

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam *invited paper* yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, *review* perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, *technical paper* hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta *research methodology* berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaan (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Aplikasi Pelapis Bionanokomposit berbasis Karagenan untuk Mempertahankan Mutu Buah Mangga Utuh

Application of Carrageenan-based Bionanocomposite Coating for Maintaining Quality of Whole Mango Fruit

Bayu Meindrawan, Departemen Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: bayumeindrawan@gmail.com

Nugraha Edhi Suyatma, Departemen Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: nugrahaedhi@gmail.com

Tien Ruspriatin Muchtadi, Departemen Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: tienrmuchtadi@yahoo.com

Evi Savitri Iriani, Indonesian Agency for Postharvest Research and Development.

Email: evi.savitri1601@gmail.com

Abstract

Mango is one of Indonesia export commodities which vulnerable to decay during transportation and storage. Coating is known as an effective method to overcome such shortcomings of mango during storage. The objective of this study is to examine the effect of carrageenan-based bionanocomposite coating application for maintaining quality of mango type Gedong gincu stored at 20 °C as well as characterize the mechanical and water vapor barrier properties of resulting film. Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) (1 % w/w carrageenan) and beeswax (3 % v/v solution), as hydrophobic component, were incorporated into carrageenan polymer to produce bionanocomposite solution. The results showed the mechanical and water vapor barrier properties of carrageenan films were improved by the addition of beeswax and ZnO NPs. N1B1 (carrageenan + beeswax + ZnO NPs) emerged as the most effective coating formulation to delay the change of weight loss, firmness, CO₂ production, total acidity as well as alteration in color parameters (L, a and b) of mango during storage. Carrageenan-based bionanocomposite coating was potential as alternative method to keep the quality of mango during storage.

Keywords: mango, bionanocomposite, carrageenan, beeswax, ZnO nanoparticles

Abstrak

Mangga merupakan salah satu komoditas ekspor Indonesia yang rentan mengalami kerusakan selama transportasi dan penyimpanan. Pelapisan dikenal sebagai metode yang efektif untuk mengatasi masalah mangga selama penyimpanan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh aplikasi pelapis bionanokomposit berbasis karagenan dalam mempertahankan kualitas mangga jenis Gedong gincu yang disimpan pada suhu 20 °C serta mengkarakterisasi sifat mekanis dan *barier* uap air dari film yang dihasilkan. Nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) (1% b/b karagenan) dan *beeswax* (3 % v/v larutan), sebagai komponen hidrofobik, diinkorporasikan ke dalam polimer karagenan untuk menghasilkan larutan bionanokomposit. Hasil penelitian menunjukkan sifat mekanis serta barier uap air dari film karagenan mampu diperbaiki dengan penambahan *beeswax* dan NP-ZnO. N1B1 (karagenan + *beeswax* + NP-ZnO) muncul sebagai formulasi pelapis yang paling efektif dalam menekan perubahan susut bobot, kekerasan, produksi CO₂, total asam serta perubahan parameter warna (L, a dan b) mangga selama penyimpanan. Pelapis bionanokomposit berbasis karagenan potensial sebagai alternatif metode untuk menjaga kualitas mangga selama penyimpanan.

Kata kunci: mangga, bionanokomposit, karagenan, lilin lebah, nanopartikel ZnO

Diterima: 07 Mei 2016; Disetujui: 20 Desember 2016

Latar belakang

Mangga merupakan salah satu komoditas ekspor Indonesia dengan volume ekspor yang terus meningkat (Qanytah dan Ambarsari 2011). Saat ini pangsa pasar ekspor utama buah mangga segar Indonesia adalah Timur Tengah, Hongkong, Singapura, Malaysia, dan Brunei Darussalam dimana pengiriman dilakukan melalui transportasi laut. Akan tetapi pengiriman ini memerlukan waktu yang lama sehingga buah mangga banyak mengalami kerusakan sesampainya di negara tujuan. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi hal tersebut sekaligus memperpanjang umur simpan buah mangga diantaranya dengan penyimpanan suhu dingin, penyimpanan atmosfer terkontrol atau termodifikasi, irradiasi, perlakuan kimia dan pelapisan (Liu et al. 2014).

Penelitian mengenai pelapisan pada buah mangga untuk mempertahankan kualitas mangga selama penyimpanan telah cukup banyak dilakukan. Kittur et al (2001), Zhu et al (2008), serta Moalemiyan et al (2011) melaporkan bahwa penggunaan pelapis berbasis polisakarida efektif untuk menghambat laju respirasi, kehilangan kekerasan, perubahan warna, serangan *C. gloeosporioides* serta menurunkan pembentukan asam askorbat pada mangga.

Karagenan adalah salah satu polisakarida yang sangat potensial sebagai pembentuk film pelapis (Shojaee-aliabadi et al. 2014) dan telah diaplikasikan sebagai pelapis pada buah mangga (Plotto et al. 2010). Akan tetapi, sebagian besar film pelapis tunggal yang bersifat hidrofilik memiliki barier terhadap gas yang baik namun memiliki ketahanan terhadap uap air yang buruk. Beberapa jenis senyawa hidrofobik seperti *lipid* sering diinkorporasikan ke dalam film hidrokoloid untuk mengatasi hal tersebut (Shojaee-Aliabadi et al. 2014).

Beeswax (lilin lebah) merupakan salah satu jenis *lipid* yang efektif dalam meningkatkan sifat barier kelembapan dari film hidrofilik. Penelitian melaporkan bahwa penambahan *beeswax* ke dalam film berbasis karagenan (Diova et al. 2013), pati (Han et al. 2006; Muscat et al. 2013), pektin (Maftoonazad et al. 2007) dan sodium kaseinat (Fabra et al. 2008) dapat menurunkan permeabilitas uap air dari film. Sedangkan aplikasi *beeswax* sebagai campuran material pelapis buah telah banyak diteliti seperti pada jambu (Ruzaina et al. 2013) dan stroberi (Velickova et al. 2013).

