uji mekanik terdiri atas uji kuat tarik dan elongasi. Kuat tarik dan elongasi merupakan parameter yang penting dalam menentukan sifat dari suatu film pengemas. Nilai kuat tarik menunjukkan kekuatan tegangan maksimum suatu film untuk menahan gaya yang diberikan. Sedangkan, persen elongasi merupakan panjang maksimum yang dialami oleh suatu film ketika mulai ditarik sampai putus.

Efek penambahan komposisi alginat pada film KPE kitosan-alginat disajikan pada Gambar 44. Peningkatan komposisi alginat ke dalam film KPE akan meningkatkan nilai kuat tarik film. Nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh film KPE dengan komposisi alginat tertinggi yaitu film A3 sebesar 20,21 MPa. Peningkatan nilai kuat tarik ini disebabkan oleh interaksi ionik yang terjadi antara kitosan dan alginat. Meningkatnya komposisi alginat ke dalam film KPE akan menyebabkan interaksi yang terjadi antara kitosan dengan alginat semakin kuat, sehingga akan meningkatkan nilai kuat tarik film<sup>67</sup>.

Pada Gambar 45 terlihat bahwa adanya peningkatan nilai kuat tarik film dari film B1 sebesar 11,49 MPa menjadi 18,53 MPa pada film B2. Namun, nilai kuat tarik menurun drastis pada film B3 menjadi 5,93 MPa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rubilar et al. (2013), penambahan asam

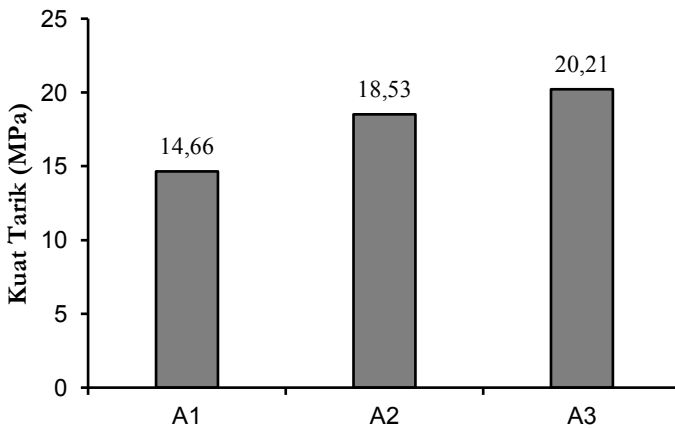
---

<sup>66</sup> Javiera F Rubilar et al., "Physico-Mechanical Properties of Chitosan Films with Carvacrol and Grape Seed Extract," *Journal of Food Engineering* 115, no. 4 (2013): 466–474, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.009>.

<sup>67</sup> Smitha, Sridhar, and Khan, "EUROPEAN POLYMER Chitosan – Sodium Alginate Polyion Complexes as Fuel Cell Membranes."

oleat dan karvakrol dengan konsentrasi yang lebih tinggi ke dalam film polisakarida akan menurunkan nilai kuat tarik film. Hal ini disebabkan oleh penambahan agen hidrofobik ke dalam film akan menyebabkan struktur film menjadi diskontinyu. Film yang dihasilkan akan memiliki struktur dengan mobilitas rantai yang rendah sehingga fleksibilitas dan ketahanannya menjadi menurun.

Hasil penelitian Yan et al.<sup>68</sup> (2000) menunjukkan bahwa kuat tarik dari film KPE kitosan-alginat yang dibuat memiliki nilai sebesar 7,53 MPa. Penambahan eugenol ke dalam KPE kitosan-alginat justru meningkatkan kuat tarik film A3 hingga 20,21 MPa, sedangkan film A2 memiliki kuat tarik sebesar 18,53 MPa. Hal ini menunjukkan interaksi yang terbentuk pada film A3 lebih kuat daripada film A2 sehingga pelepasan eugenol dari dalam film A3 lebih sulit dilakukan.

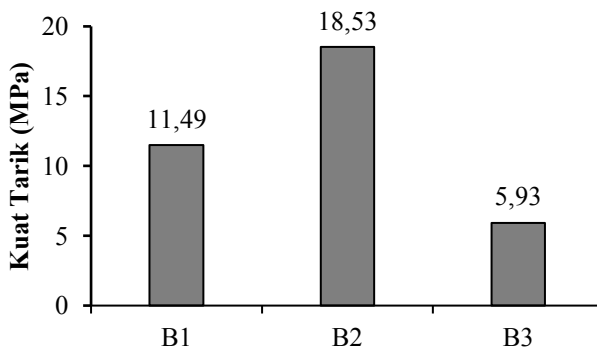


Gambar 44. Pola nilai kuat tarik film KPE pada variasi komposisi KPE

---

<sup>68</sup> Yan, Khor, and Lim, "PEC Films Prepared from Chitosan-Alginate Coacervates."

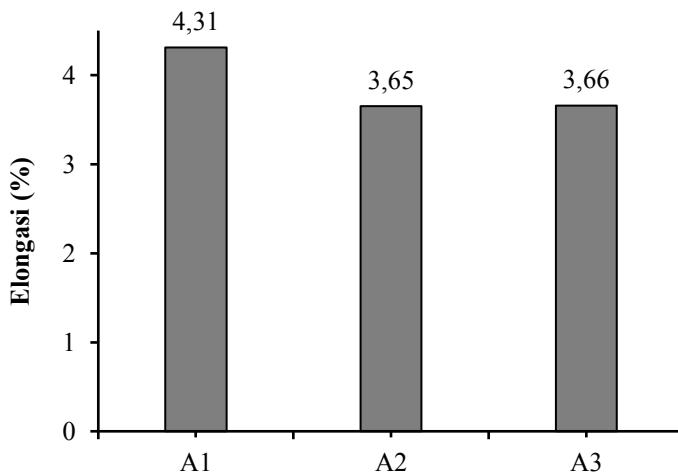
Pada film B2, justru terjadi peningkatan nilai kuat tarik film meskipun konsentrasi eugenol yang diembankan ke dalam film B2 lebih tinggi daripada film B1. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi ionik kitosan-alginat yang terjadi pada film B2 jauh lebih kuat dibandingkan dengan interaksi ionik pada film B1 sehingga peningkatan konsentrasi eugenol tidak terlalu berpengaruh terhadap kuat tariknya. Namun, penurunan nilai kuat tarik terjadi pada film B3 ketika konsentrasi eugenol yang diembankan 2 kali lebih besar daripada film B2 yaitu sebesar  $570 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan pengembanan eugenol dalam jumlah yang besar akan menyebabkan film memiliki struktur dengan mobilitas rantai yang rendah sehingga fleksibilitas dan ketahanannya menjadi menurun.



Gambar 45. Pola nilai kuat tarik film KPE pada variasi konsentrasi eugenol

Efek peningkatan komposisi alginat pada film KPE kitosan-alginat terhadap nilai persen elongasi disajikan pada Gambar 46. Berdasarkan Gambar 46, peningkatan komposisi alginat tidak menunjukkan perubahan yang signifikan pada film KPE A1, A2, dan A3. Nilai persen elongasi tertinggi dimiliki oleh film A1 dengan nilai sebesar 4,31%. Penurunan persen elongasi terjadi dengan meningkatnya komposisi

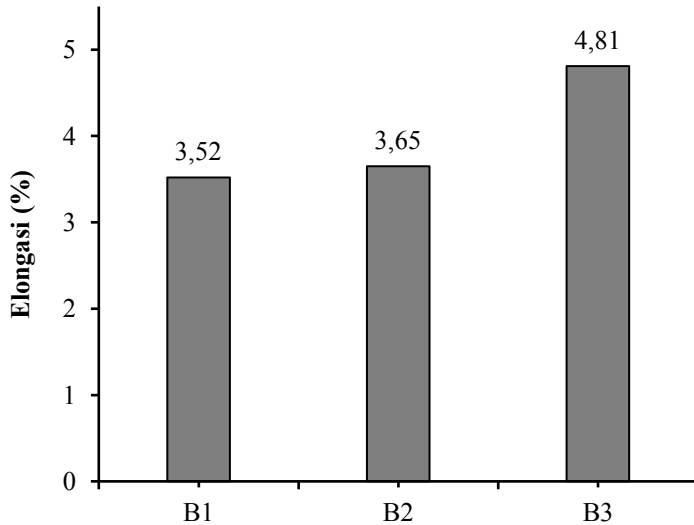
alginat menjadi 3,65% untuk film A2 dan 3,66% untuk film A3. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh interaksi yang lemah antara kitosan dengan alginat sehingga pengembanan eugenol yang dapat bersifat sebagai pemlastis pada film A1, akan meningkatkan volume bebas dari kitosan sehingga derajat ketidakteraturan juga akan meningkat. Hal ini akan meningkatkan nilai persen elongasi dan menurunkan nilai kuat tarik<sup>69</sup>.



Gambar 46. Pola nilai % elongasi film KPE dengan variasi komposisi KPE

---

<sup>69</sup> Thawien Bourtoom, "Plasticizer Effect on the Properties of Biodegradable Blend Film from Rice Starch-Chitosan," *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 30, no. April (2008): 149–155.



Gambar 47. Pola nilai % elongasi film KPE pada variasi konsentrasi eugenol

Gambar 47 menunjukkan bahwa nilai persen elongasi dari film KPE kitosan-alginat meningkat ketika konsentrasi eugenol yang diembankan meningkat. Film B3 yang mengemban eugenol paling tinggi memiliki nilai persen elongasi yang paling tinggi yaitu sebesar 4,81%. Film B1 memiliki persen elongasi sebesar 3,52% dan B2 sebesar 3,65%. Eugenol memiliki sifat sebagai suatu pemlastis dalam film sehingga akan mempengaruhi sifat mekanik dari suatu film tersebut<sup>70</sup>. Peningkatan konsentrasi eugenol akan menyebabkan meningkatnya volume bebas dari kitosan sehingga derajat ketidakteraturan juga akan meningkat. Hal ini akan meningkatkan nilai persen elongasi dan menurunkan nilai kuat

---

<sup>70</sup> Mohamed Mahmoud Nounou et al., "In Vitro Release of Hydrophilic and Hydrophobic Drugs from Liposomal Dispersions and Gels" 56 (2006): 311–324.

tarik<sup>71</sup>. Data nilai kekuatan tarik dan persen elongasi film KPE kitosan-alginat serta data sifat-sifat film yang lainnya ditampilkan secara terperinci pada Tabel 9.

### Uji Permeabilitas Uap Air

Selain memiliki sifat mekanik yang baik, parameter lain yang penting dalam suatu pengemas makanan ialah permeabilitas uap air (Water Vapor Permeability/ WVP). Nilai WVP ini menunjukkan kemampuan suatu film pengemas untuk menahan perpindahan uap air. Jika semakin kecil nilai WVP, maka semakin baik kemampuan suatu film untuk menahan uap air sehingga semakin baik pula untuk digunakan sebagai pengemas makanan. Film yang memiliki ketahanan terhadap uap air akan mampu memperpanjang waktu penyimpanan suatu makanan.

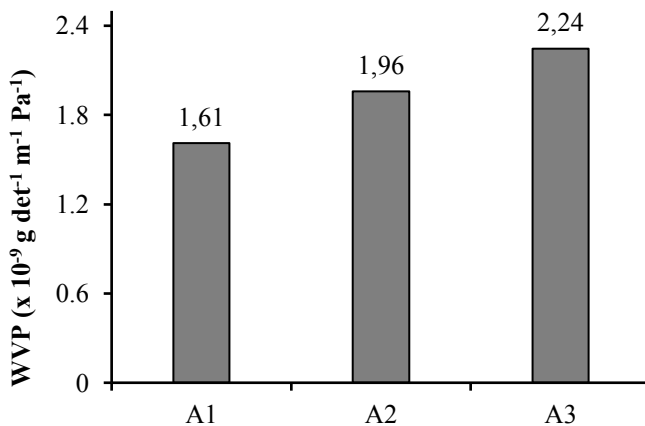
Gambar 48 menampilkan pola nilai permeabilitas uap air film KPE kitosan-alginat dengan variasi komposisi alginat. Nilai WVP paling tinggi dimiliki oleh film A3 sebesar  $2,24 \times 10^{-9} \text{ g det}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ . Dari Gambar terlihat bahwa peningkatan nilai WVP terjadi ketika komposisi alginat yang ditambahkan ke dalam film meningkat. Menurut Fakhruory et al.<sup>72</sup> (2012), natrium alginat dapat meningkatkan volume bebas antar molekul pada pati sehingga memungkinkan terjadinya transfer uap air. Hal yang serupa juga memungkinkan terjadi pada kitosan. Penambahan alginat akan menyebabkan volume bebas antar molekul pada kitosan meningkat sehingga akan meningkatkan pula nilai WVP.

---

<sup>71</sup> Bourtoom, "Plasticizer Effect on the Properties of Biodegradable Blend Film from Rice Starch-Chitosan."

<sup>72</sup> Seyed Fakhreddin et al., "Preparation and Functional Properties of Fish Gelatin – Chitosan Blend Edible Films," *Food Chemistry* 136, no. 3–4 (2013): 1490–1495, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.081>.

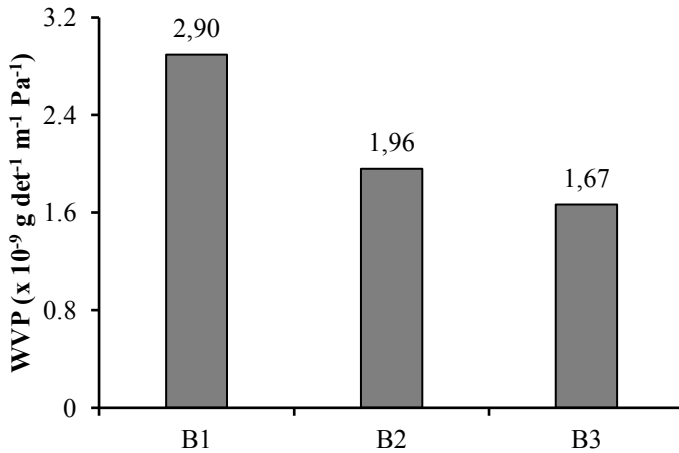
Gambar 49 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi eugenol akan menurunkan nilai WVP. Nilai WVP tertinggi dimiliki oleh film B1 dengan konsentrasi eugenol terendah yaitu sebesar  $2,89 \times 10^{-9} \text{ g det}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ . Hal ini disebabkan oleh penambahan eugenol yang bersifat hidrofobik sementara proses perpindahan uap air umumnya terjadi pada bagian hidrofilik suatu film. Nisbah hidrofilik/hidrofobik komponen film akan mempengaruhi nilai WVP<sup>73</sup>. Semakin tinggi jumlah komponen yang bersifat hidrofobik, semakin rendah nilai WVP.



Gambar 48. Pola nilai WVP film KPE pada variasi komposisi KPE.

---

<sup>73</sup> Rubilar et al., "Physico-Mechanical Properties of Chitosan Films with Carvacrol and Grape Seed Extract."



