

**APLIKASI PELAPISAN NANOKOMPOSIT UNTUK MEMPERTAHANKAN
KUALITAS SALAK PONDOH (*SALACCA EDULIS* RENIW)
APPLICATION OF NANOCOMPOSITE BASED ON CHITOSAN AND
GELATIN TO MAINTAIN QUALITY OF SALACCA FRUIT**

Setyadi Gumaran^a, Sutrisno^a, Evi Savitri Iriani^b

^a*Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia*

^b*Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, Bogor, Indonesia*

Email: setyadigumaran@gmail.com

ABSTRAK

Pelapisan nanokomposit dapat meningkatkan karakteristik fisik, mekanis serta fungsional dari bahan pelapis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pelapisan nanokomposit dengan berbagai polimer (gelatin dan kitosan) yang ditambahkan seng oksida dan beeswax untuk menjaga kualitas salak pondoh selama penyimpanan. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan emulsi beeswax dan NP-ZnO dapat menurunkan nilai WVTR dari 25.6 menjadi 13.75 g/m²jam. Penambahan beeswax dan NP-ZnO juga dapat merubah sifat antimikroba film kitosan dan gelatin. Aplikasi nanokomposit mampu menurunkan kehilangan berat salak pondoh selama penyimpanan dibandingkan dengan kontrol salak pondoh (P <0,05). Kontrol salak memiliki nilai penurunan susut bobot tertinggi sebesar 18,57% sedangkan salak dengan perlakuan WC3 dan WG3 memiliki nilai 12,72% dan 13,92%, persentase kerusakan sebesar 76,19% pada hari ke 28 penyimpanan. Aplikasi pelapisan nanokomposit juga mampu mempertahankan kekerasan dan persen tingkat kerusakan selama penyimpanan.

Kata kunci: buah salak, beeswax, kitosan, gelatin, film nanokomposit, seng oksida

ABSTRACT

Setyadi Gumaran, Sutrisno and Evi Savitri Iriani. 2020. Application of nanocomposite based on Chitosan and Gelatin to maintain quality of Salacca fruit. (*Salacca edulis* Reniw).

Nanocomposite coating could enhance the physical and mechanical characteristic as well as functional of material coatings. This research aimed to determine the application of nanocomposite coating with various polymers (gelatin and chitosan) which added zinc oxide and beeswax to maintain the quality of salak pondoh during storage. The result showed that the addition of beeswax emulsion and ZnO-NPs significantly decreased WVTR value from 25.6 to 13.75 g/m² hours. The addition of beeswax emulsion and ZnO-NPs also changed the antimicrobial properties of chitosan and gelatin films. Application of nanocomposite coating was able to decrease the weight loss of salak pondoh during storage compared to salak pondoh control (P <0.05). Salak control has the largest weight loss value of 18.57% while salak with WC3 and WG3 treatment has a value of 12.72% and 13.92% , percentage of decay has value 76.19% on 28 days storage. Application of nanocomposite coating are also able to maintain quality such as firmness and percentage of decay during storage.

Keywords: salacca fruit, beeswax, chitosan, gelatin, nanocomposite film, zinc oxide

PENDAHULUAN

Salak pondoh (*Salacca edulis* Reinw) merupakan salah satu buah eksotik Indonesia yang digemari masyarakat karena rasanya manis, renyah, bergizi dan bernilai ekonomis. Buah salak memiliki peluang pasar yang luas baik di dalam maupun di luar negeri (ekspor). Peningkatan jumlah negara tujuan ekspor dari 10 negara pada tahun 2012 menjadi 15 negara pada tahun 2014¹. Salak merupakan buah yang mudah rusak (*perishable*) dan berumur simpan pendek. Setelah fase matang, buah mengalami fase penuaan (*senescence*) yang disusul dengan kerusakan buah. karena merosotnya ketahanan terhadap mikroba. Kerusakan dapat disebabkan oleh kerusakan mekanis, fisik, mikrobiologis dan fisiologis². Transpirasi merupakan salah satu proses utama penyebab terjadinya penurunan mutu produk, sehingga yang menurunkan nilai komersial serta sifat fisiko-kimia fisiologis buah³. Buah salak lepas tandan lebih rentan terhadap infeksi *Chalaropsis sp* dari pada buah yang masih menempel pada tandan⁴.