Alternatif terbaru untuk memperbaiki performa film hidrofilik adalah mencampurkan pengisi (*filler*) berukuran nano ke dalam matriks biopolimer sehingga terbentuk polimer bionanokomposit. Nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) merupakan salah satu material pengisi yang telah diaplikasikan secara luas dikarenakan memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang besar, sifat termal dan mekanis yang unik, serta telah diterima sebagai

substansi GRAS (*Generally Recognized As Safe*) (Sharon et al. 2010). NP-ZnO telah diinkorporasikan ke dalam polimer seperti PVC (Li et al. 2011), kitosan (Meng et al. 2014) dan pektin (Sabarisman et al. 2015) untuk menghasilkan pelapis bionanokomposit yang efektif dalam mempertahankan mutu buah. Akan tetapi, saat ini penggunaan pelapis bionanokomposit untuk menjaga kualitas mangga belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh aplikasi pelapis bionanokomposit berbahan baku karagenan, *beeswax* serta NP-ZnO dalam upayanya mempertahankan kualitas fisik dan kimia buah mangga. Pengaruh penambahan komponen hidrofobik (*beeswax*) dan nanopartikel ZnO (NP-ZnO) terhadap sifat mekanis serta *barier* dari film yang dihasilkan juga diuji.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu mangga Gedong gincu yang diperoleh dari petani mangga di dusun Sumber, Cirebon dengan tingkat kematangan 70 – 80 % atau berumur sekitar 90 hari setelah bunga mekar. Material untuk membuat pelapis bionanokomposit antara lain kappa-karagenan (Sigma Aldrich, Jerman), nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) dengan ukuran partikel rata-rata 20 nm (Wako, Jepang), *beeswax* (lilin lebah) diperoleh dari petani madu di Bogor dan gliserol sebagai plemastis. Bahan kimia lain yang digunakan antara lain Span 60 dan Tween 60 untuk membuat emulsi *beeswax* serta NaOCl, NaOH dan indikator PP dengan *analytical grade*. Peralatan yang digunakan yaitu *stirringhot plate*, *universal testing machine* Instron, instrumen uji permeabilitas uap air, *ultraturax digital* IKA T-25, *texture analyzer* CT V1.2 Brookfield, neraca analitik merek WPS 600 Radwag, CO₂ meter Lutron GCH, serta kamera digital Canon IXUS 160.

Prosedur Penelitian

Penelitian terdiri dari dua tahapan yaitu pembuatan larutan bionanokomposit dan karakterisasi film yang dihasilkan serta aplikasinya sebagai pelapis mangga. Pembuatan larutan pelapis bionanokomposit mengacu pada modifikasi metode yang dilakukan oleh Kanmani dan Rhim (2014). Sebanyak 1 % nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) (^b/_b karagenan) dilarutkan dalam 500 ml akuades menggunakan *ultraturax*. Setelah terdispersi sempurna, ke dalam larutan tersebut ditambahkan 4 g karagenan sambil diaduk menggunakan *stirring hot plate* hingga 60 °C. Selanjutnya, 2.5 ml gliserol dan 3 % *beeswax* (^v/_v larutan) yang sebelumnya telah diemulsikan (mengacu pada metode Ramnanan-Singh 2012) dicampurkan ke dalam larutan hingga suhu 80 °C dan dipertahankan selama 5 menit. Larutan pelapis

yang terbentuk didiamkan hingga dingin sebelum diaplikasikan pada mangga. Sebanyak 4 formulasi larutan pelapis dihasilkan antara lain N0B0 (karagenan), N0B1 (karagenan + *beeswax*), N1B0 (karagenan + NP-ZnO) serta N1B1 (karagenan + NP-ZnO + *beeswax*).

Mangga dengan tingkat kematangan 70 – 80 % atau sekitar 90 hari setelah bunga mekar disortasi berdasarkan ukuran dan warna yang seragam serta dipastikan tidak mengalami kerusakan fisik dan bebas dari serangan hama. Permukaan mangga disterilisasi dengan dicelupkan dalam larutan NaOCl 1 % selama 3 menit kemudian dicuci dengan air bersih dan dikeringkan. Mangga kemudian dicelupkan ke dalam larutan pelapis bionanokomposit dan ditiriskan. Mangga tanpa pencelupan dianggap sebagai kontrol. Sampel mangga kemudian disimpan pada suhu 20 °C dan dilakukan pengujian secara berkala.

Untuk karakterisasi film bionanokomposit yang dihasilkan, sebanyak 25 ml larutan dituang ke dalam cawan petri dan didiamkan selama 48 jam dalam suhu ruang hingga air menguap. Film yang telah kering diangkat dari cawan petri kemudian dibungkus dalam aluminium foil dan disimpan dalam desikator dengan RH = 53 % selama 48 jam untuk prekondisi sebelum dilakukan karakterisasi.

Parameter Pengamatan

Karakterisasi Film Bionanokomposit

Laju Transmisi Uap Air

Laju transmisi uap air film diukur berdasarkan metode pada ASTM D1249-90 (1993) dengan sedikit modifikasi. Sampel film dipotong dalam bentuk silinder dengan diameter 30 mm dan dilekatkan pada wadah permeansi dengan kemudian disimpan dalam desikator pada 25 °C. Gradien RH diantara film dijaga dengan meletakkan CaCl₂ anhidrat (RH 2 %) di dalam wadah permeansi dan larutan KCl jenuh (RH 97 %) dalam desikator. Wadah permeansi ditimbang secara berkala. Laju transmisi uap air film (*water vapour transmission rate/WVTR*) (g/m² jam) dihitung dari kemiringan garis (*slope*) yang dihasilkan dari analisis regresi bobot sebagai fungsi waktu.