Gambar 49. Pola nilai WVP film KPE pada variasi konsentrasi eugenol

### Penentuan Nilai Transparansi

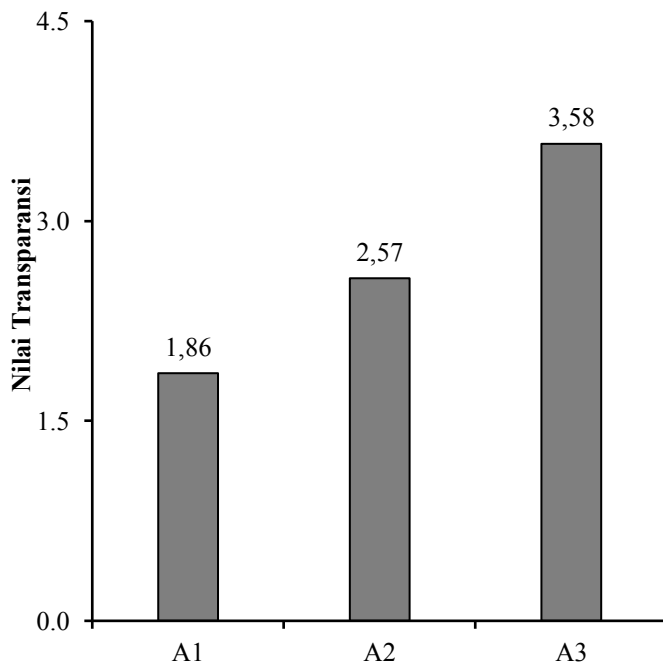
Pengukuran nilai transparansi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200–800 nm untuk menentukan nilai transparansi film. Nilai transparansi dapat digunakan untuk menjelaskan ukuran partikel yang terdispersi dalam matriks film. Ukuran partikel yang lebih besar pada panjang gelombang visibel akan menghalangi cahaya, sehingga dapat menunjukkan film bersifat tembus cahaya atau tidak. Nilai transparansi dapat dihitung dari besarnya absorbansi pada panjang gelombang 600 nm. Semakin tinggi nilai transparansi menunjukkan semakin rendah transparansi dari film<sup>74</sup>.

---

<sup>74</sup> Phakawat Tongnuanchan, Soottawat Benjakul, and Thummanoon Prodpran, “Physico-Chemical Properties , Morphology and Antioxidant Activity of Film from Fish Skin Gelatin Incorporated with Root Essential Oils,” *Journal of Food Engineering* 117, no. 3 (2013): 350–360, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.005>.



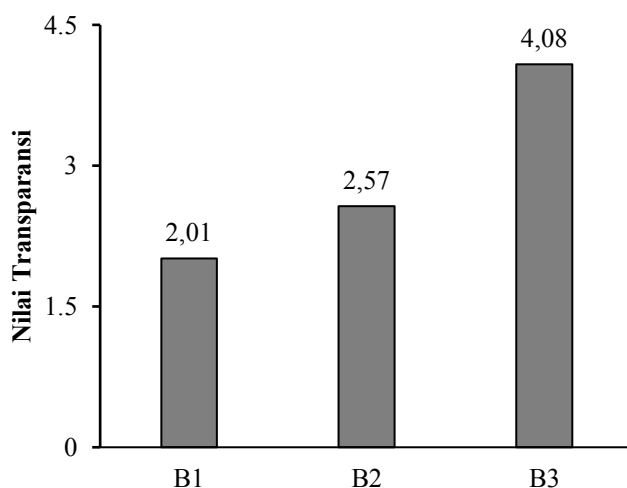
Berdasarkan Gambar 50, nilai transparansi meningkat seiring dengan kenaikan komposisi alginat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi jumlah alginat dalam film akan menyebabkan transparansi film menurun. Ini mengindikasikan bahwa ukuran partikel yang terdispersi dalam film KPE kitosan-alginat menjadi lebih besar ketika penambahan alginat yang ditambahkan lebih banyak ke dalam film. Oleh karena itu, cahaya yang dilewatkan akan menjadi terhalang dan menurunkan transparansi film.



Gambar 50. Pola nilai transparansi film KPE pada variasi komposisi KPE

Peningkatan nilai transparansi juga terjadi ketika penambahan eugenol dilakukan (Gambar 51). Hal ini menunjukkan bahwa film KPE yang mengemban eugenol dengan konsentrasi

lebih tinggi memiliki transparansi yang lebih rendah. Penelitian yang dilakukan Tongnuanchan et al.<sup>75</sup> (2013) juga menunjukkan penambahan minyak atsiri jahe, kunyit, dan *plai* dengan konsentrasi yang lebih tinggi akan menurunkan transparansi dari film gelatin. Hal serupa juga terjadi pada penelitian Hosseini et al.<sup>76</sup> (2009). Penurunan transparansi terjadi pada film kitosan ketika minyak atsiri kayu manis, cengkeh, dan *thyme* ditambahkan ke dalam film. Peningkatan konsentrasi ketiga minyak atsiri tersebut juga akan meningkatkan nilai transparansi.



Gambar 51. Pola nilai transparansi film KPE pada variasi konsentrasi eugenol

---

<sup>75</sup> Tongnuanchan et al. (2013)

<sup>76</sup> Hosseini et al. (2009)

Tabel 9. Rangkuman sifat mekanik film KPE kitosan-alginat-eugenol

| Kode film | Kuat tarik<br>(MPa) | Elongasi<br>(%) | WVP<br>( $\times 10^{-9}$ g det $^{-1}$ m $^{-1}$<br>Pa $^{-1}$ ) | Nilai<br>Transparansi |
|-----------|---------------------|-----------------|---|-----------------------|
| A1        | 14.66 $\pm$ 0.11    | 4.31 $\pm$ 0.75 | 1.61 $\pm$ 0.02   | 1.86 $\pm$ 0.23       |
| A2        | 18.53 $\pm$ 1.97    | 3.65 $\pm$ 0.57 | 1.96 $\pm$ 0.01   | 2.57 $\pm$ 0.17       |
| A3        | 20.21 $\pm$ 7.11    | 3.66 $\pm$ 0.66 | 2.24 $\pm$ 0.03   | 3.58 $\pm$ 0.15       |
| B1        | 11.49 $\pm$ 1.33    | 3.52 $\pm$ 0.09 | 2.89 $\pm$ 0.03   | 2.01 $\pm$ 0.04       |
| B2        | 18.53 $\pm$ 1.97    | 3.65 $\pm$ 0.57 | 1.96 $\pm$ 0.01   | 2.57 $\pm$ 0.17       |
| B3        | 5.93 $\pm$ 0.04     | 4.81 $\pm$ 3.26 | 1.67 $\pm$ 0.01   | 4.08 $\pm$ 0.36       |

Tabel 10. Perbandingan hasil penelitian sebelumnya

| Material dari film yang dibuat   | Perlakuan  | Kuat tarik (MPa)                                  | Elongasi (%)   | WVP (RH 50%, 32 °C) (g.mm. m <sup>-2</sup> 24h <sup>-1</sup> mmHg <sup>-1</sup> ) |
|--|--|---|--|---|
| Film KPE kitosan-<br>alginat<br>(Yan et al., 2000) <sup>77</sup>   | Medium: NaOH <sup>a</sup><br>Medium: HCl <sup>b</sup><br>Medium: NaOH-<br>HCl <sup>c</sup> | 12.34 ± 1.20<br>7.53 ± 1.88<br>4.49 ± 0.76        | 7.75 ± 1.85<br>2.46 ± 0.57<br>2.32 ± 0.26            | 3.89 ± 0.12<br>2.37 ± 0.06<br>2.21 ± 0.10   |
| <i>Thermoplastic flour</i><br>(TPF) dipadukan<br>dengan eugenol dan<br>nanopartikel kitosan<br>(Woranuch and<br>Yoksan., 2013) <sup>78</sup> | TPF-E1 <sup>d</sup><br><br>TPF-C1 <sup>e</sup><br><br>TPF-E1-C1 <sup>f</sup>               | 1.51 ± 0.11<br><br>1.22 ± 0.09<br><br>1.53 ± 0.23 | 55.20 ± 6.97<br><br>61.33 ± 6.55<br><br>10.71 ± 2.38 | -<br><br>-<br><br>-   |

<sup>77</sup> Yan, Khor, and Lim, "PEC Films Prepared from Chitosan-Alginate Coacervates."

<sup>78</sup> Woranuch and Yoksan, "Eugenol-Loaded Chitosan Nanoparticles : II . Application in Bio-Based Plastics for Active Packaging."

- 
- a <sup>79</sup> Dalam proses pembuatan film menggunakan medium berupa larutan NaOH 0,1 M
- b <sup>80</sup> Dalam proses pembuatan film menggunakan medium berupa larutan HCl 0,1 M
- c <sup>81</sup> Dalam proses pembuatan film menggunakan medium berupa larutan HCl 0,1 M dan larutan NaOH 0,1 M
- d <sup>82</sup> Film dibuat *Thermoplastic flour* (TPF) dipadukan dengan eugenol
- e <sup>83</sup> Film dibuat *Thermoplastic flour* (TPF) dipadukan dengan nanopartikel kitosan
- f <sup>84</sup> Film dibuat *Thermoplastic flour* (TPF) dipadukan dengan nanopartikel kitosan dengan senyawa eugenol

---

<sup>79</sup> Ibid.

<sup>80</sup> Ibid.

<sup>81</sup> Ibid.

<sup>82</sup> Ibid.

<sup>83</sup> Ibid.

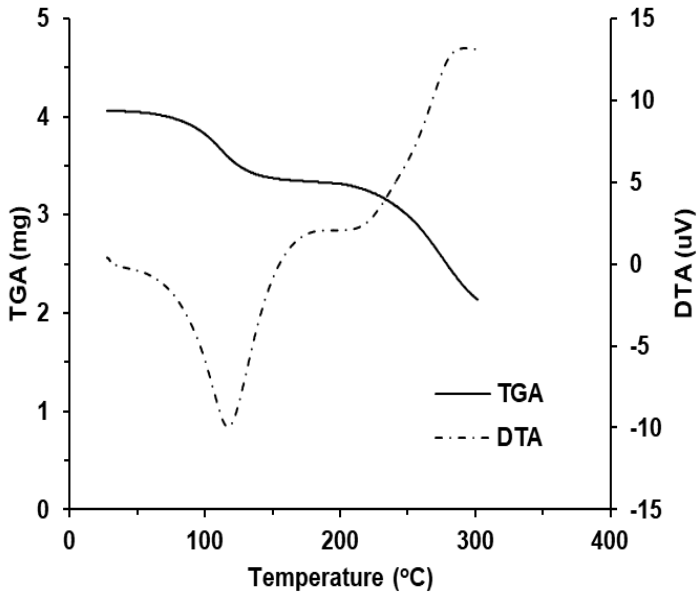
<sup>84</sup> Ibid.

## Analisis Termal

Analisis termal dalam pengertian luas adalah pengukuran sifat kimia fisika bahan sebagai fungsi suhu. Penetapan dengan metode ini dapat memberikan informasi pada kesempurnaan kristal, polimorfisma, titik lebur, sublimasi, transisi kaca, dedrasi, penguapan, pirolisis, interaksi padat-padat dan kemurnian. Data semacam ini berguna untuk karakterisasi senyawa yang memandang kesesuaian, stabilitas, kemasan dan pengawasan kualitas. Pengukuran dalam analisis termal meliputi suhutransisi, termogravimetri dan analisis cemar.

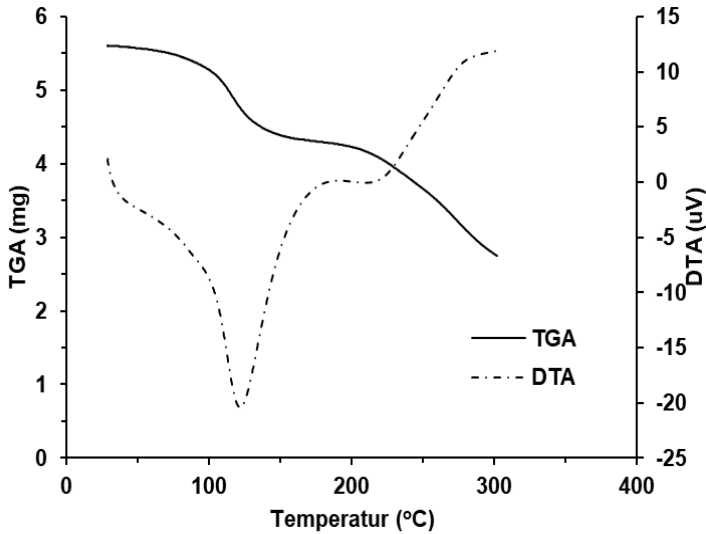
Sifat termal film PEC kitosan-alginat yang terembankan eugenol dianalisis menggunakan teknik TGA (*thermogravimetric analysis*) dan DTA (*differential thermal analysis*). Thermogravimetric analysis (TGA) didasari pada perubahan berat akibat proses pemanasan. Teknik TGA ini biasanya digunakan untuk mengetahui proses degradasi yang terjadi melalui hilangnya massa seiring dengan kenaikan temperatur. Termogram TGA menunjukkan proses degradasi termal yang terjadi pada suatu sampel polimer dengan menghitung hilangnya massa karna adanya proses dekomposisi.

Analisis diferensial termal (*differential thermal analysis*=DTA) didasari pada perubahan kandungan panas akibat adanya perubahan temperature. Dalam DTA (*differential thermal analysis*), panas diserap atau diemisikan oleh sistem kimia bahan yang dilakukan dengan pembanding yang inert (Alumina, Silikon, Karbit atau manik kaca) karena suhu keduanya ditambahkan dengan laju yang konstan. DTA merupakan teknik yang digunakan untuk mempelajari transisi termal dari suatu polimer. Analisis dengan teknik DTA memiliki fungsi untuk menentukan transisi glass ( $T_g$ ), kristalisasi ( $T_c$ ), dan titik leleh (melting point) dari suatu polimer dan menentukan besarnya panas transisi.



Gambar 52. Kurva DTA-TGA untuk film A1

Kurva pada Gambar 52 dan Gambar 53 memperlihatkan perilaku degradasi termal dari film PEC kitosan-alginat-eugenol. Film A1 dan B3 mengalami satu tahap dekomposisi. Dari film A1 dan B3, diperoleh besarnya hilangnya massa (weight loss) yaitu 18,01% dengan temperatur dekomposisi ( $T_d$ ) sebesar 106,25 °C sedangkan hilangnya massa pada film B3 sebesar 23,61% dengan temperatur dekomposisi ( $T_d$ ) sebesar 111,35 °C. Hilangnya massa ini kemungkinan disebabkan oleh hilangnya air yang terserap pada kedua film. Film B3 memiliki persen hilangnya massa yang lebih besar daripada film A1 karena komposisi alginat yang ditambahkan pada film B3 lebih besar. Hal ini menyebabkan air yang terikat pada film B3 juga lebih banyak sehingga persen hilangnya massa juga lebih besar.



Gambar 53. Kurva DTA/TGA untuk film B3

Dari kurva DTA/TGA yang diperoleh, diketahui bahwa penambahan eugenol ke dalam film tidak memberikan efek yang signifikan pada profil degradasi termal film. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa eugenol kemungkinan besar dapat hilang selama proses pemanasan karena suhu pemanasan yang digunakan melebihi temperatur penguapan eugenol yaitu 248 °C. Hal yang serupa juga diperoleh oleh Ramos et al. (2012)<sup>85</sup> yang melakukan penambahan minyak esensial berupa carvacrol dan thymol pada film propilena.

Berdasarkan analisis DTA pada Gambar 52 dan Gambar 53, film A1 memiliki titik leleh sebesar 117,14 °C dan entalpi ( $\Delta H_m$ ) sebesar 801,88 J g<sup>-1</sup> sedangkan film B3 memiliki titik leleh sebesar 121,57 °C dengan entalpi ( $\Delta H_m$ ) 861,44 J g-

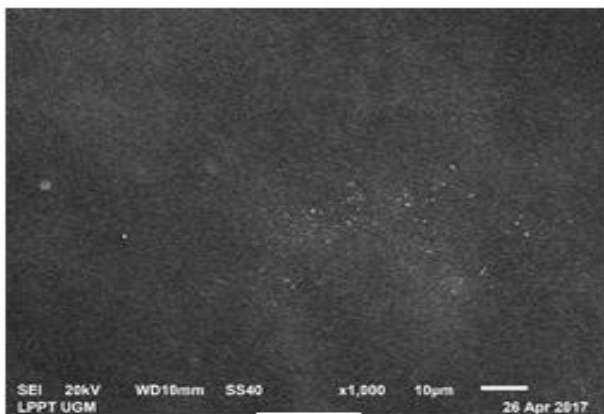
<sup>85</sup> Marina Ramos et al., "Characterization and Antimicrobial Activity Studies of Polypropylene Films with Carvacrol and Thymol for Active Packaging," *Journal of Food Engineering* 109, no. 3 (2012): 513–519, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.031>.