Salah satu teknologi pascapanen yang dapat mempertahankan kualitas buah selama penyimpanan adalah dengan perlakuan *coating* atau pelapisan buah. Pelapisan biasanya digunakan untuk memperpanjang umur simpan buah, hal itu berkaitan dengan transfer gas, mengendalikan penurunan kelembaban, menunda perubahan warna serta dapat memperbaiki penampilan selama penyimpanan⁵. Bahan baku utama dalam pembuatan pelapis buah ini diantaranya adalah senyawa-senyawa polisakarida dan protein. Ke dua jenis bahan tersebut dapat membentuk film-film dengan sifat mekanis yang baik, tetapi memiliki sifat permeabilitas yang kurang, sedangkan lipid membentuk film-film rapuh tetapi dengan peningkatan permeabilitas yang baik. Lapisan baru yang dikembangkan difokuskan pada penggabungan matriks polimer dengan beberapa komponen senyawa hidrofobik⁶.

Film nanokomposit adalah campuran polimer dan *nanofiller* dimana matriks polimer tetap dalam fase kontinyu dan *nanofiller* (skala nano 1-100 nm) dalam fase diskontinu untuk membuat sistem multifase bahan padat^{7,8}. *NP-ZnO* yang ditambahkan kedalam matriks polimer dapat memberikan aktivitas antimikroba pada bahan kemasan dan memperbaiki sifat kemasan⁹.

Gelatin adalah salah satu polimer yang digunakan untuk pembuatan film nanokomposit. Gelatin merupakan protein yang menjanjikan untuk pembuatan biopolimer, karena sifat pembentuk filmnya yang baik dan biodegradabilitas.

Selain itu polimer lain yang sering digunakan untuk aplikasi pelapisan buah dan sayuran adalah kitosan. Kitosan memiliki efek pengendalian terhadap penyakit, kerusakan mekanis, fisik dan biokimia. Sifat fisik polimer dapat menghasilkan film pada permukaan buah¹⁰. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek pelapisan nanokomposit terhadap kualitas salak pondoh selama penyimpanan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama pada penelitian ini adalah buah salak pondoh dengan umur 5-6 bulan setelah penyerbukan yang diperoleh dari perkebunan salak di Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kitosan *food grade* (PT Biotech Surindo, Indonesia), nanopartikel seng oksida (*NP-ZnO*) dengan ukuran partikel rata-rata 20 nm (Wako, Jepang), Gelatin kulit ayam, *beeswax* (lilin lebah), gliserol (Brataco, Indonesia), Tween 60 dan Span 60 (Brataco, Indonesia) yang semuanya bersifat *analytical grade* serta bahan penunjang lainnya. Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2017 sampai Desember 2017 di Laboratorium Balai Besar Pascapanen, Cimanggu, Bogor.

Metode

Pembuatan Larutan Emulsi Beeswax

Metode yang digunakan berdasarkan Ramnanan-Singh¹¹ *beeswax* ditimbang sebanyak 20,3 g kemudian dilelehkan menggunakan *stirring hot plate* pada suhu 70°C. selanjutnya ditambah dengan Tween 60 sebanyak 29,8 g dan span 60 sebanyak 10,9 g yang telah dilelehkan terlebih dahulu, 140 ml Aquades (70°C) ditambahkan sedikit demi sedikit sampai tercampur merata. Kemudian dilakukan homogenisasi menggunakan *ultra turax* pada kecepatan 8500 rpm selama 15 menit.

Pembuatan Larutan Nanokomposit

Metode pembuatan larutan nanokomposit mengacu pada beberapa metode yang telah dimodifikasi dari Sathiyabama¹², Shankar *et al*⁸ dan Meindrawan *et al*¹³. Gelatin dilarutkan ke dalam pelarut akuades, sedangkan kitosan dilarutkan ke dalam pelarut asam asetat 1% menggunakan *stirring hot plate* hingga suhu larutan mencapai 60°C kemudian ditambahkan 0.5% gliserol (b/v), dan 3% larutan *beeswax* (b/v), 3% *NP-ZnO* (b/b kitosan/gelatin) yang telah dilarutkan dalam aquades menggunakan sonikasi selama 15 menit.