Sifat Mekanis

Sifat mekanis film dianalisis mengacu pada metode ASTM D 882-02 (2002) menggunakan instrumen *Universal Testing Machine* (Instron, USA). Film dipotong dengan pola tertentu berukuran 2 cm x 7 cm. *Initial grip* diatur pada 17 mm dengan kecepatan tarik 20 mm/menit. Kuat tarik (MPa) ditentukan dengan membagi beban maksimum (N) dengan area *cross section* awal film (m²) sedangkan nilai elongasi merupakan persentase pemanjangan film sebelum film putus. Nilai kuat tarik dan elongasi merupakan rata-rata dari 3 kali pengukuran setiap sampel.

Perubahan Mutu Mangga

Susut bobot

Sampel mangga ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mengetahui susut bobotnya selama penyimpanan. Susut bobot mangga dihitung menggunakan persamaan 1.

$$W(\%) = \frac{(m_i - m_t)}{m_i} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan: w = susut bobot (%), m_i = massa awal (g), m_t = massa akhir (g).

Kekerasan

Kekerasan mangga diukur menggunakan instrumen *texture analyzer* dengan tipe *probe* TA 39, beban kompresi 4500 g dengan kecepatan kompresi 0.5 mm/s. Kompresi dilakukan pada 5 titik yang berbeda pada tiap buah mangga yaitu 1 titik masing-masing di ujung dan pangkal buah serta 3 titik di bagian tengah buah. Kekerasan sampel diperoleh dari nilai maksimum (N) rata-rata yang tercatat selama dilakukan kompresi.

Produksi CO₂

Laju respirasi mangga dianalisis dengan mengukur produksi CO₂ (ppm). Sebanyak 3 buah sampel mangga ditempatkan dalam wadah bervolume 3,310 ml dan ditutup sedemikian rupa (*closed system*) sebelum diukur menggunakan CO₂ meter.

Total asam

Penetapan total asam dilakukan dengan titrasi mengacu pada metode AOAC. Sebanyak ±10 g sampel dimasukkan dalam labu ukur 250 ml dan diencerkan menggunakan akuades. Filtrat diambil sebanyak 25 ml dan diberi beberapa tetes indikator PP kemudian dititrasi menggunakan NaOH 0.1 N. Titik akhir titrasi ditandai dengan terbentuknya warna merah muda. Total asam (%) dihitung menggunakan persamaan 2.

$$\text{Total asam}(\%) = \frac{(\text{ml NaOH} \times N \text{ NaOH} \times P \times \text{BE})}{B} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan: P = jumlah pengenceran (kali), BE = berat ekuivalen asam sitrat, N = normalitas NaOH (N), B = berat sampel (g)

Karakteristik warna

Karakteristik warna mangga diuji menggunakan kamera digital Canon IXUS 160. Gambar mangga (2 sisi) diambil dalam di lemari potret. Kondisi dikontrol dengan pencahayaan menggunakan lampu LED. Jarak lensa kamera dengan sampel yaitu 30 cm. Parameter warna L, a dan b hunter diperoleh dari analisis gambar menggunakan piranti lunak *Adobe Photoshop CS6*. Cursor digerakkan pada 30 titik yang berbeda (masing-masing sisi diambil 15 titik) pada gambar mangga. Pilihan *info* pada menu *window* terlebih dahulu diaktifkan.

Tabel 1. Laju transmisi uap air (WVTR) dan sifat mekanis film karagenan serta bionanokompositnya. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.

Formulasi	WVTR (g/m ² jam)	Kuat tarik (MPa)	Elongasi (%)
N0B0	65.88 ± 1.55 ^d	84.83 ± 4.67 ^b	60.94 ± 6.03 ^a
N0B1	37.16 ± 0.86 ^b	31.07 ± 3.15 ^a	83.48 ± 6.28 ^b
N1B0	59.97 ± 0.87 ^c	113.07 ± 6.57 ^c	65.48 ± 1.49 ^a
N1B1	31.28 ± 1.26 ^a	28.97 ± 0.68 ^a	71.48 ± 2.29 ^a

Keterangan: Perbedaan huruf menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax

Analisis statistika

Data yang diperoleh dari pengamatan perubahan mutu mangga dianalisis secara statistik menggunakan Rancangan Acak Faktorial Lengkap dengan perlakuan pelapisan (formulasi) dan lama penyimpanan sebagai faktor. Sedangkan data hasil karakterisasi film dianalisis menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan formulasi sebagai kelompok. Uji lanjut Tukey pada taraf kepercayaan (α) 5 % dilakukan untuk mengetahui beda nyata antar perlakuan dan lama penyimpanan.

Hasil dan Pembahasan

Laju Transmisi Uap Air

Kemampuan film untuk melewatkan uap air dapat ditentukan dengan mengukur laju transmisi uap air (*water vapor transmission rate*/WVTR) film. Tabel 1 menunjukkan inkorporasi NP-ZnO menurunkan nilai WVTR secara signifikan ($\alpha = 5$ %). Hasil ini serupa dengan penelitian sebelumnya dimana penambahan NP-ZnO ke dalam polimer karagenan mampu menurunkan permeabilitas uap air dari film dari 1.89 menjadi 1.71 x 10⁻⁹ g/m Pa s (Kanmani dan Rhim 2014). Nanopartikel dilaporkan mampu membentuk jalur berliku bagi molekul air untuk melewati matriks film (Yu *et al.* 2009). Studi lain juga menyatakan bahwa permeabilitas uap air dari nanokomposit film pati terplastisasi gliserol/ZnO (Ma *et al.* 2009) dan pati sagu/ZnO (Nafchi *et al.* 2012). Nilai WVTR film karagenan juga menurun secara signifikan oleh keberadaan komponen hidrofobik (*beeswax*) dalam matriks film. Hasil yang sama juga didapatkan dengan penambahan *beeswax* ke dalam film berbasis pati tinggi amilosa (Muscat *et al.* 2013) dan poli asam laktat (Lim *et al.* 2015). *Beeswax* tersusun atas ester alkohol dan alkana rantai panjang yang sangat efektif dalam membatasi difusi air (Kristo *et al.* 2007). Pada penelitian ini, inkorporasi NP-ZnO yang dikombinasikan dengan *beeswax* menciptakan efek sinergis terbaik dalam menurunkan WVTR film (formulasi N1B1).