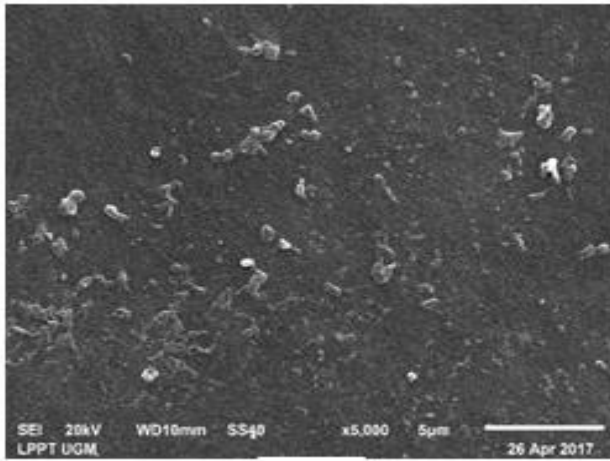
1. Peningkatan komposisi alginat ke dalam film B3 akan menyebabkan kenaikan titik leleh. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi intramolekuler kitosan-alginat semakin banyak terbentuk sehingga ikatannya semakin kuat. Temperatur leleh dari film ini mendekati temperatur leleh kitosan yang merupakan komponen dominan dalam film tersebut. Kitosan memiliki puncak temperatur leleh yang lebar pada kisaran 130–200 °C. Berdasarkan kurva yang diperoleh, puncak temperatur leleh alginat tidak muncul pada 92,6 °C. Hal ini menunjukkan bahwa film yang dihasilkan telah homogen.

### **Analisis Morfologi dengan SEM**

Salah satu analisis yang penting dalam pembuatan film pengemas ialah analisis morfologi. Analisis morfologi film dilakukan menggunakan mikroskop elektron payaran (SEM). Film A1 dan B3 dipilih secara acak untuk mewakili masing-masing variasi dalam yang digunakan dalam pembuatan film KPE kitosan-alginat. Gambar 54 menyajikan hasil SEM untuk film A1 sedangkan Gambar 55 menyajikan hasil SEM untuk film B3.



(a)



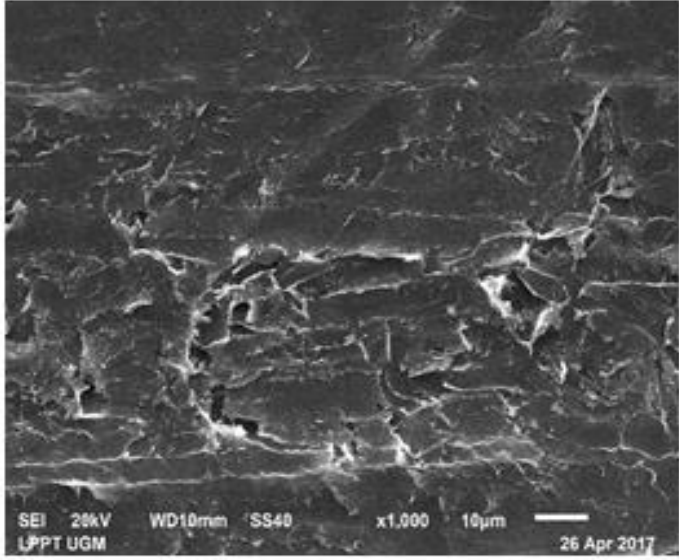
(b)

Gambar 54. Hasil SEM film A1 perbesaran 1000× (a) 5000×  
(b)

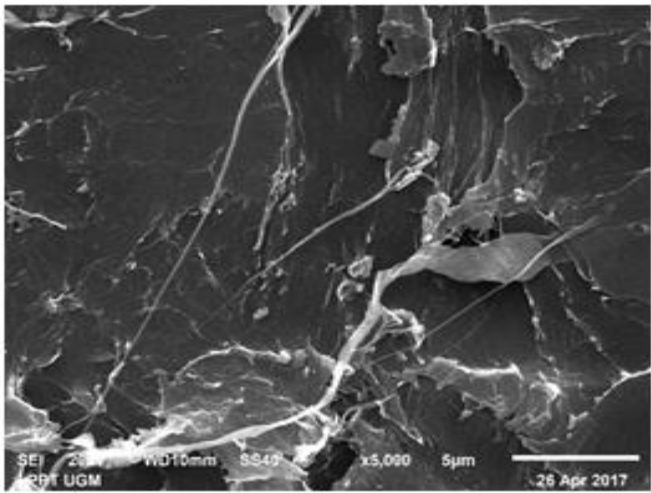
Gambar 55 menunjukkan permukaan film KPE kitosan alginat terembani eugenol (film A1) yang terbentuk kurang homogen. Hal ini terlihat dari adanya pori-pori yang muncul pada permukaan film. Film yang homogen dapat mengindikasikan bahwa interaksi molekular yang terbentuk antara KPE kitosan-alginat dengan eugenol sudah terjadi secara optimal. Namun, adanya pori-pori yang tampak pada permukaan film A1 dengan perbesaran 5000× menunjukkan terdapat sejumlah eugenol yang memiliki sifat hidrofobik tidak larut dalam fase air dari film KPE kitosan-alginat (Tongnuanchan et al. 2013)<sup>86</sup>.

---

<sup>86</sup> Tongnuanchan, Benjakul, and Prodpran, "Physico-Chemical Properties , Morphology and Antioxidant Activity of Film from Fish Skin Gelatin Incorporated with Root Essential Oils."



(a)



(b)

Gambar 55. Hasil SEM film B3 perbesaran 1000× (a)  
5000× (b)

Permukaan film B3 dengan komposisi alginat dan konsentrasi eugenol yang lebih tinggi menunjukkan permukaan film yang kasar (Gambar 55). Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan senyawa eugenol dengan konsentrasi yang lebih tinggi menyebabkan terjadinya distribusi yang heterogen pada permukaan film. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tongnuanchan et al., (2013) dan Li et al., (2014)<sup>87</sup>, penambahan senyawa yang bersifat hidrofobik seperti minyak atsiri dan ekstrak tanaman ke dalam film gelatin akan menyebabkan permukaan film menjadi lebih kasar dan timbulnya pori-pori.

Hal serupa juga terjadi pada film KPE kitosan-alginat yang mengemban eugenol dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh kelarutan eugenol yang menurun di dalam fase air dari film tersebut. Ketika agen hidrofobik ditambahkan ke dalam film dalam jumlah yang besar akan menyebabkan partikel menjadi terpisah sehingga distribusinya menjadi heterogen, ditunjukkan oleh permukaan film yang menjadi lebih kasar. Munculnya serat halus pada permukaan film menunjukkan bahwa terdapat spesies karboksilat dari alginat yang tidak membentuk interaksi ionik dengan kitosan.

### **Kinetika Pelepasan Eugenol dari Film KPE Kitosan-Alginat**

Data pada Tabel 11 menunjukkan bahwa untuk semua variasi yang dilakukan, pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat mengikuti model kinetika Korsmeyer-Peppas karena nilai  $r$  dari masing-masing film paling mendekati 1. Nilai  $n$  pada model kinetika Korsmeyer-Peppas

---

<sup>87</sup> Xiaoxia Li et al., "Characterization and Biodegradation of Chitosan – Alginate Polyelectrolyte Complexes," *Polymer Degradation and Stability* 94, no. 1 (2009): 1–6, <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2008.10.017>.

mendeskrripsikan eksponen pelepasan yang berkaitan dengan mekanisme pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat. Nilai  $n$  yang diperoleh dari model persamaan untuk semua film yang dibuat bernilai kurang dari 0,50, yaitu berkisar antara 0,16 dan 0,24.

Nilai eksponen pelepasan ( $n$ ) yang nilainya kurang dari 0,5 ini menunjukkan bahwa mekanisme pelepasan eugenol mengikuti mekanisme pelepasan difusi Fickian<sup>88</sup>. Mekanisme ini menjelaskan bahwa pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat yang terjadi secara difusi tidak diikuti oleh adanya peluruhan dari film KPE kitosan-alginat.

### **Aktivitas Antioksidan Film KPE-Eugenol**

Penentuan aktivitas antioksidan dilakukan pada film dengan variasi konsentrasi eugenol. Uji ini dilakukan menggunakan metode DPPH dimana eugenol yang terlepas dari film direaksikan dengan radikal DPPH kemudian tiap satuan waktu, nilai absorbansi dari larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 517 nm. Besarnya aktivitas antioksidan film dilihat dari nilai RSA (Radical Scavenging Activity) yang diperoleh.

Besarnya aktivitas antioksidan untuk masing-masing film dengan konsentrasi eugenol yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 56. Dari Gambar 56, terlihat bahwa aktivitas antioksidan dari ketiga film mengalami peningkatan aktivitas seiring dengan meningkatnya waktu pelepasan eugenol. Berdasarkan uji pelepasan eugenol yang telah dilakukan, konsentrasi eugenol yang terlepas dari film KPE

---

<sup>88</sup> Dash et al., "Kinetic Modeling on Drug Release from Controlled Drug Delivery Systems."

kitosan-alginat akan mengalami peningkatan dengan bertambahnya waktu pelepasan.

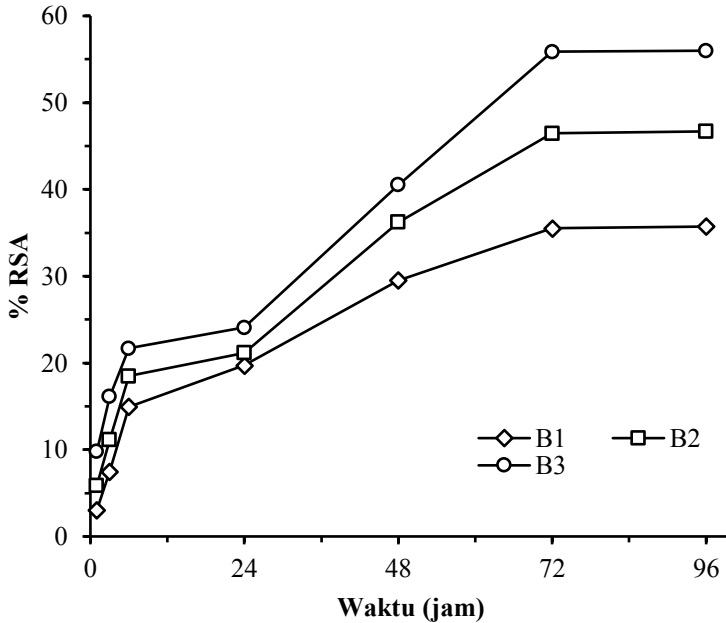
Efektivitas eugenol sebagai agen antioksidan ditentukan oleh besar kecilnya konsentrasi dari eugenol tersebut. Semakin tinggi konsentrasi dari eugenol, maka semakin tinggi pula aktivitas antioksidan yang dihasilkan. Tingginya konsentrasi eugenol akan meningkatkan jumlah radikal DPPH yang akan bereaksi dengan eugenol sehingga konsentrasi radikal DPPH akan berkurang<sup>89</sup>. Penurunan konsentrasi radikal DPPH dalam sistem larutan dapat diamati melalui penurunan absorbansi larutan radikal DPPH yang dideskripsikan oleh peningkatan nilai % RSA.

Gambar 56 menunjukkan bahwa kenaikan waktu pelepasan eugenol juga akan meningkatkan aktivitas antioksidan dilihat dari nilai % RSA. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi eugenol yang terlepas dari film KPE kitosan-alginat dengan meningkatnya waktu pelepasan eugenol. Nilai RSA untuk ketiga film pada jam ke-96 (atau hari ke-4) ialah 35,72 % untuk film B1, 46,69% untuk film B2, dan 55,99% untuk film B3.

Gambar 57 mendeskripsikan profil pelepasan dari eugenol pada *thermoplastic flour* yang dipadukan dengan nanopartikel kitosan. Grafik menunjukkan bahwa eugenol memiliki aktivitas antioksidan yang baik. Hal ini ditunjukkan dari besarnya nilai %RSA yang mencapai 50% atau > 50% dalam waktu 72 jam. Hal ini membuktikan bahwa eugenol memang merupakan senyawa aktif yang baik dalam pengembangan *antioxidant packaging*.

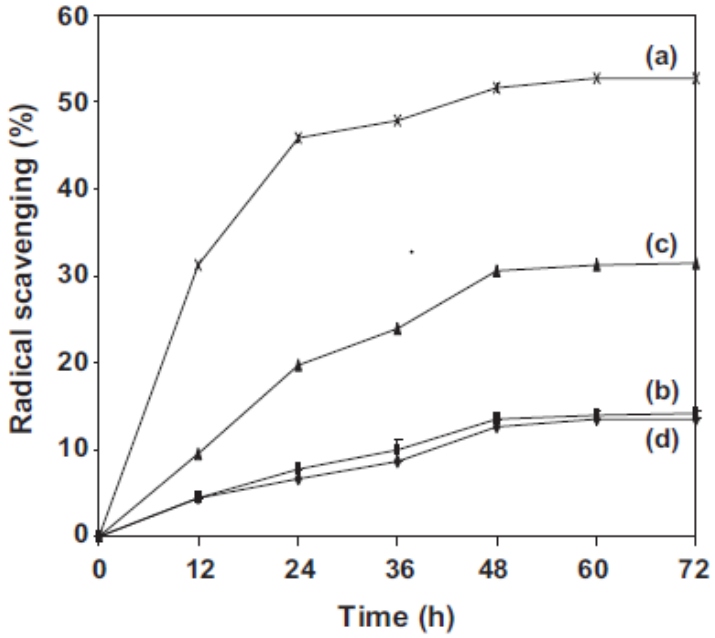
---

<sup>89</sup> Woranuch and Yoksan, "Eugenol-Loaded Chitosan Nanoparticles : II . Application in Bio-Based Plastics for Active Packaging."



Gambar 56. Nilai aktivitas antioksidan (% RSA) dari film dengan variasi konsentrasi eugenol. Konsentrasi eugenol 0,05% b/v (B1), 0,10% b/v (B2), dan 0,20 b/v (B3)

Film B3 memiliki nilai RSA yang paling tinggi dibandingkan film yang lain. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi eugenol yang terlepas dari film KPE kitosan-alginat lebih tinggi dibandingkan film B1 dan film B2 sehingga makin banyak radikal DPPH yang bereaksi dengan eugenol, yang ditunjukkan dengan peningkatan nilai RSA. Dari nilai RSA yang dihasilkan oleh ketiga film, dapat dikatakan bahwa film KPE kitosan-alginat yg mengemban eugenol berpotensi sebagai antioxidant packaging karena memiliki aktivitas antioksidan yang cukup baik.