Aplikasi Pelapisan Nanokomposit untuk Mempertahankan Kualitas Salak Pondoh (*Salacca edulis* Reniw)
(Setyadi Gumaran, Sutrisno, Evi Savitri Iriani)

Tabel 1. Formulasi larutan nanokomposit berbahan baku gelatin dan kitosan

Table 1. Formulation of nanocomposite based on gelatin and kitosan

Formulation	Chitosan (g)	Gelatin (g)	Beeswax (g)	Glycerol (g)	Solvent (g)
C3	1	-	-	0.5	98.5
WC3	1	-	3	0.5	95.5
G3	-	5	-	0.5	94.5
WG3	-	5	3	0.5	91.5

Pembuatan Film Nanokomposit

Sebanyak 25 ml larutan nanokomposit dituangkan kedalam cawan petri plastik dan dikeringkan pada suhu ruang (27-30°C) selama 2 jam setelah film kering di lepaskan dari cawan petri plastik kemudian dibungkus dalam almunium foil dan disimpan dalam deksikator pada RH 53% selama 48 jam untuk prekondisi sebelum dilakukan analisa. Sebanyak 4 larutan dihasilkan diantaranya adalah C3 (Kitosan + 3% NP-ZnO), WC3 (Kitosan + Beeswax + 3% NP-ZnO), G3 (Gelatin + 3% NP-ZnO) dan WG3 (Gelatin + Beeswax + 3% NP-ZnO).

Analisis Zat Antimikroba

Pengujian aktivitas antimikroba dilakukan dengan metode difusi sumur untuk bakteri dan metode cakram untuk jamur. Pada metode sumur, kultur bakteri uji (*Eschericia coli* dan *Staphylococcus aureus*) sebanyak 0.2 ml diinokulasi ke dalam Natrium Agar (NA) 100 ml. 20 ml NA yang sudah ditambah kemudian dituang ke dalam cawan petri steril dan didiamkan hingga mengeras. Lubang sumur dibuat dengan diameter 6 mm. 30 µL larutan nanokomposit dituangkan ke dalam sumur dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Untuk metode cakram, menggunakan kertas cakram dengan ukuran 6mm, rendam kertas cakram pada larutan nanokomposit kemudian kertas cakram diletakkan diatas PDA yang sudah ditumbuhkan jamur murni (*Aspergillus niger*) selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Zona hambat ditunjukkan dengan area bening yang terbentuk disekitar sumur atau kertas cakram.

Pengukuran laju transmisi uap air

Laju transmisi uap air WVTR (*Water Vapor Transmission Rate*) terhadap film diukur dengan menggunakan metode ASTM D1249-90 (1993)³⁵. Prinsip kerja dari metode ini adalah mengukur besarnya uap air yang mampu menembus sampel film nanokomposit dengan cara menghitung penambahan berat pada bahan penyerap uap air (CaCl). Sampel film dipotong dalam bentuk silinder dengan diameter 30 mm dan dilekatkan

pada wadah permeansi, kemudian disimpan dalam desikator pada suhu 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 vapor transmission rate/ WVTR*) (g/m² jam) dihitung dari kemiringan garis (*slope*) yang dihasilkan dari analisis regresi bobot sebagai fungsi waktu. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara penambahan berat dan waktu. Nilai WVTR dihitung dengan rumus

$$WVTR = \frac{S}{L_s} \quad (1)$$

Keterangan :

S : Slope

L_s : Luas Sampel (m²)

Morfologi Permukaan Film

Morfologi permukaan film diamati menggunakan instrumen SEM *Scanning Electron Microscopy* (Carl, Zeiss EVO M10, USA) Sampel dipotong kecil (5mm x 5mm) dan dipasang pada penampang visualisasi perunggu dengan menggunakan *double site tape*. Permukaan sampel dilapisi dengan lapisan emas tipis pada kondisi *sputter time* 60 detik dan *sputter current* 20 mA. Sampel dimasukkan ke dalam alat SEM dan gambar permukaannya diambil menggunakan detector SE (*Secondary Electron*), WD (*Working Distance*) 11,5-12 mm dan EHT (*Extra High Tension*) 11,0 Kv Pengamatan struktur film dilakukan pada perbesaran 1000 kali.