Sifat Mekanis

Sifat mekanis film yang diuji dalam penelitian ini

adalah parameter kuat tarik dan elongasi. Tabel 1 menunjukkan bahwa inkorporasi NP-ZnO ke dalam polimer karagenan meningkatkan kuat tarik film secara signifikan tetapi tidak berpengaruh pada nilai elongasi ($\alpha = 5$ %). Serupa dengan hasil penelitian ini, Ma *et al.* (2009) melaporkan bahwa inkorporasi NP-ZnO ke dalam polimer pati terplastisasi gliserol meningkatkan kuat tarik film dari 3.94 menjadi 10.80 MPa sedangkan elongasi menurun dari 42.2 % menjadi 20.4 %. Peningkatan area kontak antara matriks polimer dengan nanopartikel diduga menjadi sebab tingginya kuat tarik film nanokomposit (Rhim dan Wang 2013). Nanopartikel ZnO mampu mengisi celah diantara rantai polimer sehingga membatasi pergerakan matriks dan berujung pada meningkatnya kuat tarik film (Li *et al.* 2009).

Keberadaan *beeswax* juga berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanis yang dibuktikan dengan menurunnya kuat tarik dan meningkatnya elongasi film. Hasil ini serupa dengan dengan penelitian Muscat *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa penambahan 5 % *beeswax* ke dalam pati tinggi amilosa dapat menurunkan kuat tarik dari 31.6 menjadi 25.8 MPa sedangkan elongasi meningkat dari 4.3 menjadi 9.2 %. Menurut Monedero *et al.* (2009) komponen *beeswax* mampu meningkatkan derajat diskontinuitas matriks polimer sehingga perubahan bentuk film dapat diminimalkan. Semakin rendah kuat tarik film, fleksibilitas film semakin meningkat. *Beeswax* mengandung hidrokarbon tak jenuh yang bertanggung jawab pada fleksibilitas film (Kristo *et al.* 2007). Selain itu, keberadaan komponen pengemulsi seperti Span 60 dan Tween 60 dalam emulsi *beeswax* mampu memberikan efek sebagai pemlastis sehingga mampu meningkatkan elongasi film. Kombinasi NP-ZnO dan *beeswax* diketahui menghasilkan efek antagonis terlihat dari penurunan kuat tarik dari film sebesar 34 % sedangkan elongasi tidak berubah secara signifikan ($\alpha = 5$ %).

Susut bobot

Susut bobot mangga dipengaruhi secara nyata oleh kehilangan air akibat proses transpirasi serta respirasi. Gambar 1 menunjukkan susut bobot mangga meningkat signifikan ($\alpha = 5$ %) seiring dengan lamanya penyimpanan. Pada hari ke-16,

tercatat mangga kontrol mengalami susut bobot terbesar yaitu 19.84 %, sedangkan mangga dengan perlakuan N1B1 hanya sebesar 13.62 %. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa perlakuan N0B1 mampu menurunkan bobot mangga lebih kecil (14.35 %) dibanding N0B0 (hari ke-16). Kittur *et al* (2001) melaporkan bahwa pelapisan mangga yang hanya menggunakan polisakarida tunggal tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap susut bobot buah karena cenderung bersifat hidrofilik. Penambahan komponen lemak seperti *beeswax* diketahui dapat meregulasi keseimbangan komponen hidrofilik-hidrofobik pelapis sehingga meningkatkan efektifitasnya dalam menekan kehilangan air. Penelitian serupa melaporkan bahwa pelapisan mangga menggunakan kombinasi polisakarida (pektin) dan lemak (*beeswax*) mampu menurunkan susut bobot mangga lebih kecil (4.4 %) dibanding kontrol (6.3 %) setelah 6 hari penyimpanan (Moalemiyan *et al.* 2011). Gambar 1 juga menunjukkan bahwa penambahan NP-ZnO pada pelapis (perlakuan N1B0) mampu menurunkan susut bobot lebih kecil dibanding kontrol dan N0B0 ($\alpha = 5\%$). Sesuai dengan hasil pengujian laju transmisi uap air bahwa penambahan nanopartikel mampu meningkatkan permeabilitas uap air dari film sehingga susut bobot akibat kehilangan air dapat dihambat. Penelitian lain melaporkan bahwa inkorporasi NP-ZnO dalam material pelapis berbasis mampu menurunkan susut bobot dari buah salak lebih baik dibanding kontrol (Marpaung *et al.* 2015, Sabarisman *et al.* 2015). Hal ini disebabkan keberadaan NP-ZnO dalam polimer pelapis mampu meningkatkan sifat mekanis dari polimer yang digunakan.