Gambar 57. Profil aktivitas antioksidan eugenol pada film thermoplastic flour (TPF) (Woranuch and Yoksan., 2013)



Tabel 11. Rangkuman kinetika pelepasan eugenol dari film kitosan-alginat

| Kode film | Orde nol |        | Orde satu          |        | Higuchi |        | Korsmeyer-Peppas |        |
|-----------|----------|--------|--------------------|--------|---------|--------|------------------|--------|
|           | k        | r      | k                  | r      | k       | r      | k                | r      |
| A1        | 0,0134   | 0,9272 | $5 \times 10^{-5}$ | 0,9275 | 0,0532  | 0,9743 | 0,4307           | 0,9911 |
| A2        | 0,0221   | 0,8993 | $8 \times 10^{-5}$ | 0,8996 | 0,0895  | 0,9656 | 0,6502           | 0,9902 |
| A3        | 0,0160   | 0,9611 | $6 \times 10^{-5}$ | 0,9613 | 0,0607  | 0,969  | 0,607            | 0,9614 |
| B1        | 0,0110   | 0,9360 | $8 \times 10^{-5}$ | 0,9364 | 0,0868  | 0,9777 | 0,8209           | 0,9931 |
| B2        | 0,0221   | 0,9005 | $8 \times 10^{-5}$ | 0,9009 | 0,0902  | 0,9663 | 0,8209           | 0,9902 |
| B3        | 0,0529   | 0,9129 | $9 \times 10^{-5}$ | 0,9133 | 0,1050  | 0,9595 | 0,4984           | 0,9718 |

## B. Bagaimanakah Potensi Ekstrak Tanaman sebagai Zat Aktif untuk *Active Packaging*?

Penggunaan antioksidan alami seperti ekstrak tanaman menjadi solusi tepat dan dianggap lebih aman. Penggunaan ekstrak alami seperti ekstrak teh hijau dan teh hitam dalam film komposit kitosan<sup>90</sup>, ekstrak daun teh, ekstrak biji anggur, ekstrak jahe, dan ekstrak daun ginkgo dalam film gelatin telah banyak dipelajari dan dikaji. Penambahan ekstrak-ekstrak alami tersebut memang menunjukkan hasil yang baik jika ditinjau dari aktivitas antioksidan pada film komposit kitosan ataupun film gelatin yang dihasilkan. Namun, penggunaan ekstrak alami tersebut memerlukan kajian yang lanjut untuk mengetahui senyawa apa yang paling berperan sebagai antioksidan dalam ekstrak tersebut. Hal ini menyebabkan pengembangan *antioxidant packaging* mulai difokuskan pada penggunaan senyawa murni seperti  $\alpha$ -tokoferol, asam oleat, asam tanat, asam galat, carvacrol, dan eugenol.

Pengembangan teknologi active packaging menjadi salah satu sistem pengemasan yang menjanjikan karena memiliki kemampuan untuk melindungi kualitas dan keamanan produk pangan, serta dapat memperpanjang waktu penyimpanan. Salah satu jenis teknologi active packaging yang banyak dikembangkan yaitu teknologi *antioxidant packaging*. Metode ini didasarkan pada pengembanan suatu antioksidan ke dalam suatu film pengemas untuk mencegah terjadinya oksidasi sehingga akan meningkatkan kestabilan produk makanan dan memperpanjang waktu penyimpanan. Pengembanan suatu antioksidan ke dalam pengemas dianggap

---

<sup>90</sup> Peng, Wu, and Li, "International Journal of Biological Macromolecules Development of Tea Extracts and Chitosan Composite Films for Active Packaging Materials."

menjadi solusi yang lebih efektif dibandingkan penambahan antioksidan ke dalam makanan secara langsung. Hal ini disebabkan oleh pengembunan suatu antioksidan ke dalam film pengemas akan membutuhkan jumlah antioksidan yang lebih sedikit dan pelepasan antioksidan yang digunakan juga dapat dikontrol<sup>91</sup>. Penelitian dan pengembangan antioxidant packaging menggunakan ekstrak tanaman telah banyak dilakukan. Ekstrak teh merupakan salah satu ekstrak yang sering digunakan dalam pembuatan antioxidant packaging, bahkan film pengemas dengan bahan aktif ekstrak teh telah diujikan langsung ke beberapa produk pangan.

### **Ekstrak Teh Hijau**

Antioksidan merupakan suatu zat/senyawa yang struktur molekulnya memiliki kemampuan untuk memberikan elektronnya kepada molekul radikal bebas. Hal ini terjadi tanpa mengakibatkan terganggunya fungsi dan dapat memutus reaksi berantai dari radikal bebas. Ada 3 jenis antioksidan yaitu:

- a) Antioksidan yang dibuat oleh tubuh sendiri yang berupa enzim, antara lain : superoksida dismutase, glutathione peroxidase, perhidrase dan katalase
- b) Antioksidan alami yang diperoleh dari tanaman atau hewan, yaitu  $\alpha$ -tokoferol, vitamin C,  $\beta$ -karoten, flavonoid, dan senyawa fenolik
- c) Antioksidan sintetik yang dibuat dari bahan-bahan kimia yaitu *Butylated Hidroxyanisole* (BHA), *Butylated Hydroxytoluene* (BHT), *Tert-Butylhydroquinone* (TBHQ), *Propyl Gallate* (PG), dan *Nordihydroguaiaretic acid* (NDGA) yang ditambahkan dalam makanan untuk mencegah kerusakan lemak.

---

<sup>91</sup> Dicastillo et al., "Immobilization of Green Tea Extract on Polypropylene Film to Control the Antioxidant Activity in Food Packaging."

Teh hijau merupakan salah satu tumbuhan yang memiliki antioksidan alami yang mengandung senyawa flavonoid, yang disebut dengan katekin. Tingginya kandungan katekin pada teh hijau dapat berperan sebagai antioksidan alami. Aktivitas polifenol maupun katekin ini berfungsi untuk mencegah munculnya radikal bebas sehingga dapat mengurangi kerusakan sel tubuh. Kemampuan antioksidan senyawa katekin lebih besar jika dibandingkan dengan vitamin C ataupun  $\beta$ -karoten.

Ekstrak teh hijau memiliki potensi dalam skala besar jika diaplikasikan sebagai antioksidan alami. Aktivitas antioksidan katekin lebih tinggi daripada BHA dan  $\alpha$ -tokoferol pada lemak babi dan minyak salad. Epigallocatekin galat (EGCG) juga menunjukkan hubungan yang sinergis dengan asam askorbat,  $\alpha$ -tokoferol, asam sitrat dan asam tartara. Yang, et al. (2009) juga menyatakan bahwa sebanyak satu cup teh hijau, yaitu sekitar 2,5 gram teh yang diseduh dengan 250 ml air panas, mengandung 620 – 880 mg senyawa larut air, dimana sepertiga kandungannya merupakan katekin.

Teh hijau (*Camellia sinensis*) merupakan minuman yang banyak dikonsumsi setelah air mineral, dan memiliki efek pencegahan kanker secara *in vivo*. Polifenol pada teh hijau dipercaya dalam studi epidemiologi maupun studi klinis sebagai pencegahan kanker. Konsumsi harian polifenol dalam teh hijau banyak dilakukan di beberapa negara salah satunya di Indonesia. Pada satu dekade terakhir, terdapat banyak penelitian epidemiologi yang difokuskan pada efek polifenol terhadap kesehatan. Efek yang menguntungkan pada teh hijau adalah kuatnya efek antioksidan oleh komponen polifenol teh hijau. Komponen yang terdapat pada teh hijau yaitu katekin, theaflavin dan thearugibin merupakan komponen antioksidan yang dapat melindungi tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas yang diinduksi oleh stress oksidatif. Sebagai tambahan,

teh hijau juga memiliki kemampuan sebagai antimikroba pada berbagai mikroorganisme patogen.

Dari beberapa literatur yang diperoleh, manfaat kesehatan yang terdapat pada teh hijau antara lain: dapat berperan sebagai antioksidan, antiinflamasi, antikarsinogenik, dalam kesehatan kardiovaskular, kesehatan mulut, dan sebagai antimikroba. Efek antioksidan pada teh hijau berasal dari kemampuan teh hijau untuk membatasi jumlah radikal bebas dengan mengikat *reactive oxygen species* (ROS). Teh hijau juga memiliki aktivitas antimikroba langsung pada bakteri. Selain itu, efek penghambatan dalam penyerapan bakteri ke permukaan oral. Selain itu, teh hijau adalah sumber alami dari fluoride. Teh telah terbukti memiliki efek antimikroba terhadap berbagai bakteri gram positif dan gram negatif (misalnya, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus sp.*), beberapa jamur (misalnya, *Candida albicans*), dan varietas virus (misalnya, HIV, herpes simpleks, influenza).

Komponen utama dari teh hijau adalah senyawa polifenol dengan kandungan tertinggi yaitu senyawa golongan flavonoid. Senyawa golongan flavonoid utama dalam teh adalah katekin. Katekin membentuk 30–40% padatan yang larut dalam air dalam teh hijau. Selanjutnya, senyawa fenolik teh hijau konsentrasi tertinggi adalah galocatechin (GC), epicatechin (EC), gallic acid (GA), asam p-coumaroylquinic (CA), catechin (C), epigallocatechin (EGC), epicatechin gallate (ECG), epigallocatechin gallate (EGCG), dan galocatechin-3-gallate (GCG) dengan EGCG menjadi paling banyak menurut berat. Selain kandungan di atas, teh hijau juga mengandung tanin kental dan terhidrolisa. Dalam teh hijau, EGCG adalah yang paling melimpah, mewakili sekitar 59% dari total katekin.

Berikutnya berturut-turut sebesar EGC 19%, ECG 13,6% dan EC 6,4%<sup>92</sup>

Polifenol dalam teh, terutama flavonoid, terkenal karena sifat antioksidan mereka. Aktivitas antioksidan polifenol teh hijau terutama dikaitkan dengan kombinasi cincin aromatik dan gugus hidroksil yang menyusun struktur kimianya dan akibatnya mengikat dan menetralkan radikal bebas lipid oleh gugus hidroksil ini. Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa polifenol dan katekin teh adalah donor elektron yang luar biasa dan pemulung efektif dari *reactive oxygen species* fisiologis yang relevan secara *in vitro*, termasuk radikal peroksida superoksida anion, dan oksigen tunggal. Katekin juga menunjukkan aktivitas antioksidan melalui chelating redox aktif transisi-ion logam. Katekin teh hijau juga menunjukkan aktivitas antioksidan melalui menghambat enzim pro-oksidan dan mendorong enzim antioksidan.

Aktivitas antioksidan epicatechin (EC), epigallocatechin (EGC), epicatechin-3-gallate (ECG), dan EGCG telah dibuktikan dalam sejumlah tes *in vitro* dan berbasis kimia. Kimia yang mendasari kegiatan ini terutama hasil dari transfer atom hidrogen (HAT) atau reaksi transfer elektron tunggal (SET), atau keduanya melibatkan gugus hidroksil. Kelompok-kelompok ini adalah konstituen dari cincin B EC dan EGC, dan kedua cincin B dan D dari ECG dan EGCG. Sebagai antioksidan pengikat rantai, katekin teh dianggap mengganggu reaksi oksidasi yang merusak oleh mekanisme HAT.

Peroksidasi lipid adalah reaksi berantai radikal di mana atom hidrogen diabstraksikan dari asam lemak tak jenuh, menghasilkan radikal alkil yang bereaksi pada tingkat terbatas

---

<sup>92</sup> Habiburrohman Denny & Sukohar Asep, "Aktivitas Antioksidan Dan Antimikrobia Pada Polifenol Teh Hijau," *Agromedicine Unila* 5, no. 2 (2018): 587–591.

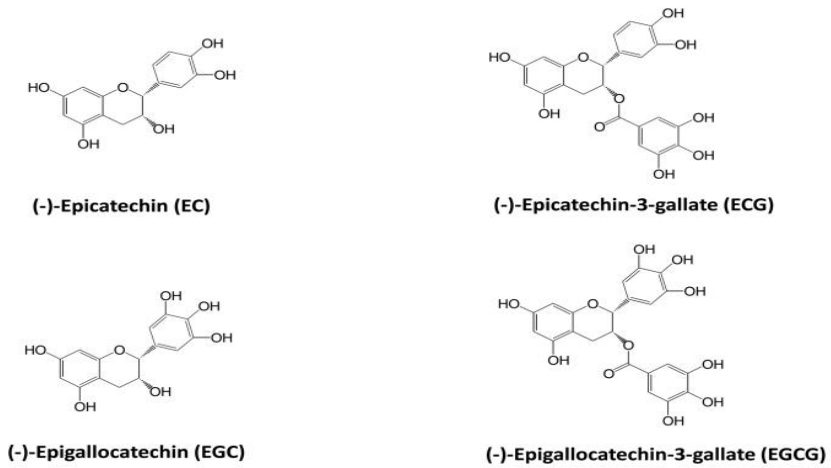
difusi dekat dengan oksigen molekuler untuk memberikan radikal hidroperoksil lipid. Dengan tidak adanya antipatah rantai antioksidan, radikal peroxy ini atom hidrogen abstrak dari substrat lipid yang tidak teroksidasi, menghasilkan radikal alkil lipid baru, sehingga menyebarkan reaksi berantai. Kehadiran antioksidan fenolik (PhOH) kesempatan untuk mencegat radikal peroxy dan mengganggu perambatan rantai. Kemampuan radikal pemulih DPPH katekin adalah EGCG>ECG> EGC>EC dan bahwa theaflavin adalah TF2> TF1>TF. EGCG, ECG, EGC menunjukkan aktivitas oksidasi-oksidasi lipid yang lebih tinggi, yang diukur dengan uji Rancimat, dibandingkan dengan BHT dan theaflavins<sup>93</sup>.

Peng et al. (2013)<sup>94</sup> telah mengembangkan film komposit dari kitosan dengan menggunakan ekstrak teh sebagai antioksidan. Ekstrak teh digunakan untuk mengontrol aktivitas antioksidan film, yang selanjutnya akan diaplikasikan sebagai pengemas makanan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penambahan ekstrak teh terbukti meningkatkan kemampuan aktivitas antioksidan film secara signifikan. Sifat mekanik yang dihasilkan juga menunjukkan nilai kuat tarik dan elongasi yang cukup baik.

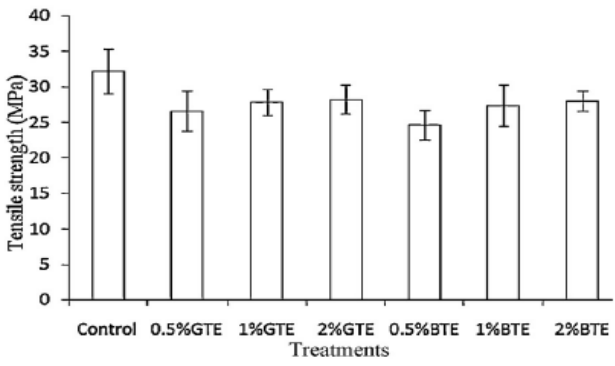
---

<sup>93</sup> Joshua D. Lamberta and Ryan J. Elias, "The Antioxidant and Pro-Oxidant Activities of Green Tea Polyphenols: A Role in Cancer Prevention," *Arch Biochem Biophys.* 23, no. 1 (2008): 1–7.

<sup>94</sup> Peng, Wu, and Li, "International Journal of Biological Macromolecules Development of Tea Extracts and Chitosan Composite Films for Active Packaging Materials."