Persiapan Salak Pondoh

Salak pondoh yang digunakan adalah salak pondoh dengan umur 5-6 bulan setelah penyerbukan. Kemudian dilakukan proses pembersihan, sortasi dan grading untuk memisahkan buah yang mengalami kerusakan

Aplikasi Pelapisan

Aplikasi pelapisan buah salak pondoh dengan larutan nanokomposit dilakukan dengan cara menyemprotkan (*spray*) larutan nanokomposit pada keseluruhan permukaan salak pondoh kemudian dikeringkan menggunakan kipas.

Penyimpanan dan analisis kualitas salak pondoh

Buah salak pondoh hasil perlakuan selanjutnya disimpan pada *cool room* dengan suhu 14-16°C selama 28 hari. Setiap 4 hari diamati penurunan kualitasnya, yang meliputi parameter susut bobot, persen kerusakan, kekerasan pada salak utuh dan salak tanpa kulit.

Persen Kerusakan

Pengukuran kerusakan buah salak dilakukan dengan cara menghitung buah salak yang mengalami kerusakan seperti adanya jamur pada permukaan kulit buah, dan busuk lunak pada pangkal atau ujung buah secara fisik dan visual. Kerusakan tersebut dikategorikan sebagai buah yang rusak. Persen kerusakan dapat dihitung dengan rumus

$$\% \text{ Kerusakan} = \frac{A_1}{A_2} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan

A_1 : Jumlah buah rusak

A_2 : Jumlah buah total

Susut Bobot

Pengukuran susut bobot diperoleh dengan cara mengukur berat awal dan berat akhir sampel. Pengukuran dilakukan dengan 3 ulangan. Nilai susut bobot dihitung dengan rumus

$$\% \text{ Susut Bobot} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

W_1 : Berat Awal

W_2 : Berat akhir

Analisis Kekerasan

Analisis kekerasan dilakukan pada dua kali, pertama kekerasan buah dengan kulit dan yang kedua adalah buah tanpa kulit. Keduanya diukur menggunakan texture analyzer dengan tipe *probe TA 39*, beban kompresi 4500 g dengan kecepatan kompresi 0,5 mm/s. Kompresi dilakukan pada 3 titik yang berbeda pada tiap buah salak. Pengukuran dilakukan dengan 3 ulangan. Kekerasan sampel diperoleh dari nilai maksimum (g) rata-rata yang tercatat selama dilakukan kompresi.

Analisis Statistik

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap dimana formulasi pelapis (5 level) dijadikan faktor I dan lama penyimpanan (8 level) dijadikan faktor II dievaluasi menggunakan ANOVA dan uji lanjut DMRT pada $\alpha = 5\%$ dilakukan jika ada beda nyata antar perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Zat Anti Mikroba

Berdasarkan hasil analisa secara kuantitatif (Tabel 2) menunjukkan bahwa larutan kitosan dan gelatin dengan penambahan 3% *NP-ZnO* memiliki nilai zona hambatan yang lebih besar pada bakteri *E.coli*, *S.aureus* dan jamur *A.niger* dibandingkan dengan larutan nanokomposit kitosan dan gelatin yang telah ditambahkan *beeswax*, sedangkan untuk kontrol tidak memberikan efek antimikroba pada ketiga jenis mikroba. Menurut Shankar *et al*⁸ penambahan *NP-ZnO* mampu memperlambat pertumbuhan bakteri karena menyebabkan terjadinya disorganisasi membran bakteri yang menyebabkan permeabilitas meningkat dan akumulasi nanopartikel pada membran bakteri daerah sitoplasma sel. Produksi *Reactive oxygen species* (ROS) dan pengendapan *NP-ZnO* didalam sitoplasma atau pada permukaan bakteri menyebabkan penghambatan atau pembunuhan sel bakteri. Menurut Rahman *et al*¹⁴ hal ini diyakini bahwa partikel *NP-ZnO* melepaskan ROS bersama dengan ion Zn^{2+} , dinding sel bermuatan negatif sehingga menyebabkan kebocoran dan pada akhirnya bakteri mengalami kematian. Hasil penelitian Nafchi *et al*²⁸ menunjukkan bahwa film berbasis gelatin yang diinkorporasi *Nr-ZnO* menunjukkan sifat anti mikroba yang meningkat secara signifikan dengan meningkatnya kandungan *Nr-ZnO* (>0,02 (g/g kering gelatin)). Sedangkan menurut Rahman *et al*¹⁴ film kitosan yang diinkorporasi 2% *NP-ZnO* kedalam matriks paling efisien menghambat aktivitas bakteri *E.coli* $2,5 \pm 0,421 \times 10^7$ CFU/ml dan bakteri *S.aureus* $9 \pm 0,367 \times 10^7$ CFU/ml. Mekanisme antimikroba ZnO diakibatkan interaksi kimia dan atau fisik antara partikel ZnO dengan dinding sel mikroorganisme. Zn^{2+} dapat menembus dinding sel dan bereaksi dengan komponen interior yang mempengaruhi viabilitas sel. Sementara H^+ dapat mengoksidasi molekul air dan ion hidroksida, molekul radikal hidroksil dan hidrogen peroksida (H_2O_2) kemungkinan lain reaksi H_2O_2 yang sangat oksiradikal yang bersifat toksik bagi mikroba^{16,17}.