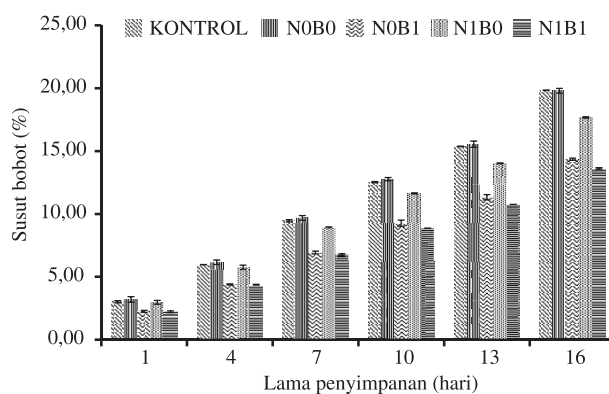
Kekerasan

Tingkat kekerasan buah mangga mengalami penurunan yang signifikan seiring lamanya penyimpanan ($\alpha = 5\%$) (Gambar 2). Mangga kontrol memiliki kekerasan sebesar 5.28 N sementara dengan pelapisan kekerasan mangga berkisar 4.79 – 5.74 N (hari ke-18) dimana hanya perlakuan N1B1 berbeda nyata dengan kontrol ($\alpha = 5\%$). Baldwin *et al* (1999) menyatakan bahwa baik pelapis berbasis polisakarida maupun lemak (lilin karnauba) menghasilkan kekerasan buah mangga yang lebih tinggi (masing-masing 5.3 dan 7 N) dibanding kontrol (2.8 N). Akan tetapi, kombinasi antara polisakarida dan lemak diketahui lebih efektif dalam mempertahankan kekerasan buah mangga (Moalemiyan *et al.* 2011). Perubahan tekstur buah selama pematangan buah disebabkan oleh perubahan struktur dinding sel dan degradasi komponen pati oleh enzim membentuk gula sederhana (Kittur *et al.* 2001). Pelapisan diketahui mampu mempertahankan kekerasan dan menunda pelunakan daging buah mangga melalui dua cara yaitu penurunan laju transmisi uap air sehingga mampu menekan kehilangan air serta

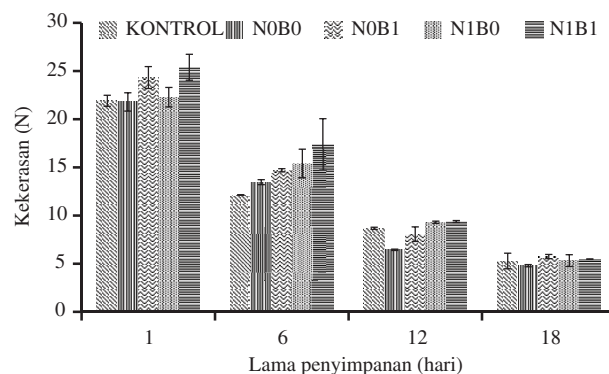
menunda degradasi komponen yang bertanggung jawab pada kekerasan buah, utamanya pektin tak larut dan protopektin (Moalemiyan *et al.* 2011). Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa pelapis dan pengemas berbasis NP-ZnO mampu menunda penurunan kekerasan buah seperti jujube (Li *et al.* 2009), kiwi (Meng *et al.* 2014) dan salak (Marpaung *et al.* 2015). Akan tetapi pada penelitian ini, uji sidik ragam ($\alpha = 5\%$) menunjukkan bahwa keberadaan NP-ZnO dalam material pelapis (perlakuan N1B0) tidak memberikan efek yang signifikan dalam mempertahankan kekerasan buah mangga. Pembentukan agregasi saat pembuatan bionanokomposit diduga sangat berpengaruh pada kemampuan NP-ZnO dalam memperbaiki performa dan sifat barrier dari material pelapis.

Produksi CO₂

Pelapisan mampu menurunkan respirasi buah mangga ditunjukkan melalui produksi CO₂ selama penyimpanan (Gambar 3). Pada penelitian ini puncak produksi CO₂ mangga terjadi pada hari ke-7 penyimpanan dimana mangga kontrol menghasilkan CO₂ tertinggi yaitu 2,415 ppm

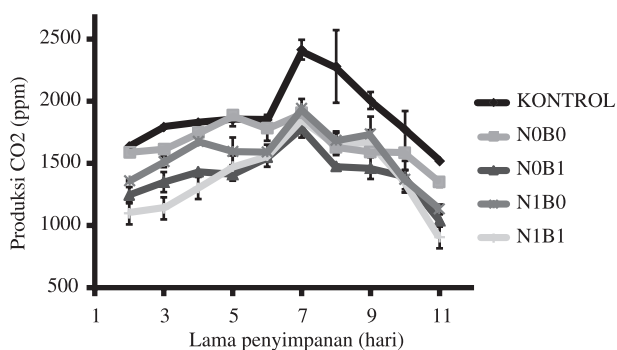


Gambar 1. Susut bobot mangga selama penyimpanan. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.

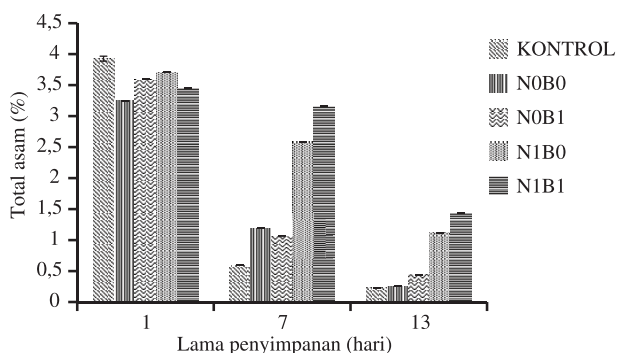


Gambar 2. Kekerasan mangga selama penyimpanan. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.

sedangkan perlakuan pelapisan berkisar antara 1,794 – 1,946 ppm. Pelapisan dengan material semi permeabel dilaporkan dapat menunda pematangan buah dengan memodifikasi level CO₂, O₂ serta etilen dalam buah. Pelapisan mampu menurunkan jumlah O₂ untuk aktivitas respirasi serta membatasi difusi CO₂ keluar jaringan. Konsentrasi CO₂ internal dalam buah yang tinggi dapat menghambat respon terbentuknya etilen sehingga pematangan buah dapat tertunda (Moalemiyan *et al.* 2011). Uji sidik ragam pada $\alpha = 5\%$ menunjukkan semua formulasi pelapis berbeda nyata dengan kontrol. Pada formulasi N0B1 dan N1B1, komponen lemak seperti *beeswax* diketahui mampu meningkatkan barrier gas dari pelapis polisakarida sehingga menurunkan laju respirasi buah secara signifikan (Velickova *et al.* 2013). Pelapis dengan NP-ZnO diketahui memiliki permeabilitas gas yang selektif yang menurunkan pertukaran O₂ dan CO₂ dalam buah (Mastromatteo *et al.* 2011). Hal ini sejalan dengan penelitian Meng *et al.* (2011) yang melaporkan bahwa buah kiwi yang diberi perlakuan pelapis berbasis NP-ZnO memiliki puncak produksi CO₂ lebih rendah dibanding tanpa pelapisan (kontrol).