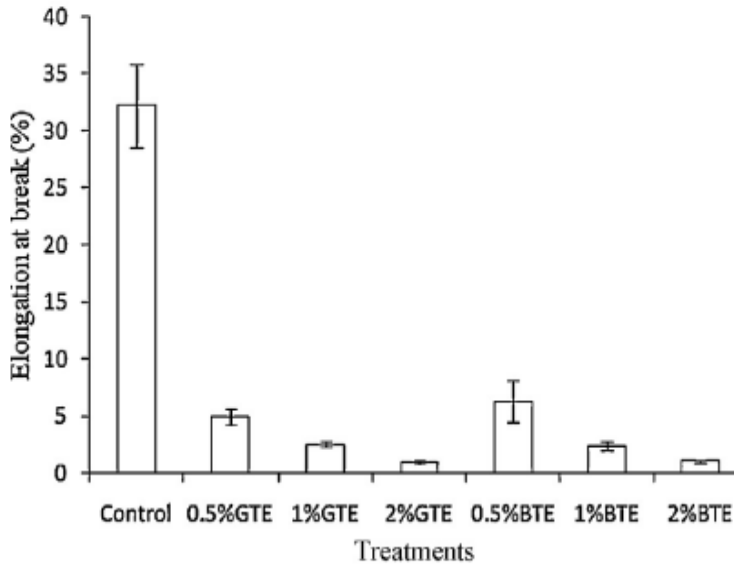
Gambar 58. Struktur kimia dari komponen utama teh  
(Sumber: Lamberta and Elias, 2008)



Gambar 59. Hasil uji kuat tarik film kitosan-ekstrak teh  
(Peng et al. 2013)<sup>95</sup>

<sup>95</sup> *Tensile Strength* merupakan nama lain dari kuat tarik.  
GTE: *green tea extract* (ekstrak teh hijau), BTE: *black tea extract* (ekstrak teh hitam)





Gambar 60. Hasil uji elongasi film kitosan-ekstrak teh (Peng et al. 2013)<sup>96</sup>

Berdasarkan hasil uji mekanik film, nilai kekuatan tarik dan perpanjangan putus (elongasi) secara signifikan menurun dengan penambahan ekstrak teh ke dalam film kitosan (Gambar 59 dan Gambar 60). Pada konsentrasi rendah, nilai kuat tarik dan perpanjangan putus (elongasi) menurun sebesar 17,5% dan 84,5% pada film yang terbuat dari kitosan dan 0,5% ekstrak teh hijau jika dibandingkan dengan film kontrol. Sánchez-González dkk. menemukan adanya perilaku yang sama saat menganalisis sifat mekanik kitosan film yang dicampurkan dengan minyak esensial. Park dan Zhao juga melaporkan bahwa semakin tinggi konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  atau Vitamin E pada matriks kitosan, semakin rendah nilai kuat tarik dan perpanjangannya. Penurunan kuat tarik dan elongasi dapat dijelaskan oleh penurunan struktur kristal dan

<sup>96</sup> Elongation: elongasi, treatments: perlakuan yang diberikan

ikatan hidrogen antarmolekul dalam matriks kitosan. Dari hasil yang dilihat pada Gambar 59, tidak ada perbedaan yang signifikan pada kekuatan tarik yang diamati antara konsentrasi ekstrak teh rendah (0,5%) dan tinggi (2%). Ini menunjukkan bahwa ekstrak teh dalam konsentrasi rendah sudah lebih dulu secara signifikan menghancurkan struktur matriks kitosan.

DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) radikal adalah salah satu radikal stabil radikal nitrogen organik dan uji aktivitas pemulungannya dianggap sebagai salah satu metode paling standar untuk penentuan kapasitas antioksidan. Aktivitas antioksidan terbesar dari ekstrak teh adalah sekitar 94,9. Kemampuan aktivitas antioksidan film dipelajari dalam periode waktu tertentu menggunakan empat cairan simulasi makanan yaitu arutan berair dengan 0%, 20%, 75% dan 95% etanol) untuk menunjukkan mekanisme pelepasan zat antioksidan dari film. Kemampuan pengikatan radikal DPPH dari control sangat rendah terendah dan kemampuan pengikatan radikalnya /aktivitas antioksidannya hampir tidak terdeteksi. Penambahan ekstrak teh hijau ke dalam film kitosan secara signifikan meningkatkan aktivitas antioksidannya. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak teh hijau (GTE) dan ekstrak teh hitam (BTE) akan menyebabkan semakin cepatnya radikal tersebut kembali ke kondisi stabil. Waktu tercepat ditemukan pada film kitosan dengan konsentrasi ekstrak teh hijau sebesar 2%.

Selanjutnya, Buonocore dkk. melaporkan bahwa pelepasan senyawa aktif dari jaringan polimer terjadi melalui beberapa langkah. Pada awalnya, pelarut dari molekul akan menembus dari luar larutan ke dalam polimer matriks dan menyebabkan pembengkakan (*swelling*). Perubahan ini terjadi disebabkan oleh kondisi pada struktur film memungkinkan terjadinya proses difusi senyawa aktif melalui matriks polimer ke dalam larutan yang lebih luar sampai kesetimbangan termodinamika tercapai.

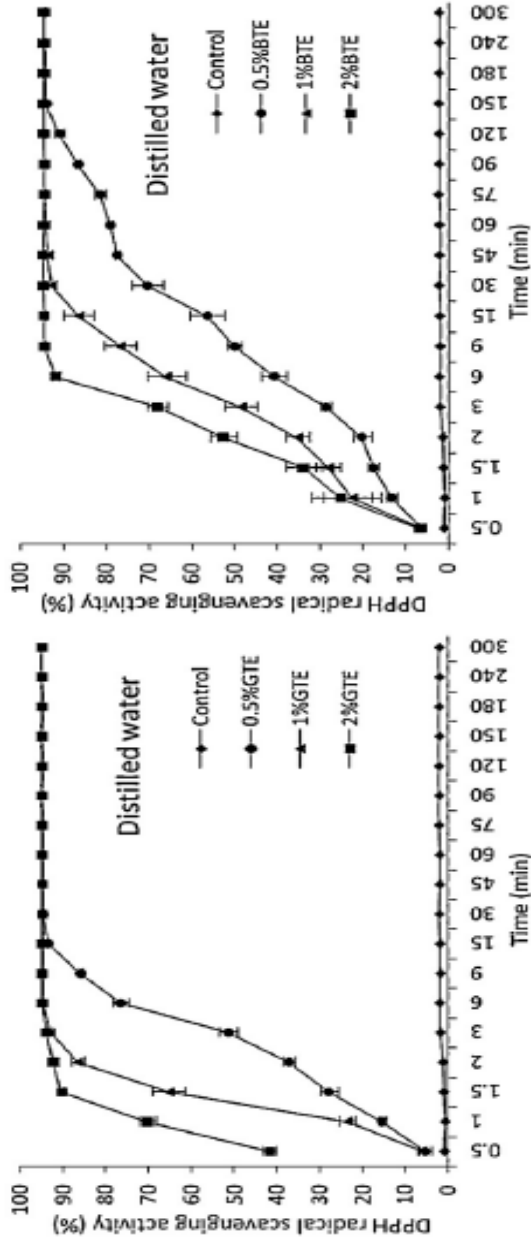
Dengan demikian, keluarnya ekstrak teh dari kitosan film dapat dikaitkan dengan beberapa faktor seperti pelarut, kelarutan polimer dan sifat pembengkakan, interaksi antarmolekul antara ekstrak teh dan kitosan.

Film yang dibuat dengan penambahan ekstrak the hijau memiliki aktivitas antioksidan (%RSA) yang lebih tinggi daripada film dengan penambahan ekstrak the hitam pada semua larutan (0%, etanol 20%, etanol 75% dan etanol 95%). Sebagai contoh, waktu ekuilibrasi untuk mencapai %RSA tertinggi Pada film kitosan-2% GTE dalam air adalah 2 menit, sedangkan pada film kitosan-2% BTE adalah 6 menit. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh adanya komponen yang berbeda antara GTE dan BTE sehingga mengakibatkan perbedaan derajat pembengkakan dan kelarutan dalam larutan. Oleh sebab itu, hal ini akan mengarah pada profil pelepasan yang berbeda.

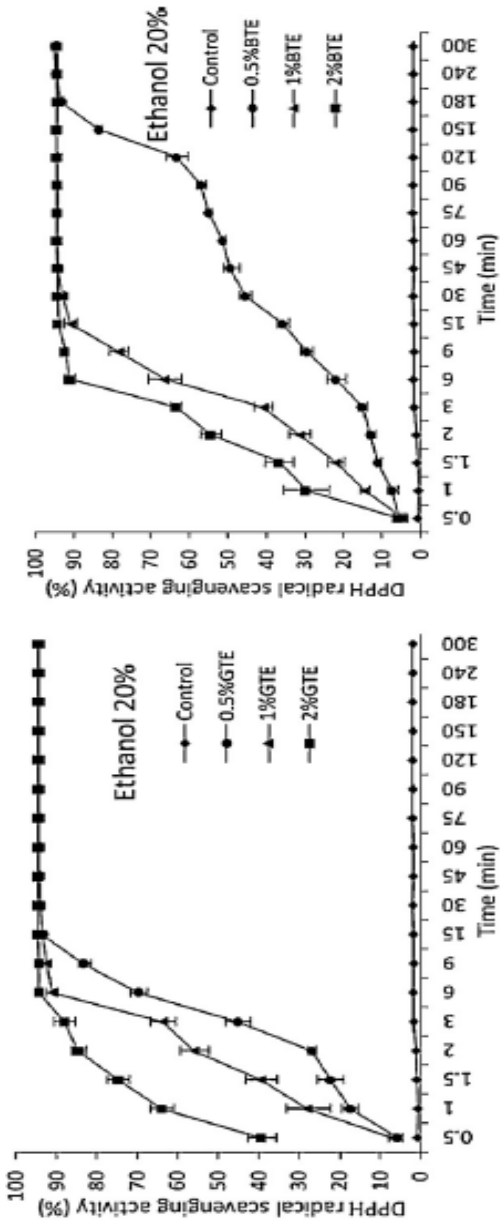
Adapun profil pelepasan dalam cairan simulasi pangan yang berbeda (0%, etanol 20%, etanol 75% dan etanol 95%), waktu kesetimbangan menurun ketika adanya peningkatan konsentrasi etanol. Dalam film kitosan-2% GTE, waktu kesetimbangan dalam etanol 95% adalah 2 jam yang secara signifikan lebih lambat dibandingkan dengan pada air. Sánchez-González dkk. melaporkan bahwa polaritas molekul pelarut merupakan faktor yang penting yang berhubungan dengan pelepasan agen aktif dari film. Semakin tinggi kandungan etanol, semakin rendah polaritasnya. Oleh sebab itu, untuk pelepasan senyawa dari matriks polimer, perilaku yang diamati dalam stimulan pangan yang berbeda dapat dijelaskan menggunakan polaritas dari molekul pelarut.

Pada Tabel 12 terlihat bahwa ketebalan film meningkat seiring dengan peningkatan jumlah ekstrak the yang ditambahkan ke dalam larutan film. Kandungan air dan WVP menurun dengan pengembunan ekstrak teh (ekstrak teh hijau

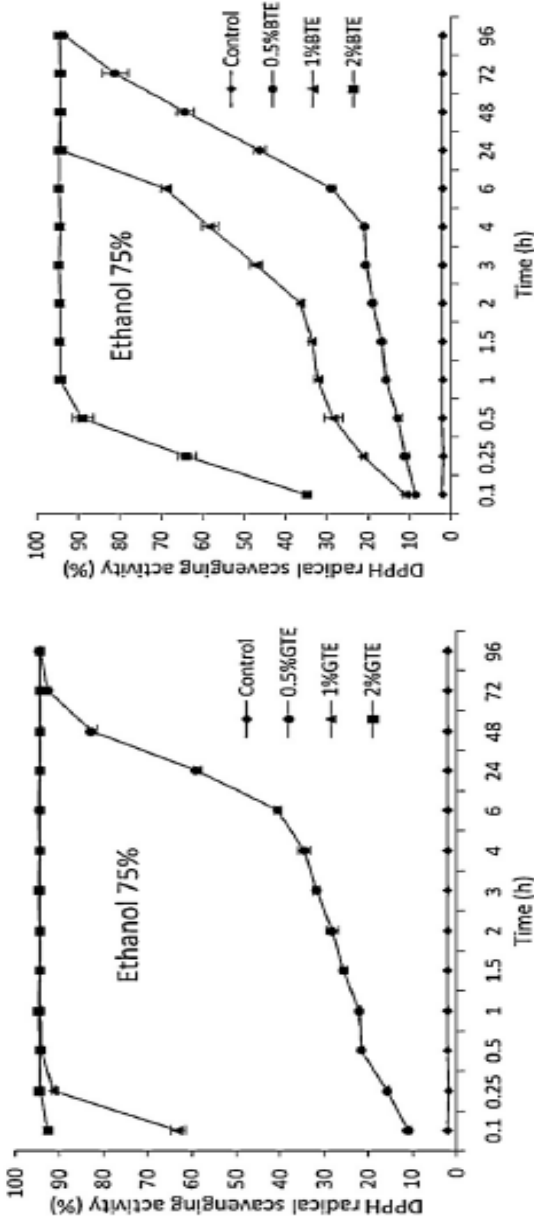
(GTE) dan ekstrak teh hitam (BTE). Ketika 2% ekstrak teh hijau ditambahkan ke dalam larutan film, nilai WVP menurun sebesar 62,1% dibandingkan dengan kontrol. Beberapa penelitian melaporkan tren serupa dimana kadar air dan WVP film yang berbasis kitosan menurun dengan penambahan suatu mineral. Mereka menemukan bahwa interaksi meningkat pada struktur molekul yang saling berdekatan setelah penambahan mineral atau vitamin ke dalam matriks film. Hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan difusivitas uap air melalui film matriks. Gómez-Guillén dkk. juga melaporkan bahwa ada penurunan jumlah dari gugus hidrogen karena ikatan silang antara gelatin-ikan tuna dengan ekstrak antioksidan. Oleh sebab itu, penurunan kadar air dan WVP ini dapat dikaitkan dengan adanya interaksi antara ekstrak teh dan kitosan yang dapat menghancurkan ikatan hidrogen pada kitosan-air dalam matriks.



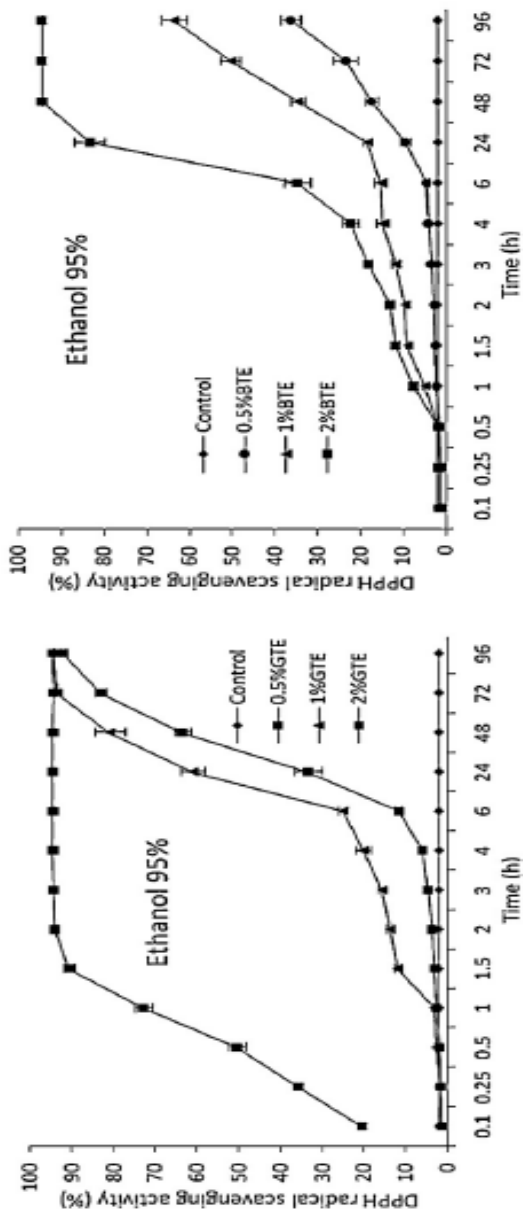
Gambar 61. Profil pelepasan dari film kitosan dengan penambahan ekstrak teh pada food simulant berupa air (Peng et al. 2013)



Gambar 62. Profil pelepasan dari film kitosan dengan penambahan ekstrak teh pada food simulant berupa etanol 20% (Peng et al. 2013)



Gambar 63. Profil pelepasan dari film kitosan dengan penambahan ekstrak teh pada food simulant berupa etanol 75% (Peng et al. 2013)



Gambar 64. Profil pelepasan dari film kitosan dengan penambahan ekstrak teh pada food simulant berupa etanol 95% (Peng et al. 2013)