Perbedaan aktivitas antimikroba pada larutan nanokomposit disebabkan oleh perbedaan struktur dan komposisi kimia permukaan sel bakteri. Pada permukaan sel bakteri gram negatif terdapat lapisan lemak, lipopolisakarida dan peptidoglikan yang tipis, sedangkan bakteri gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal^{18,19}. Selain itu, penambahan *NP-ZnO* dapat meningkatkan muatan positif pada gugus amino kitosan. Hal ini menghasilkan interaksi dengan komponen anionik pada dinding sel dan film komposit. Penurunan aktivitas bakteri *S. aureus* adalah karena adanya lapisan tebal

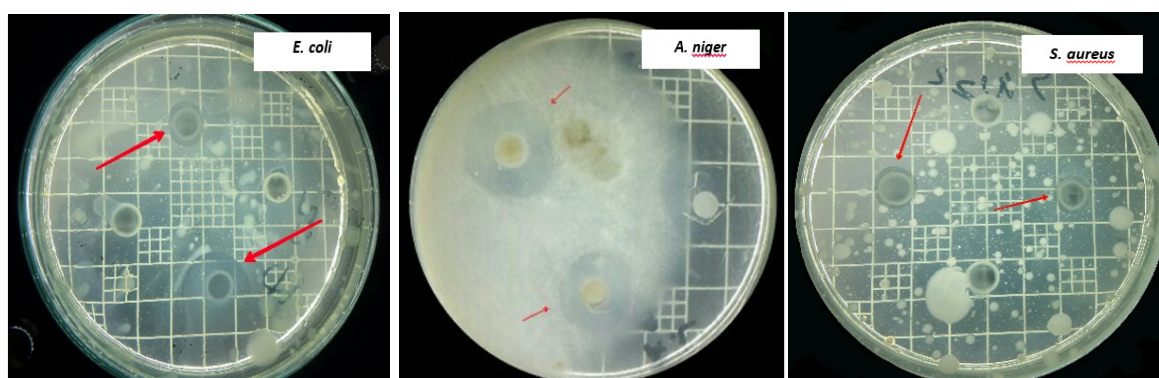
peptidoglikan pada dinding sel bakteri^{20,21}. Pembentukan radikal bebas aktif pada permukaan *NP-ZnO* yang berperan penting merusak sel-sel mikroba¹⁷. Penambahan *beeswax* diduga dapat melemahkan aktivitas antimikroba pada setiap sampel. Hasil penelitian Meindrawan *et al*¹³ membuktikan bahwa penambahan 0,5% *NP-ZnO* kedalam film berbasis karagenan dengan penambahan *beeswax* kedalam polimer dapat membentuk senyawa kompleks yang baru antara *NP-ZnO* dan *beeswax* yang dapat menyebabkan berkurangnya Ion Zn^{+} sehingga tidak menghasilkan aktifitas antimikroba.