Gambar 3. Produksi CO₂ mangga selama penyimpanan. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.



Gambar 4. Total asam tertitrasi mangga selama penyimpanan. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.

Total asam

Tingkat keasaman merupakan faktor penting untuk menentukan kualitas buah dan penerimaan konsumen. Gambar 4 memperlihatkan total asam mangga menurun secara signifikan seiring bertambahnya lama penyimpanan ($\alpha = 5\%$). Penurunan total asam diakibatkan oleh degradasi asam sitrat karena aktivitas asam sitrat glioksilase selama pematangan atau proses metabolisme buah yang mengubahnya menjadi gula (Li *et al.* 2011). Mangga kontrol mengalami penurunan kandungan total asam sebesar 94.11% pada hari ke-13 penyimpanan sedangkan pada perlakuan pelapisan berkisar 58.61 – 92.17%. Penelitian telah membuktikan bahwa pelapisan mangga menggunakan material seperti kitosan (Zhu *et al.* 2008), pektin (Moalemiyan *et al.* 2011) serta lilin karnauba (Baldwin *et al.* 1999) mampu menunda penurunan keasaman buah mangga. Pelapisan berperan dalam menurunkan laju respirasi serta mengurangi penggunaan asam organik pada vakuola sebagai substrat respirasi sehingga mampu menunda pematangan buah (Medlicott *et al.* 1987). Uji sidik ragam pada $\alpha = 5\%$ menunjukkan hanya perlakuan N1B0 dan N1B1 yang berbeda nyata terhadap kontrol. Fenomena ini dijelaskan oleh Velickova *et al.* (2013) yang mengemukakan bahwa kombinasi polisakarida (kitosan) dan lemak (*beeswax*) sebagai pelapis mampu menunda penurunan total keasaman lebih baik dibanding pelapis dengan polisakarida tunggal. Sementara itu, NP-ZnO diduga berperan dalam perbaikan performa film pelapis dalam menurunkan laju respirasi buah. Hal ini dibuktikan oleh Li *et al.* (2009) yang melaporkan bahwa laju transmisi oksigen dari pengemas berbasis NP-ZnO dilaporkan lebih rendah dibanding pengemas normal (polietilen). Terkait aplikasi, (Li *et al.* 2011) menyatakan penggunaan pengemas berbasis NP-ZnO mampu mempertahankan total asam buah apel lebih tinggi (0.71%) dari pengemas normal (0.42%) selama 12 hari penyimpanan.

Karakteristik warna

Karakteristik warna mangga (parameter L, a dan b) mangga selama penyimpanan tersaji pada Tabel 2. Nilai L (tingkat kecerahan) menurun secara signifikan seiring bertambahnya lama penyimpanan. Uji sidik ragam pada $\alpha = 5\%$ menunjukkan semua perlakuan pelapisan berbeda nyata dengan kontrol kecuali formulasi N0B0. Nilai a dan b juga cenderung mengalami kenaikan seiring bertambahnya lama penyimpanan ($\alpha = 5\%$). Akan tetapi perbedaan nyata terlihat setelah 10 hari penyimpanan untuk nilai a dan 7 hari untuk nilai b. Peningkatan nilai a mengindikasikan bertambahnya tingkat kemerahan warna mangga sedangkan nilai b berkaitan erat dengan tingkat kekuningan. Hasil pengukuran menunjukkan nilai a mangga yang diberi perlakuan pelapisan lebih

Tabel 2. Karakteristik warna mangga (parameter L, a dan b) mangga selama penyimpanan.

Perlakuan	L				
	Hari-1	Hari-4	Hari-7	Hari-10	Hari-13
Kontrol	50.01 ± 0.30 ^{Dbc}	49.47 ± 1.65 ^{Cbc}	49.84 ± 1.35 ^{Cbc}	44.68 ± 0.45 ^{Bbc}	40.10 ± 0.62 ^{Abc}
N0B0	52.19 ± 1.08 ^{Dc}	46.57 ± 0.68 ^{Cc}	49.27 ± 0.81 ^{Cc}	45.13 ± 0.98 ^{Bc}	43.68 ± 1.24 ^{Ac}
N0B1	43.69 ± 1.04 ^{Da}	45.22 ± 2.52 ^{Ca}	40.08 ± 2.71 ^{Ca}	36.92 ± 1.23 ^{Ba}	33.88 ± 1.76 ^{Aa}
N1B0	50.27 ± 0.84 ^{Db}	45.70 ± 0.35 ^{Cb}	47.81 ± 0.52 ^{Cb}	43.38 ± 1.32 ^{Bb}	42.97 ± 1.18 ^{Ab}
N1B1	52.07 ± 1.22 ^{Dd}	49.58 ± 0.90 ^{Cd}	48.82 ± 1.43 ^{Cd}	50.56 ± 1.10 ^{Bd}	45.83 ± 0.89 ^{Ad}

Perlakuan	a				
	Hari-1	Hari-4	Hari-7	Hari-10	Hari-13
Kontrol	-19.24 ± 1.56 ^{Abc}	-20.42 ± 1.26 ^{Abc}	-18.43 ± 1.55 ^{Abc}	-6.27 ± 1.22 ^{Bbc}	0.39 ± 2.41 ^{Cbc}
N0B0	-18.89 ± 1.02 ^{Ab}	-16.84 ± 1.70 ^{Ab}	-16.83 ± 1.38 ^{Ab}	-10.66 ± 3.87 ^{Bb}	-2.42 ± 2.69 ^{Cb}
N0B1	-17.00 ± 1.40 ^{Aa}	-18.45 ± 2.05 ^{Aa}	-16.48 ± 0.94 ^{Aa}	-13.10 ± 1.16 ^{Ba}	-13.32 ± 1.22 ^{Ca}
N1B0	-17.63 ± 1.17 ^{Ac}	-14.80 ± 0.97 ^{Ac}	-13.93 ± 2.08 ^{Ac}	-8.10 ± 2.63 ^{Bc}	0.36 ± 3.71 ^{Cc}
N1B1	-17.46 ± 1.30 ^{Aab}	-17.77 ± 0.95 ^{Aab}	-15.28 ± 0.68 ^{Aab}	-13.79 ± 2.55 ^{Bab}	-7.18 ± 3.60 ^{Cab}