Tabel 12. Nilai ketebalan, penyerapan air, dan permeabilitas uap air dari film komposit kitosan dengan penambahan ekstrak teh<sup>97</sup>

| Films      | Thickness ( $\mu\text{m}$ ) | Water content (%) | WVP $\times 10^{-11}$ ( $\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ) |
|------------|-----------------------------|-------------------|--|
| Control    | 72.4 $\pm$ 1.1a             | 28.91 $\pm$ 1.09a | 13.39 $\pm$ 0.75a  |
| CH-0.5%GTE | 96.2 $\pm$ 3.3b             | 19.81 $\pm$ 1.94c | 8.34 $\pm$ 0.61c   |
| CH-1%GTE   | 118.2 $\pm$ 3.4d            | 14.12 $\pm$ 0.98d | 6.68 $\pm$ 0.77de  |
| CH-2%GTE   | 131.8 $\pm$ 3.4e            | 10.78 $\pm$ 0.20e | 5.07 $\pm$ 0.15f   |
| CH-0.5%BTE | 98.4 $\pm$ 2.9b             | 23.20 $\pm$ 0.45b | 11.51 $\pm$ 1.53b  |
| CH-1%BTE   | 112.2 $\pm$ 2.4c            | 19.12 $\pm$ 1.74c | 7.81 $\pm$ 0.78cd  |
| CH-2%BTE   | 131.0 $\pm$ 3.7e            | 11.73 $\pm$ 0.25e | 5.82 $\pm$ 0.16ef  |

(Sumber: Peng et al. 2013)

<sup>97</sup> Thickness: ketebalan, water content: penyerapan air, WVP: water vapor permeability, CH: kitosan, GTE: green tea extract (ekstrak teh hijau), BTE: black tea extract (ekstrak teh hitam)

## SIMPULAN

1. Kitosan dan alginat sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan dasar film pengemas berbasis *active packaging* karena kitosan memiliki aktivitas antibakteri.
2. Film yang dibuat dari bahan dasar kitosan-alginat menghasilkan sifat mekanik yang baik dan cukup kuat.
3. Pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat terjadi secara lambat dan berkelanjutan (*sustained release*) yang mengindikasikan bahwa ada eugenol yang terikat pada film dapat larut dalam air.
4. Pelepasan eugenol dari film KPE kitosan-alginat mengikuti model Korsmeyer-Peppas dengan nilai  $n < 0,5$ . Hal ini menunjukkan pelepasan eugenol terjadi secara difusi tanpa diikuti peluruhan film.
5. Film KPE kitosan-alginat menunjukkan adanya aktivitas antioksidan yang cukup baik sehingga berpotensi untuk diaplikasikan pada makanan.
6. Berdasarkan kajian literatur, salah satu ekstrak tanaman yang sangat berpotensi sebagai agen aktif dalam pengembangan suatu *active packaging* ialah ekstrak teh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Althaf, Abdul S, T Seshadri, M Sivakranth, and Umal S Khair. "Design and Study of Lamivudine Oral Sustained Release Tablets" 1, no. 2 (2010): 61–76.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan RI. *Pedoman Produksi Da Distribusi Pangan Olahan Pada Masa Status Darurat Kesehatan Corona Virus Disease 2019 (Covid-19) Di Indonesia*. BADAN PENGAWAS OBAT DAN MAKANAN RI, 2016.
- Biji, K B, C N Ravishankar, and C O Mohan. "Smart Packaging Systems for Food Applications : A Review." *Journal of Food Sci Technol* 52, no. October (2015): 6125–6135.
- Bourtoom, Thawien. "Plasticizer Effect on the Properties of Biodegradable Blend Film from Rice Starch-Chitosan." *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 30, no. April (2008): 149–155.
- Broderick, Eilish, Henry Lyons, Tony Pembroke, Hugh Byrne, Brian Murray, and Michael Hall. "The Characterisation of a Novel, Covalently Modified, Amphiphilic Alginate Derivative, Which Retains Gelling and Non-Toxic Properties." *Journal of Colloid and Interface Science* 298, no. 1 (2006): 154–161.
- Cavatão De Freitas, Tuanny, Ronaldo Junio De Oliveira, Ricardo José De Mendonça, Pamela Aparecida Candido, Luciana Lopes Silva Pereira, Karina Ferrazzoli Devienne, Ana Carolina Da Silva, and Chrystian Araújo Pereira. "Identification of Bioactive Compounds and Analysis of Inhibitory Potential of the Digestive Enzymes from Syzygium Sp. Extracts." *Journal of Chemistry* 2019 (2019).
- Chi, S., S. Zivanovic, and M. P. Penfield. "Application of Chitosan Films Enriched with Oregano Essential Oil on Bologna - Active Compounds and Sensory Attributes." *Food Science and Technology International* 12, no. 2 (2006): 111–117.
- Dash, Suvakanta, Padala Narasimha Murthy, Lilakanta Nath, and Prasanta Chowdhury. "Kinetic Modeling on Drug Release from

- Controlled Drug Delivery Systems.” *Acta poloniae pharmaceutica* 67, no. 3 (2010): 217–23.
- Dicastillo, Carol López De, María Mar Castro-lópez, José Manuel López-vilariño, and María Victoria González-rodríguez. “Immobilization of Green Tea Extract on Polypropylene Films to Control the Antioxidant Activity in Food Packaging.” *FRIN* 53, no. 1 (2013): 522–528. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.05.022>.
- Fakhreddin, Seyed, Masoud Rezaei, Mojgan Zandi, and Farhid Farahmand. “Preparation and Functional Properties of Fish Gelatin – Chitosan Blend Edible Films.” *Food Chemistry* 136, no. 3–4 (2013): 1490–1495. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.081>.
- Farhath, Seema. “Antioxidant Activity of Geraniol , Geraniol Acetate , Gingerol and Eugenol” 3, no. 1 (2013): 1–6.
- Gargiulo, Nicola, Ilaria Attianese, Giovanna Giuliana, Domenico Caputo, Margherita Lavorgna, Giuseppe Mensitieri, and Marino Lavorgna. “Microporous and Mesoporous Materials a - Tocopherol Release from Active Polymer Films Loaded with Functionalized SBA-15 Mesoporous Silica.” *Microporous and Mesoporous Materials* 167 (2013): 10–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.07.037>.
- Gata, Masahiro O, Midori H Oshi, Shiro U Rano, and Toyoshige Endo. “Antioxidant Activity of Eugenol and Related Monomeric and Dimeric Compounds.” *Chem. Pharm. Bull* 48, no. October (2000): 1467–1469.
- Gennadios, A., C. L. Weller, and R. F. Testin. “Property Modification of Edible Wheat, Gluten-Based Films.” *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 36, no. 2 (1993): 465–470.
- Habiburrohman Denny & Sukohar Asep. “Aktivitas Antioksidan Dan Antimikrobia Pada Polifenol Teh Hijau.” *Agromedicine Unila* 5, no. 2 (2018): 587–591.

- Hosseini, M.H, S.H Razavi, and M.A Mousavi. “Antimicrobial, Physical, and Mechanical Properties of Chitosan-Based Films Incorporated with Thyme, Clove, and Cinnamon Essential Oils.” *Journal of Food Processing and Preservation* 33 (2009): 727–743.
- Kaur, Simran, and Divya Puri. “Active and Intelligent Packaging : A Boon to Food Packaging.” *International Journal of Food Science and Nutrition* 2, no. 4 (2017): 15–18.
- Koontz, John L, and Virginia Tech. “Special Delivery : Controlled Release of Active Ingredients from Food and Beverage Packaging.” *Italian Packaging Technology Award (IPTA) Paper Competition*, no. February (2006).
- Lamberta, Joshua D., and Ryan J. Elias. “The Antioxidant and Pro-Oxidant Activities of Green Tea Polyphenols: A Role in Cancer Prevention.” *Arch Biochem Biophys.* 23, no. 1 (2008): 1–7.
- Lawrie, Gwen, Imelda Keen, Barry Drew, Adrienne Chandler-temple, Llewellyn Rintoul, Peter Fredericks, and Lisbeth Grøndahl. “Interactions between Alginate and Chitosan Biopolymers Characterized Using FTIR and XPS.” *Biomacromolecules* 8 (2007): 2533–2541.
- Li, Jian-hua, Jing Miao, Jiu-lin Wu, Shan-fei Chen, and Qi-qing Zhang. “Food Hydrocolloids Preparation and Characterization of Active Gelatin-Based Films Incorporated with Natural Antioxidants.” *Food hydrocolloids* 37 (2014): 166–173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.015>.
- Li, Xiaoxia, Hongguo Xie, Junzhang Lin, Weiyang Xie, and Xiaojun Ma. “Characterization and Biodegradation of Chitosan – Alginate Polyelectrolyte Complexes.” *Polymer Degradation and Stability* 94, no. 1 (2009): 1–6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2008.10.017>.
- López-de-dicastillo, Carol, Joaquin Gómez-estaca, Ramón Catalá, Rafael Gavara, and Pilar Hernández-muñoz. “Active Antioxidant Packaging Films : Development and Effect on Lipid Stability of Brined Sardines” 131 (2012): 1376–1384.

- Majid, Ishrat, Gulzar Ahmad Nayik, Shuaib Mohammad Dar, and Vikas Nanda. "Novel Food Packaging Technologies : Innovations and Future Prospective." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>.
- Molyneux, Philip. "The Use of the Stable Free Radical Diphenylpicryl- Hydrazyl ( DPPH ) for Estimating Antioxidant Activity" 50, no. June 2003 (n.d.).
- No, Hong Kyoon, Na Young Park, Shin Ho Lee, and Samuel P. Meyers. "Antibacterial Activity of Chitosans and Chitosan Oligomers with Different Molecular Weights." *International Journal of Food Microbiology* 74, no. 1–2 (2002): 65–72.
- Nounou, Mohamed Mahmoud, Labiba K El-khordagui, Nawal A Khalafallah, and Said A Khalil. "In Vitro Release of Hydrophilic and Hydrophobic Drugs from Liposomal Dispersions and Gels" 56 (2006): 311–324.
- Nurhayati, and Agusman. "EDIBLE FILM KITOSAN DARI LIMBAH UDANG." *Squalen* 6, no. 1 (2000): 38–44.
- Pati, Antimikroba Berbasis, and Christina Winarti. "Teknologi Produksi Dan Aplikasi Pengemas." *J. Litbang Pert.* V 31, no. 3 (2012): 85–93.
- Pen, Ditjen, Warta Ekspor, and Edisi Mei. "Kemasan Sebagai Daya Saing Produk." *Kementerian Perdagangan*, 2016.
- Peng, Yong, Yan Wu, and Yunfei Li. "International Journal of Biological Macromolecules Development of Tea Extracts and Chitosan Composite Films for Active Packaging Materials." *International Journal of Biological Macromolecules* 59 (2013): 282–289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.019>.
- Ramos, Marina, Alfonso Jiménez, Mercedes Peltzer, and María C Garrigós. "Characterization and Antimicrobial Activity Studies of Polypropylene Films with Carvacrol and Thymol for Active Packaging." *Journal of Food Engineering* 109, no. 3 (2012): 513–519. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.031>.

- Rreola, W Ilfrido T Orres, H Erlinda S O T O Aldez, E Lizabeth P Eralta, Ä Pez, J Osafat M Arina, and E Zquerra Rauer. “Effect of a Low-Density Polyethylene Film Containing Butylated Hydroxytoluene on Lipid Oxidation and Protein Quality of Sierra Fish ( *Scomberomorus Sierra* ) Muscle during Frozen Storage” (2007): 6140–6146.
- Rubilar, Javiera F, Rui M S Cruz, Hélder D Silva, António A Vicente, Igor Khmelinskii, and Margarida C Vieira. “Physico-Mechanical Properties of Chitosan Films with Carvacrol and Grape Seed Extract.” *Journal of Food Engineering* 115, no. 4 (2013): 466–474. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.009>.
- Siripatrawan, Ubonrat, and Bruce R Harte. “Food Hydrocolloids Physical Properties and Antioxidant Activity of an Active Film from Chitosan Incorporated with Green Tea Extract.” *Food hydrocolloids* 24, no. 8 (2010): 770–775. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.003>.
- Smitha, B, S Sridhar, and A A Khan. “EUROPEAN POLYMER Chitosan – Sodium Alginate Polyion Complexes as Fuel Cell Membranes” 41 (2005): 1859–1866.
- Subaryono. “Modifikasi Alginat Dan Pemanfaatan Produknya.” *Squalen* 5, no. 1 (2010): 1–7.
- Supeni, Guntarti, and Suryo Irawan. “Pengaruh Penggunaan Kitosan Terhadap Sifat Barrier Edible Film Tapioka Termodifikasi.” *Jurnal Kimia dan Kemasan* 34, no. 1 (2014): 199.
- Tongnuanchan, Phakawat, Soottawat Benjakul, and Thummanoon Prodpran. “Physico-Chemical Properties , Morphology and Antioxidant Activity of Film from Fish Skin Gelatin Incorporated with Root Essential Oils.” *Journal of Food Engineering* 117, no. 3 (2013): 350–360. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.005>.
- Vilela, Carla, Mia Kurek, Zvi Hayouka, Bettina Röcker, Selçuk Yildirim, Maria Dulce, C Antunes, Julie Nilsen-nygaard, Marit Kvalvåg, and Carmen S R Freire. “Trends in Food Science &

Technology A Concise Guide to Active Agents for Active Food Packaging.” *Trends in Food Science & Technology* 80, no. August (2018): 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.006>.

Widiastuti, D W I Retno. *KAJLAN KEMASAN PANGAN AKTIF DAN CERDAS ( ACTIVE AND INTELLIGENT FOOD PACKAGING )*. Indonesia, 2016.

Woranuch, Sarekha, and Rangrong Yoksan. “Eugenol-Loaded Chitosan Nanoparticles : II . Application in Bio-Based Plastics for Active Packaging.” *Carbohydrate Polymers* 96, no. 2 (2013): 586–592. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.099>.

Yan, Xiaoling, Eugene Khor, and Lee-yong Lim. “PEC Films Prepared from Chitosan-Alginate Coacervates.” *Chem. Pharm. Bull* 48, no. 7 (2000): 941–946.