Analisis Laju Transmisi Uap Air

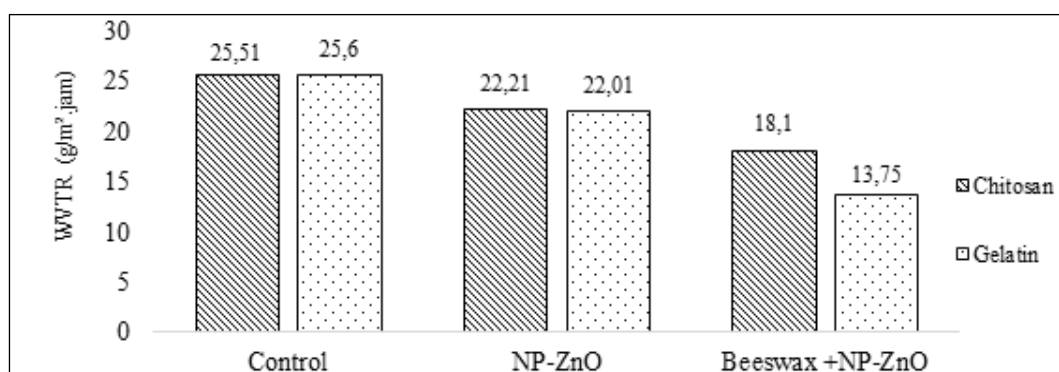
Pengukuran laju transmisi uap air (*water vapor transmission rate*/WVTR) diukur dengan menghitung kemampuan uap air yang melewati film. Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan 3% *NP-ZnO* mampu menurunkan nilai WVTR. film Kitosan (C3) dari 25,52 menjadi 22,21 g/m^2jam , sedangkan untuk film Gelatin (G3) dari 25,60 menjadi 22,01 g/m^2jam . Peningkatan sifat permeabilitas uap air dikaitkan dengan peningkatan jalur

berliku-liku molekul air untuk melewati matriks polimer seiring dengan penambahan *NP-ZnO* kedalam matriks polimer⁷. Hasil penelitian lain membuktikan bahwa inkorporasi 2% *NP-ZnO* kedalam film berbasis kitosan mampu menurunkan nilai WVTR 22,2±0,67 menjadi 20,57± 0,17 g/m^2jam ¹⁴. Studi lain menyatakan bahwa permeabilitas uap air film berbasis gelatin dan tepung tapioka menurun sangat signifikan seiring meningkatnya jumlah *Nr-ZnO* yang diinkorporasikan kedalam film. Inkorporasi 3,5% nanopartikel kedalam film menurunkan nilai permeabilitas uap air sebesar 18%²¹. Penelitian serupa menunjukkan bahwa inkorporasi 1% *NP-ZnO* kedalam film berbasis karagen yang dikombinasikan dengan *beeswax* menciptakan efek sinergis terbaik dalam menurunkan nilai WVTR film¹³, film berbasis pektin dan asam stearat²².

Film nanokomposit yang ditambahkan *beeswax* kedalam matriksnya, memiliki nilai WVTR paling rendah dibandingkan semua sampel. Film gelatin (WG3) memiliki nilai 13,75 g/m^2jam sedangkan film kitosan (WC3) memiliki nilai 18,10 g/m^2jam . Perbedaan



Gambar 1 Zona hambat Antimikroba
Figure 1 Antimicrobial inhibition zone



Gambar 2. Analisa WVTR Film
Figure 2. WVTR film Analysis

Tabel 2 Aktivitas antimikroba
Table 2 Antimicrobial activity

Polimer Type	Type of Microorganism	Control	Beeswax (mm)	Non-Beeswax (mm)
Kitosan	<i>E. coli</i>	0	2.05±0.55	2.80±0.55
	<i>S. aureus</i>	0	1.35±0.07	1.46±0.07
	<i>A. Niger</i>	0	1.90±0.27	2.19±0.16
Gelatin	<i>E. coli</i>	0	1.91±0.33	2.46±0.14
	<i>S. aureus</i>	0	1.53±0.01	1.55±0.13
	<i>A. Niger</i>	0	1.41±0.18	1.50±0.01