Perlakuan	b				
	Hari-1	Hari-4	Hari-7	Hari-10	Hari-13
Kontrol	27.24 ± 1.44 ^{ABc}	26.13 ± 0.69 ^{Ac}	33.49 ± 2.83 ^{BCc}	31.33 ± 1.36 ^{ABc}	32.30 ± 2.84 ^{Cc}
N0B0	24.73 ± 2.91 ^{ABb}	22.06 ± 3.08 ^{Ab}	24.84 ± 0.76 ^{BCb}	23.11 ± 0.76 ^{ABb}	27.77 ± 0.26 ^{Cb}
N0B1	22.72 ± 1.99 ^{ABa}	22.30 ± 1.49 ^{Aa}	22.99 ± 1.47 ^{BCa}	21.19 ± 2.29 ^{ABa}	20.30 ± 1.77 ^{Ca}
N1B0	22.97 ± 2.28 ^{ABab}	20.05 ± 2.09 ^{Aab}	24.65 ± 2.51 ^{BCab}	23.26 ± 0.75 ^{ABab}	26.27 ± 0.60 ^{Cab}
N1B1	22.51 ± 2.79 ^{ABab}	23.53 ± 1.72 ^{Aab}	20.62 ± 3.20 ^{BCab}	21.85 ± 2.69 ^{ABab}	26.91 ± 2.78 ^{Cab}

Keterangan: Perbedaan huruf menunjukkan berbeda nyata untuk hari (huruf besar) dan perlakuan (huruf kecil). (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax

rendah (lebih negatif) dibanding kontrol yang mengindikasikan warna mangga lebih hijau. Hal ini juga berlaku pada nilai b, dimana mangga yang diberi pelapis cenderung lebih rendah dibanding kontrol (warna mangga kontrol lebih kuning). Uji sidik ragam pada $\alpha = 5\%$ menunjukkan semua perlakuan pelapis memberikan nilai a dan b yang berbeda nyata dengan kontrol kecuali formulasi N1B0 (untuk nilai a). Pada penelitian ini, pelapis N0B1 merupakan formulasi yang paling efektif dalam menunda perubahan warna mangga (nilai L, a dan b paling rendah). Penurunan perubahan warna pada buah disebabkan oleh efek pelapis yang mampu memodifikasi komposisi udara dalam buah (mempertahankan konsentrasi CO₂ yang tinggi dalam internal buah) sehingga menghambat degradasi klorofil dan pembentukan beta karoten (Moalemiyan *et al.* 2011).

Simpulan

Kombinasi karagenan, NP-ZnO dan beeswax menghasilkan formulasi film yang memiliki permeabilitas uap air dan sifat mekanis yang baik. Aplikasi pelapis bionanokomposit dapat menunda peningkatan susut bobot, nilai a (tingkat kemerahan) dan nilai b (tingkat kekuningan)

mangga, serta meminimalkan penurunan total asam, kekerasan serta nilai L (kecerahan) mangga selama penyimpanan. Mangga dengan pelapis menghasilkan CO₂ lebih rendah dibanding kontrol pada puncak respirasi (hari ke-7 penyimpanan). Pelapis berbasis karagenan dengan penambahan beeswax dan NP-ZnO (N1B1) merupakan formulasi yang paling efektif dalam mempertahankan mutu buah mangga varietas Gedong gincu.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada program Konsorsium Agro-Nanoteknologi Indonesia 2014/2015 yang telah membiayai dan memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

[ASTM] American Society for Testing and Materials (US). 1993. Standard test method for water vapor transmission rate through plastic film and sheeting using a modulated infrared sensor. Annual book of American Standard Testing Methods D1249 - 90.