## INDEKS

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| Active packaging              | 4, 8, 30   |
| Agen aktif                    | 36         |
| Alginat                       | 81, 83, 86 |
| Antioksidan                   | 104, 149   |
| Bio-degradable                | 6, 26      |
| Controlled release            | 56         |
| Edible coating                | 27         |
| Edible film                   | 27         |
| Ekstrak teh                   | 155        |
| Film KPE kitosan-alginat      | 92, 109    |
| Food grade                    | 25         |
| Food simulant                 | 71, 73, 96 |
| FTIR film                     | 15, 111    |
| Hidrofilisitas film           | 119        |
| Intelligent packaging         | 38         |
| Kemasan antimikroba           | 50         |
| Kinetika pelepasan            | 97, 148    |
| Kitosan                       | 74, 92     |
| Metode wet cup                | 19         |
| Modified Atmosphere Packaging | 38         |
| Pelepas karbondioksida        | 47         |

|                      |         |
|----------------------|---------|
| Penjerap oksigen     | 40      |
| Penjerap kelembaban  | 45      |
| Penjerap etilen      | 48      |
| Teknik TGA/DTA       | 22, 140 |
| Tipe simulant pangan | 73      |
| SEM                  | 24      |
| Sifat mekanik film   | 18, 125 |
| Sustained release    | 56      |

## LAMPIRAN

**Lampiran 1. Data Penyerapan Air Film**

| Film | Ulangan ke- | $W_{\text{kering}}$ (g) | $W_{\text{basah}}$ (g) | % penyerapan air |
|------|-------------|-------------------------|------------------------|------------------|
| A1   | 1           | 0,0177                  | 0,0261                 | 47,46            |
|      | 2           | 0,0260                  | 0,0380                 | 46,15            |
|      | 3           | 0,0235                  | 0,0342                 | 45,15            |
|      |             |                         |                        | $46,25 \pm 1,16$ |
| A2   | 1           | 0,0205                  | 0,0305                 | 48,78            |
|      | 2           | 0,0266                  | 0,0398                 | 49,62            |
|      | 3           | 0,0249                  | 0,0370                 | 48,49            |
|      |             |                         |                        | $48,90 \pm 0,67$ |
| A3   | 1           | 0,0322                  | 0,0489                 | 51,86            |
|      | 2           | 0,0307                  | 0,0463                 | 50,71            |
|      | 3           | 0,0316                  | 0,0481                 | 52,22            |
|      |             |                         |                        | $51,60 \pm 0,79$ |
| B1   | 1           | 0,0271                  | 0,0411                 | 51,66            |
|      | 2           | 0,0266                  | 0,0402                 | 51,13            |
|      | 3           | 0,0242                  | 0,0367                 | 51,65            |
|      |             |                         |                        | $51,48 \pm 0,30$ |
| B2   | 1           | 0,0205                  | 0,0305                 | 48,78            |
|      | 2           | 0,0266                  | 0,0398                 | 49,62            |

| Film | Ulangan ke- | $W_{\text{kering}}$ (g) | $W_{\text{basah}}$ (g) | % penyerapan air |
|------|-------------|-------------------------|------------------------|------------------|
|      | 3           | 0,0249                  | 0,0370                 | 48,49            |
|      |             |                         |                        | $48,90 \pm 0,67$ |
| B3   | 1           | 0,0322                  | 0,0467                 | 45,03            |
|      | 2           | 0,0365                  | 0,0527                 | 44,38            |
|      | 3           | 0,0395                  | 0,0567                 | 43,54            |
|      |             |                         |                        | $44,31 \pm 0,74$ |

## Lampiran 2. Data Pelepasan Eugenol

### 2.1 Data pelepasan eugenol pada variasi komposisi KPE kitosan-alginat

| Waktu (jam) | n ke- | Film A1         |                 | Film A2         |                 | Film A3         |                 |
|-------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|             |       | C (ppm)         | % pelepasan     | C (ppm)         | % pelepasan     | C (ppm)         | % pelepasan     |
| 1           | 1     | 1,2105          | 0,42            | 2,0263          | 0,71            | 1,7105          | 0,6             |
|             | 2     | 1,1842          | 0,41            | 1,8158          | 0,64            | 1,7368          | 0,61            |
|             | 3     | 1,1053          | 0,38            | 1,9474          | 0,68            | 1,8421          | 0,64            |
|             |       | $1,17 \pm 0,05$ | $0,41 \pm 0,01$ | $1,93 \pm 0,08$ | $0,67 \pm 0,02$ | $1,76 \pm 0,06$ | $0,62 \pm 0,02$ |
| 3           | 1     | 1,4737          | 0,52            | 2,2368          | 0,78            | 1,8158          | 0,63            |
|             | 2     | 1,5             | 0,52            | 2,0526          | 0,72            | 2,0263          | 0,71            |
|             | 3     | 1,5789          | 0,55            | 2,1053          | 0,74            | 2               | 0,7             |
|             |       | $1,52 \pm 0,05$ | $0,53 \pm 0,02$ | $2,15 \pm 0,07$ | $0,75 \pm 0,03$ | $1,95 \pm 0,08$ | $0,68 \pm 0,04$ |
| 6           | 1     | 1,7105          | 0,60            | 2,5526          | 0,89            | 2,895           | 0,8             |
|             | 2     | 1,8158          | 0,63            | 2,2437          | 0,86            | 2,4474          | 0,85            |
|             | 3     | 1,7632          | 0,62            | 2,5263          | 0,88            | 2,2632          | 0,79            |
|             |       | $1,76 \pm 0,05$ | $0,62 \pm 0,01$ | $2,52 \pm 0,04$ | $0,88 \pm 0,01$ | $2,33 \pm 0,09$ | $0,82 \pm 0,03$ |
| 1           | 2     |                 | 0,7             | 3,4737          | 1,21            | 2,5263          | 0,88            |

|       |   |             |             |             |             |             |             |
|-------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 24    | 2 | 2,1579      | 0,75        | 3,7105      | 1,29        | 2,5789      | 0,91        |
|       | 3 | 2,1316      | 0,74        | 3,5526      | 1,24        | 2,3947      | 0,84        |
|       |   | 2,09 ± 0,08 | 0,73 ± 0,02 | 3,58 ± 0,10 | 1,25 ± 0,04 | 2,50 ± 0,09 | 0,88 ± 0,03 |
| <hr/> |   |             |             |             |             |             |             |
|       | 1 | 2,2632      | 0,79        | 3,7895      | 1,32        | 2,6579      | 0,93        |
| 48    | 2 | 2,3158      | 0,81        | 3,7105      | 1,3         | 2,6842      | 0,94        |
|       | 3 | 2,2105      | 0,77        | 3,6842      | 1,29        | 2,5263      | 0,88        |
|       |   | 2,26 ± 0,05 | 0,79 ± 0,02 | 3,73 ± 0,05 | 1,30 ± 0,01 | 2,62 ± 0,08 | 0,92 ± 0,02 |
| <hr/> |   |             |             |             |             |             |             |
|       | 1 | 2,4737      | 0,86        | 3,9737      | 1,39        | 3,2895      | 1,15        |
| 72    | 2 | 2,5526      | 0,89        | 4,1053      | 1,43        | 3,2616      | 1,14        |
|       | 3 | 2,4474      | 0,86        | 3,7368      | 1,31        | 3,1579      | 1,1         |
|       |   | 2,49 ± 0,05 | 0,87 ± 0,01 | 3,94 ± 0,12 | 1,38 ± 0,06 | 3,24 ± 0,06 | 1,13 ± 0,02 |
| <hr/> |   |             |             |             |             |             |             |
|       | 1 | 2,6316      | 0,92        | 4,2105      | 1,47        | 3,5526      | 1,24        |
| 96    | 2 | 2,7368      | 0,96        | 4,1316      | 1,44        | 3,4211      | 2,2         |
|       | 3 | 2,6842      | 0,94        | 4,1053      | 1,43        | 3,3684      | 1,18        |
|       |   | 2,68 ± 0,05 | 0,94 ± 0,02 | 4,15 ± 0,05 | 1,45 ± 0,01 | 3,45 ± 0,09 | 1,21 ± 0,03 |

## Lampiran 2 Data Pelepasan Eugenol (Lanjutan)

2.2 Data pelepasan eugenol pada variasi konsentrasi eugenol

| Waktu (jam) | n ke- | Film B1     |             | Film B2     |             | Film B3     |             |
|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|             |       | C (ppm)     | % pelepasan | C (ppm)     | % pelepasan | C (ppm)     | % pelepasan |
| 1           | 1     | 1,1053      | 0,77        | 2,0263      | 0,71        | 2,5263      | 0,44        |
|             | 2     | 1,2105      | 0,85        | 1,8158      | 0,64        | 2,4737      | 0,43        |
|             | 3     | 1,1579      | 0,81        | 1,9474      | 0,68        | 2,6579      | 0,47        |
| 3           | 1     | 1,16 ± 0,05 | 0,81 ± 0,04 | 1,93 ± 0,08 | 0,67 ± 0,02 | 2,55 ± 0,09 | 0,45 ± 0,02 |
|             | 2     | 1,3421      | 0,94        | 2,2368      | 0,78        | 3,9474      | 0,69        |
|             | 3     | 1,4211      | 0,99        | 2,0526      | 0,72        | 3,9737      | 0,7         |
| 6           | 1     | 1,36 ± 0,05 | 0,95 ± 0,03 | 2,15 ± 0,07 | 0,75 ± 0,03 | 3,92 ± 0,07 | 0,69 ± 0,01 |
|             | 2     | 1,6842      | 1,18        | 2,5526      | 0,89        | 4,9737      | 0,87        |
|             | 3     | 1,6053      | 1,12        | 2,2437      | 0,86        | 5,0789      | 0,89        |
| 24          | 1     | 1,5789      | 1,1         | 2,5263      | 0,88        | 4,9474      | 0,86        |
|             | 2     | 1,62 ± 0,05 | 1,13 ± 0,04 | 2,52 ± 0,04 | 0,88 ± 0,01 | 4,99 ± 0,06 | 0,88 ± 0,01 |
|             | 3     | 1,8421      | 1,29        | 3,4737      | 1,21        | 5,3421      | 0,94        |
|             |       | 1,7895      | 1,25        | 3,7105      | 1,29        | 5,2105      | 0,91        |

|   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 3 | 1,9737          | 1,38            | 3,5526          | 1,24            | 5,2368          | 0,92            |
|   | $1,86 \pm 0,09$ | $1,31 \pm 0,06$ | $3,58 \pm 0,10$ | $1,25 \pm 0,04$ | $5,26 \pm 0,06$ | $0,92 \pm 0,01$ |
| 1 | 2,0263          | 1,42            | 3,7895          | 1,32            | 7,6842          | 1,35            |
| 2 | 2,1579          | 1,51            | 3,7105          | 1,3             | 7,6579          | 1,34            |
| 3 | 1,8947          | 1,32            | 3,6842          | 1,29            | 7,5526          | 1,33            |
|   | $2,02 \pm 0,13$ | $1,41 \pm 0,08$ | $3,73 \pm 0,05$ | $1,30 \pm 0,01$ | $7,63 \pm 0,07$ | $1,34 \pm 0,01$ |
| 1 | 2,2368          | 1,56            | 3,9737          | 1,39            | 7,7632          | 1,36            |
| 2 | 2,1579          | 1,51            | 4,1053          | 1,43            | 8,1052          | 1,42            |
| 3 | 2,1316          | 1,49            | 3,7368          | 1,31            | 7,7105          | 1,35            |
|   | $2,18 \pm 0,05$ | $1,52 \pm 0,03$ | $3,94 \pm 0,12$ | $1,38 \pm 0,06$ | $7,86 \pm 0,21$ | $1,38 \pm 0,03$ |
| 1 | 2,3158          | 1,62            | 4,2105          | 1,47            | 8,3684          | 1,47            |
| 2 | 2,4737          | 1,73            | 4,1316          | 1,44            | 8,0263          | 1,41            |
| 3 | 2,3421          | 1,64            | 4,1053          | 1,43            | 8,1053          | 1,42            |
|   | $2,38 \pm 0,08$ | $1,66 \pm 0,05$ | $4,15 \pm 0,05$ | $1,45 \pm 0,01$ | $8,17 \pm 0,17$ | $1,43 \pm 0,03$ |



### Lampiran 3. Data Permeabilitas Uap Air (WVP) Film

| Film              | n | Nilai WVP ( $\times 10^{-9}$ g det $^{-1}$ m $^{-1}$ Pa $^{-1}$ ) |          |          |          |          |          | Rerata nilai WVP<br>( $\times 10^{-9}$ g det $^{-1}$ m $^{-1}$ Pa $^{-1}$ ) |
|-------------------|---|---|----------|----------|----------|----------|----------|---|
|                   |   | Jam ke-1  | Jam ke-2 | Jam ke-3 | Jam ke-4 | Jam ke-5 | Jam ke-5 |   |
| A1                | 1 | 1,5979  | 1,6249   | 1,562    | 1,4955   | 1,6932   | 1,5947   |   |
|                   | 2 | 1,5746  | 1,6051   | 1,6609   | 1,5692   | 1,5925   | 1,6005   |   |
|                   | 3 | 1,6195  | 1,5872   | 1,6752   | 1,6788   | 1,6195   | 1,6360   |   |
| 1,6104 $\pm$ 0,02 |   |   |          |          |          |          |          |   |
| A2                | 1 | 2,0865  | 1,9131   | 1,8963   | 1,8516   | 1,9952   | 1,9485   |   |
|                   | 2 | 1,9467  | 1,8665   | 1,9709   | 1,8852   | 2,1015   | 1,9542   |   |
|                   | 3 | 1,8908  | 2,0623   | 2,0138   | 1,9336   | 1,9672   | 1,9735   |   |
| 1,9587 $\pm$ 0,01 |   |   |          |          |          |          |          |   |
| A3                | 1 | 2,1713  | 2,0886   | 2,3223   | 2,3457   | 2,3187   | 2,2493   |   |
|                   | 2 | 2,3079  | 2,2217   | 2,3421   | 2,3187   | 2,1911   | 2,2763   |   |
|                   | 3 | 2,2037  | 2,2396   | 2,1246   | 2,2594   | 2,2252   | 2,2105   |   |
| 2,2454 $\pm$ 0,03 |   |   |          |          |          |          |          |   |
| B1                | 1 | 2,9573  | 2,8566   | 2,8044   | 3,0375   | 2,9909   | 2,9293   |   |
|                   | 2 | 3,0151  | 2,9331   | 2,976    | 2,782    | 2,7616   | 2,8936   |   |

|                   |        |        |        |        |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3                 | 2,9517 | 2,8678 | 2,8473 | 2,8175 | 2,8287 | 2,8626 |
| $2,8952 \pm 0,03$ |        |        |        |        |        |        |
| 1                 | 2,0865 | 1,9131 | 1,8963 | 1,8516 | 1,9952 | 1,9485 |
| B2                | 2      | 1,9467 | 1,8665 | 1,9709 | 1,8852 | 2,1015 |
|                   | 3      | 1,8908 | 2,0623 | 2,0138 | 1,9336 | 1,9672 |
| $1,9587 \pm 0,01$ |        |        |        |        |        |        |
| 1                 | 1,5985 | 1,5912 | 1,7688 | 1,712  | 1,6644 | 1,6669 |
| B3                | 2      | 1,7633 | 1,7065 | 1,6516 | 1,6223 | 1,6498 |
|                   | 3      | 1,5985 | 1,6608 | 1,6772 | 1,6424 | 1,6827 |
| $1,6660 \pm 0,01$ |        |        |        |        |        |        |

#### Lampiran 4. Data Ketebalan Film

4.1 Data ketebalan film pada variasi komposisi KPE kitosan-alginat

| Ulangan ke- | Ketebalan film (mm) |                     |                     |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|             | A1                  | A2                  | A3                  |
| 1           | 0,023               | 0,022               | 0,021               |
| 2           | 0,022               | 0,023               | 0,021               |
| 3           | 0,021               | 0,022               | 0,022               |
| 4           | 0,021               | 0,023               | 0,022               |
| 5           | 0,020               | 0,021               | 0,021               |
| Rerata (mm) | $0,0214 \pm 0,001$  | $0,0222 \pm 0,0007$ | $0,0214 \pm 0,0005$ |

#### Lampiran 4. Data Ketebalan Film (lanjutan)

4.2 Data ketebalan film pada variasi konsentrasi eugenol

| Ulangan ke- | Ketebalan film (mm) |                     |                     |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|             | B1                  | B2                  | B3                  |
| 1           | 0,023               | 0,022               | 0,022               |
| 2           | 0,023               | 0,023               | 0,021               |
| 3           | 0,022               | 0,022               | 0,022               |
| 4           | 0,022               | 0,023               | 0,023               |
| 5           | 0,021               | 0,021               | 0,021               |
| Rerata (mm) | $0,0222 \pm 0,0007$ | $0,0222 \pm 0,0007$ | $0,0218 \pm 0,0007$ |