- [ASTM] American Society for Testing and Materials (US). 2002. Standard test methods for tensile properties of plastics. Standard Designation: D 882-02.
- Baldwin, E.A., J.K. Burns, W. Kazokas, Brecht, R.D. Hagenmaier, R.J. Bender dan E. Pesis. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*. Vol.17(3):215-226.
- Diova, D.A., Y.S. Darmanto dan L. Rianingsih. 2013. Karakteristik *edible film* komposit *semirefined* karaginan dari rumput laut *Euचेuma cotonii* dan *beeswax*. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*. Vol.2(3):1-10.
- Fabra, M.J., P. Talens dan A. Chiralt. 2008. Tensile properties and water vapor permeability of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. *Journal Food Engineering*. Vol.8(3):393-400.
- Han, J.H., G.H. Seo, I.M. Park, G.N. Kim dan D.S Lee. 2006. Physical and mechanical properties of pea starch edible films containing beeswax emulsion. *Journal of Food Science*. Vol.6(71):290-296.
- Kanmani, P. dan J.W. Rhim. 2014. Properties and characterization of bionanocomposite films prepared with various biopolymers and ZnO nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*. Vol.106(2014):190 – 199.
- Kittur, F.S., N. Saroja, Habibunnisa dan R.N. Tharanathan. 2001. Polysaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango. *Food Research Technology*. Vol.213(4):306-311.
- Kristo, E., C.G. Biliaderis dan A. Zampraka. 2007. Water vapor barrier and tensile properties of composite caseinate-pullulan films: biopolymer composition effects and impact of beeswax lamination. *Food Chemistry*. Vol.101(2):753-764.
- Li, H., F. Li, L. Wang, J. Sheng, Z. Xin, L. Zhao, H. Xiao, Y. Zheng dan Q. Hu. 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *Inermis* (Bunge) *Rehd*). *Food Chemistry*. Vol.114(2):547-552.
- Li, X., W. Li, Y. Jiang, Y. Ding, J. Yun, Y. Tang dan P. Zhang. 2011. Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut 'Fuji' apple. *International Journal of Food Science and Technology*. Vol.46(9):1947-1955.
- Lim, J.H., J.A. Kim, J.A. Ko dan H.J. Park. 2015. Preparation and characterization of composites based on polylactic acid and beeswax with improved water vapor barrier properties. *Journal of Food Science*. Vol.80(11):2471-2477.
- Liu, K., X. Wang dan M. Young. 2014. Effect of bentonite/potassium sorbate coatings on the quality of mangos in storage at ambient temperature. *Journal of Food Engineering*. Vol.137(2014):16–22.
- Ma, X., P.R. Chang, J. Yang dan J. Yu. 2009. Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide-starch bionanocomposites. *Carbohydrate Polymer*. Vol.75(3):472-478.
- Maftoonazad, N., H.S. Ramaswamy dan M. Marcotte. 2007. Evaluation of factors affecting barrier, mechanical and optical properties of pectin-based films using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*. Vol.30(5):539-563.
- Marpaung M., A. Usman dan N.E. Suyatma. 2015. Pelapis nanokomposit untuk pengawetan salak pondoh terolah minimal. *Jurnal Keteknik Pertanian*. Vol.3(1):73-80.
- Mastromatteo, M., A. Conte, dan M.A. Del Nobile. 2011. Combined effect of active coating and MAP to prolong the shelf life of minimally processed kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward). *Food Research International*. Vol.44(5):1224-1230.
- Medlicott, A.P., J.M. Sigrist, S.B. Reynolds dan A.K. Thompson. 1987. Effect of ethylene and acetylene on mango fruit ripening. *Journal Applied Biology*. Vol.111(2):439-444.
- Meng, X., M. Zhang dan B. Adhikari. 2014. The effects of ultrasound treatment and nano-zinc oxide coating on the physiological activities of fresh-cut kiwifruit. *Food Bioprocess Technology*. Vol.7(1):126-132.
- Moalemiyan, M., H.S. Ramaswamy dan N. Maftoonazad. 2011. Pectin-based edible coating for shelf-life extension of Ataulfo mango. *Journal of Food Processing*. Vol.35(4):572-600.
- Monedero, F.M., M.J. Fabra, P. Talens dan A. Chiralt. 2009. Effect of oleic acid-beeswax mixtures on mechanical, optical and water barrier properties of soy protein isolate based films. *Journal Food Engineering*. Vol. 91(4):509-515.
- Muscat, D., R. Adhikari, S. McKnight, Q. Guo dan B. Adhikari. 2013. The physicochemical characteristics and hydrophobicity of high amylose starch-glycerol films in the presence of three natural waxes. *Journal Food Engineering*. Vol:119(2):205-219.
- Nafchi A.M., A.K. Alias, S. Mahmud dan M. Robal. 2012. Antimicrobial, rheological, and physicochemical properties of sago films filled with nanorod-rich zinc oxide. *Journal Food Engineering*. Vol.113(4):511-519.
- Plotto, A., J.A. Narciso, N. Rattanapanone dan E.A. Baldwin. 2010. Surface treatments and coating to maintain fresh-cut mango quality in storage. *Journal of Food Science and Agriculture*. Vol.90(13):2333-2341.
- Qanyah dan Ambarsari. 2011. Efisiensi penggunaan kemasan kardus distribusi mangga arumanis. *Jurnal Litbang Pertanian*. Vol.30(1):8-15.
- Ramnanan-Singh, R. 2012. Formulation and thermophysical analysis of a beeswax microemulsion and the experimental calculation of its heat transfer coefficient. (Thesis).

- Department of Mechanical Engineering, University of New York City. USA.
- Rhim, J.W. dan L.F. Wang. 2013. Mechanical and water barrier properties of agar/k-carrageenan/konjac glucomannan tertiary blend hydrogel film. *Carbohydrate Polymer*. Vol.96(1):71-81.
- Ruzaina, I., A.R. Norizzah, H.M.S Zahrah, C.S. Cheow, M.S. Adi, A.W. Noorakmar dan M.A. Zahid. 2013. Utilisation of palm-based and beeswax coating on the postharvest-life of guava (*Psidium guajava* L.) during ambient and chilled storage. *International Food Research Journal*. Vol.20(1):265-274.
- Sabarisman, I., N.E. Suyatma, U. Ahmad, F.M. Taqi. 2015. Aplikasi nanocoating berbasis pektin dan nanopartikel ZnO untuk mempertahankan kesegaran salak pondoh. *Jurnal Mutu Pangan*. Vol.2(1):50-56.
- Sharon, M., A.K. Choudhary dan R. Kumar. 2010. Nanotechnology in agricultural disease and food safety. *Journal of Phytology*. Vol.2(24):83-92.
- Shojaee-Aliabadi, S., H. Hosseini, M.A. Mohammadifar, A. Mohammadi, M. Ghasemlou, S.M. Hosseini, dan R. Khaksar. 2014. Characterization of K-carrageenan films incorporated plant essential oils with improved antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*. Vol.101(2014):582-591.
- Velickova, E., E. Winkelhausen, S. Kuzmanova, V.D. Alves dan M.M. Martins. 2013. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditons. *Food Science and Technology*. Vol.52(2):80-92.
- Yu J., J. Yang, B. Liu dan X. Ma. 2009. Preparation and characterization of glyserol pasticized-pea starch/ZnO-carboxymethyl cellulose sodium nanocomposites. *Biosource Technology*. Vol.100(11):2832-2841.
- Zhu, X., Q. Wang, J. Cao, dan W. Jiang. 2008. Effects of chitosan on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*. Vol.32(5):770-784

Halaman ini sengaja dikosongkan