### Lampiran 5. Data Transmittans Cahaya dan Nilai Transparansi

| Film            | n ke- | Besarnya transmittans (%) pada $\lambda$ tertentu |       |       |       |       |       |        | Nilai transparansi |
|-----------------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------------|
|                 |       | 200   | 300   | 400   | 500   | 600   | 700   | 800    |                    |
| A1              | 1     | 0,29  | 29,16 | 71,38 | 74,19 | 90,32 | 97,08 | 98,75  | 2,07               |
|                 | 2     | 1,52  | 45,13 | 67,34 | 62,67 | 91,12 | 95,02 | 100,54 | 1,89               |
|                 | 3     | 1,55  | 45,39 | 60,89 | 64,31 | 92,43 | 93,32 | 99,12  | 1,61               |
| $1,86 \pm 0,23$ |       |   |       |       |       |       |       |        |                    |
| A2              | 1     | 0,12  | 45,31 | 62,32 | 68,25 | 87,99 | 91,15 | 92,65  | 2,5                |
|                 | 2     | 0,14  | 38,25 | 52,47 | 60,76 | 88,23 | 90,71 | 92,88  | 2,45               |
|                 | 3     | 0,11  | 45,21 | 64,21 | 70,72 | 86,78 | 94,57 | 95,59  | 2,77               |
| $2,57 \pm 0,17$ |       |   |       |       |       |       |       |        |                    |
| A3              | 1     | 0,16  | 22,23 | 76,81 | 77,47 | 83,18 | 89,32 | 91,64  | 3,73               |
|                 | 2     | 0,12  | 26,86 | 78,64 | 76,41 | 84,86 | 90,73 | 90,23  | 3,42               |
|                 | 3     | 0,94  | 28,55 | 73,25 | 70,61 | 83,82 | 86,85 | 89,16  | 3,58               |
| $3,58 \pm 0,15$ |       |   |       |       |       |       |       |        |                    |
| B1              | 1     | 0,55  | 30,21 | 60,38 | 64,45 | 89,86 | 92,65 | 96,14  | 2,09               |
|                 | 2     | 3,77  | 37,42 | 52,68 | 57,34 | 90,02 | 92,51 | 93,68  | 2,06               |

|   |      |       |       |       |       |       |       |                 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| 3 | 4,28 | 42,36 | 50,37 | 55,58 | 90,81 | 91,61 | 93,39 | 1,88            |
|   |      |       |       |       |       |       |       | $2,01 \pm 0,04$ |
| 1 | 0,12 | 45,31 | 62,32 | 68,25 | 87,99 | 91,15 | 92,65 | 2,5             |
| 2 | 0,14 | 38,25 | 52,47 | 60,76 | 88,23 | 90,71 | 92,88 | 2,45            |
| 3 | 0,11 | 45,21 | 64,21 | 70,72 | 86,78 | 94,57 | 95,59 | 2,77            |
|   |      |       |       |       |       |       |       | $2,57 \pm 0,17$ |
| 1 | 0,66 | 25,15 | 40,64 | 67,62 | 82,87 | 95,55 | 99,18 | 3,74            |
| 2 | 0,84 | 25,35 | 40,15 | 67,45 | 81,58 | 95,69 | 98,94 | 4,05            |
| 3 | 0,49 | 27,79 | 42,68 | 66,63 | 79,93 | 90,29 | 95,62 | 4,46            |
|   |      |       |       |       |       |       |       | $4,08 \pm 0,36$ |

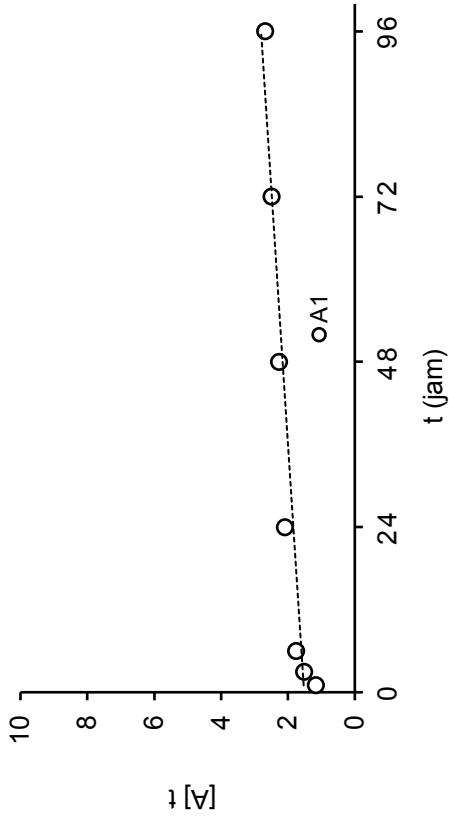
### Lampiran 6. Contoh Perhitungan dan Grafik Kinetika Pelepasan Eugenol

6.1 Data perhitungan kinetika pelepasan eugenol film A1

| t  | Orde 0 |    | Orde 1 |         | Higuchi    |                | Korsmeyer-Peppas |                    |
|----|--------|----|--------|---------|------------|----------------|------------------|--------------------|
|    | [A]t   | t  | [A]t   | ln [A]t | $\sqrt{t}$ | %<br>pelepasan | log t            | log<br>% pelepasan |
| 0  | 0      | 0  | 286    | 5,656   | 0          | 0              | -                | -                  |
| 1  | 1,17   | 1  | 284,83 | 5,6519  | 1          | 0,41           | 0                | -0,3872            |
| 3  | 1,52   | 3  | 284,48 | 5,6507  | 1,73       | 0,53           | 0,4771           | -0,2757            |
| 6  | 1,76   | 6  | 284,24 | 5,6498  | 2,45       | 0,62           | 0,7782           | -0,2076            |
| 24 | 2,09   | 24 | 283,91 | 5,6487  | 4,89       | 0,73           | 1,3802           | -0,1367            |
| 48 | 2,26   | 48 | 283,74 | 5,6481  | 6,93       | 0,79           | 1,6812           | -0,1024            |
| 72 | 2,49   | 72 | 283,51 | 5,6472  | 8,48       | 0,87           | 1,8573           | -0,0605            |
| 96 | 2,68   | 96 | 283,32 | 5,6465  | 9,8        | 0,94           | 1,9823           | -0,0269            |

**Lampiran 6. Contoh Perhitungan dan Grafik Kinetika Pelepasan Eugenol (lanjutan)**

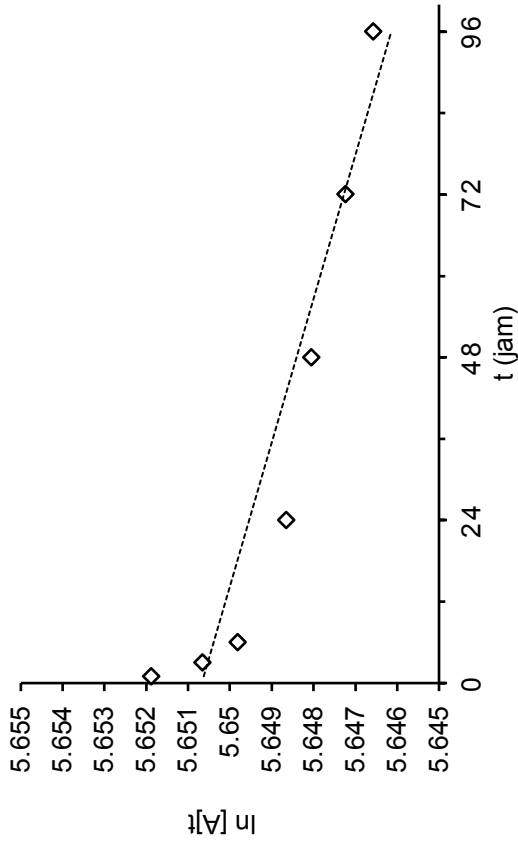
6.2 Grafik model kinetika pelepasan eugenol film A1 (orde nol)





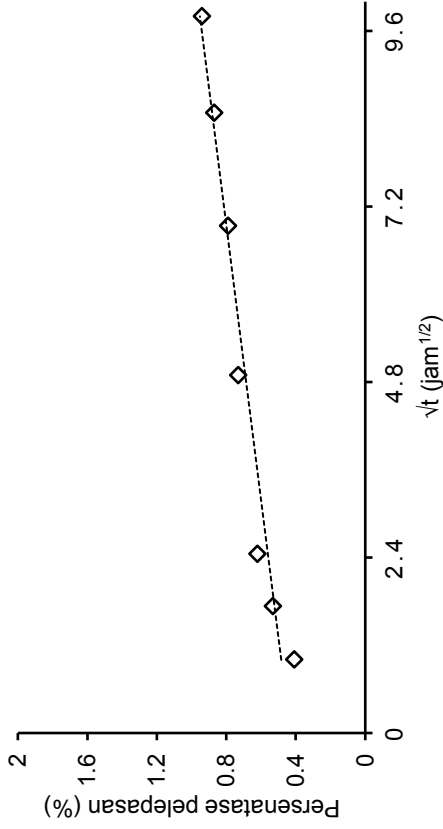
### Lampiran 6. Contoh Perhitungan dan Grafik Kinetika Pelepasan Eugenol (lanjutan)

6.3 Grafik model kinetika pelepasan eugenol film A1 (orde ke-satu)



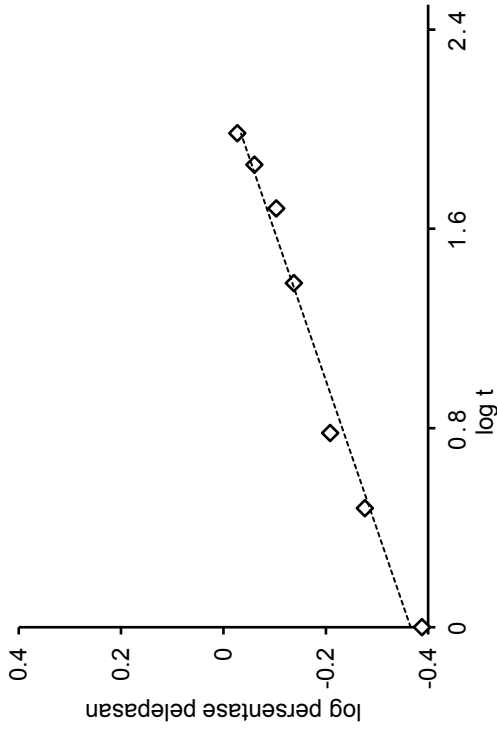
**Lampiran 6. Contoh Perhitungan dan Grafik Kinetika Pelepasan Eugenol (lanjutan)**

6.4 Grafik model kinetika pelepasan eugenol film A1 (model Higuchi)



**Lampiran 6. Contoh Perhitungan dan Grafik Kinetika Pelepasan Eugenol (lanjutan)**

6.5 Grafik model kinetika pelepasan eugenol film A1 (model Korsmeyer-Peppas)



### Lampiran 7. Data Aktivitas Antioksidan Eugenol

| Waktu<br>(jam) | n ke- | B1           |       | B2           |       | B3           |       |
|----------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|                |       | A            | % RSA | A            | % RSA | A            | % RSA |
| 1              | 1     | 0,711        | 2,07  | 0,687        | 5,37  | 0,648        | 10,74 |
|                | 2     | 0,702        | 3,31  | 0,68         | 6,33  | 0,656        | 9,64  |
|                | 3     | 0,699        | 3,72  | 0,683        | 5,92  | 0,661        | 8,95  |
|                |       | 3,03 ± 0,85  |       | 5,87 ± 0,48  |       | 9,78 ± 0,90  |       |
| 3              | 1     | 0,716        | 8,32  | 0,696        | 10,88 | 0,66         | 15,49 |
|                | 2     | 0,721        | 7,68  | 0,695        | 11,01 | 0,656        | 16,01 |
|                | 3     | 0,731        | 6,4   | 0,691        | 11,52 | 0,649        | 16,90 |
|                |       | 7,47 ± 0,97  |       | 11,14 ± 0,33 |       | 16,13 ± 0,70 |       |
| 6              | 1     | 0,579        | 15,72 | 0,561        | 18,34 | 0,53         | 22,85 |
|                | 2     | 0,582        | 15,28 | 0,563        | 18,05 | 0,531        | 22,70 |
|                | 3     | 0,592        | 13,82 | 0,556        | 19,07 | 0,553        | 19,51 |
|                |       | 14,94 ± 0,90 |       | 18,48 ± 0,52 |       | 21,69 ± 1,80 |       |
| 24             | 1     | 0,566        | 18,91 | 0,547        | 21,63 | 0,525        | 24,79 |
|                | 2     | 0,56         | 19,77 | 0,552        | 20,92 | 0,521        | 25,36 |
|                | 3     | 0,555        | 20,49 | 0,544        | 22,06 | 0,544        | 22,06 |
|                |       | 19,72 ± 0,79 |       | 21,16 ± 0,81 |       | 24,07 ± 1,76 |       |

|    |   |              |       |              |       |              |       |
|----|---|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| 48 | 1 | 0,486        | 28,74 | 0,445        | 34,75 | 0,402        | 41,06 |
|    | 2 | 0,475        | 30,35 | 0,441        | 35,33 | 0,406        | 40,47 |
|    | 3 | 0,481        | 29,47 | 0,419        | 38,56 | 0,409        | 40,03 |
|    |   | 29,52 ± 0,80 |       | 36,22 ± 2,05 |       | 40,52 ± 0,52 |       |
| 72 | 1 | 0,45         | 34,31 | 0,362        | 47,15 | 0,283        | 58,69 |
|    | 2 | 0,439        | 35,91 | 0,367        | 46,42 | 0,303        | 55,77 |
|    | 3 | 0,436        | 36,35 | 0,371        | 45,84 | 0,321        | 53,14 |
|    |   | 35,52 ± 1,07 |       | 46,47 ± 0,65 |       | 55,87 ± 2,77 |       |
| 96 | 1 | 0,447        | 34,65 | 0,36         | 47,37 | 0,279        | 59,21 |
|    | 2 | 0,435        | 36,40 | 0,363        | 46,93 | 0,304        | 55,56 |
|    | 3 | 0,437        | 36,11 | 0,371        | 45,76 | 0,32         | 53,21 |
|    |   | 35,72 ± 0,93 |       | 46,69 ± 0,83 |       | 55,99 ± 3,01 |       |

## BIODATA PENULIS



**Baiq Amelia Riyandari, S.Si., M.Sc.** adalah dosen tetap pada program studi Tadris Kimia Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Mataram. Ia dilahirkan di Lombok Tengah pada tanggal 10 Juli 1992. Ia menyelesaikan studi sarjana pada tahun 2014 di Institut Pertanian Bogor (IPB) pada program studi Kimia. Tahun 2015, ia melanjutkan program pascasarjana di Universitas Gadjah Mada pada program studi Ilmu Kimia. Alumni kegiatan *Learning Satellite* UGM-Hokkaido University dan alumni program *student exchange* di Hokkaido University-Jepang sangat tertarik di bidang menulis. Fokus risetnya ialah mengenai kimia analitik, kemometrik, dan bahan alam. Blog lecture:<http://baiqamelariyandari.lec.uinmataram.ac.id/>



Teknologi *active packaging* menjadi salah satu sistem pengemasan yang menjanjikan dan dapat dikembangkan. Teknologi ini memiliki kemampuan untuk melindungi kualitas dan keamanan produk pangan, serta dapat memperpanjang waktu penyimpanan. Teknologi *active packaging* yang mulai dikembangkan yaitu teknologi *antioxidant packaging* atau *antimicrobial packaging*. Metode ini didasarkan pada pengembanan suatu zat aktif berupa senyawa yang memiliki aktivitas antioksidan atau aktivitas antibakteri ke dalam suatu film pengemas untuk mencegah terjadinya oksidasi atau gangguan mikroorganisme dan bakteri. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kestabilan produk makanan dan memperpanjang waktu penyimpanan. Pengembanan suatu zat aktif ke dalam pengemas dianggap menjadi solusi yang lebih efektif dibandingkan penambahan zat aktif ke dalam makanan secara langsung. Hal ini disebabkan oleh pengembanan suatu zat aktif ke dalam film pengemas akan membutuhkan jumlah yang lebih sedikit dan pelepasan zat aktif yang digunakan juga dapat dikontrol.

Buku referensi ini merupakan hasil kajian dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, yang dipadukan dengan beberapa hasil penelitian dari beberapa Jurnal Publikasi baik dari publikasi nasional maupun internasional. Buku ini diperuntukan untuk berbagai kalangan (guru, dosen, mahasiswa atau masyarakat umum) yang ingin mengetahui tentang pengembangan sistem pengemasan aktif dalam menjaga kualitas produk pangan. Melalui buku referensi ini, penulis berharap pembaca dapat memahami bagaimana urgensi dari sistem pengemasan aktif jika dilihat dari segi keamanan suatu produk pangan maupun dari segi lingkungan di masa depan.



ISBN 978-623-7881-74-2