nilai WVTR diduga karena ikatan hidrogen dan antara bahan serta ikatan inter dan intra molekul antara komponen film²³. Hasil yang sama juga didapatkan dengan penambahan *beeswax* kedalam film berbasis *gellan gum*²⁴, film berbasis karagenan¹³, film berbasis hidroksipropil metilselulosa²⁵, menurun seiring ditambahkan *beeswax* kedalam matriks polimer film. Senyawa lemak termasuk gliserida seperti ester dari gliserol, asam lemak dan lilin yang merupakan ester dari *monohydric* alkohol dan asam lemak rantai panjang²⁶. *Beeswax* tersusun atas ester alkohol dan alkana rantai panjang yang sangat efektif dalam membatasi difusi air²⁷. Pelapisan dengan penambahan lemak bertujuan untuk membatasi pertukaran gas O₂ dan CO₂ antara atmosfer dan buah sejauh tingkat O₂ internal menjadi rendah untuk mendukung respirasi aerobik, menghasilkan internal etanol, acetaldehyde, dan CO₂ internal²⁶.

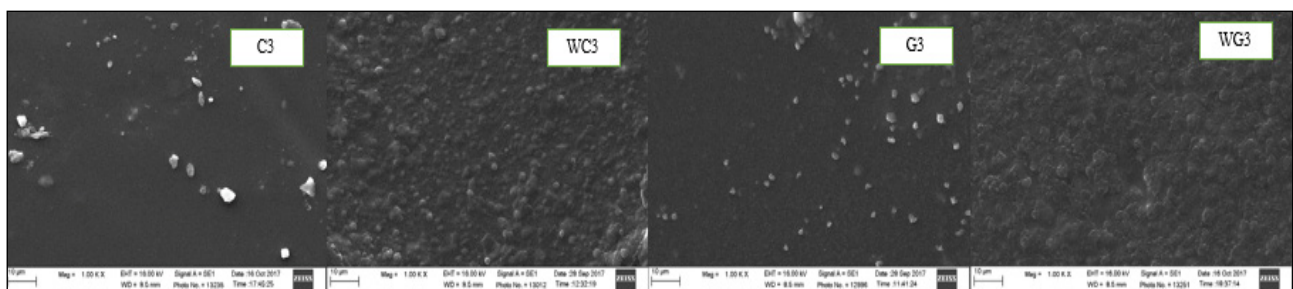
Analisis Morfologi

Hasil analisa morfologi permukaan film berbasis kitosan dan gelatin dengan penambahan *beeswax* dan *NP-ZnO* disajikan pada Gambar 3. Film gelatin (G3) dengan inkorporasi 3% *NP-ZnO* membentuk struktur permukaan yang halus dan berwarna bening kuning kecoklatan, akan tetapi terdapat beberapa aglomerasi *NP-ZnO* di beberapa daerah permukaan film. Hasil penelitian yang sama menunjukkan morfologi permukaan film gelatin relatif halus dan homogen, ketika komposisi

permukaan nanopartikel berubah, sifat fisik juga dapat berubah^{23,28}.

Film kitosan (C3) yang memiliki struktur permukaan yang halus, bening dan terdapat beberapa aglomerasi *NP-ZnO* di beberapa daerah permukaan film. Penambahan *NP-ZnO* menyebabkan morfologi permukaan di beberapa daerah menjadi kasar, distribusi yang tidak teratur, struktur pori yang tidak merata pada permukaan film, menunjukkan bahwa ada adhesi yang baik antara *NP-ZnO* dan matriks kitosan^{30,17}. Sedangkan pada film berbasis kitosan dan gelatin dengan penambahan *beeswax* memiliki permukaan yang sedikit kasar dan berwarna putih transparan (WC3) dan coklat keputihan (WG3).

Hasil penelitian Meindrawan *et al*¹³ menyatakan bahwa penambahan *beeswax* kedalam karagenan menunjukkan struktur permukaan kasar dengan distribusi nanopartikel yang tidak rata dan menunjukkan beberapa agregasi dari *NP-ZnO* di permukaan film. Menurut Yang dan Paulson²⁴ penambahan lemak umumnya menyebabkan film menjadi berwarna keputihan, peningkatan warna putih pada film muncul dari penyebaran warna putih dari lemak yang tersebar pada emulsi kemudian didistribusikan keseluruhan jaringan polimer setelah film terbentuk. Film kitosan dan gelatin dengan penambahan *beeswax* memiliki struktur permukaan yang kasar hal itu diakibatkan gelembung udara terperangkap didalam film.



Gambar 3. Morfologi Permukaan film
Figure 3. Surface Morphology Film

Analisis Kualitas Salak

Susut Bobot

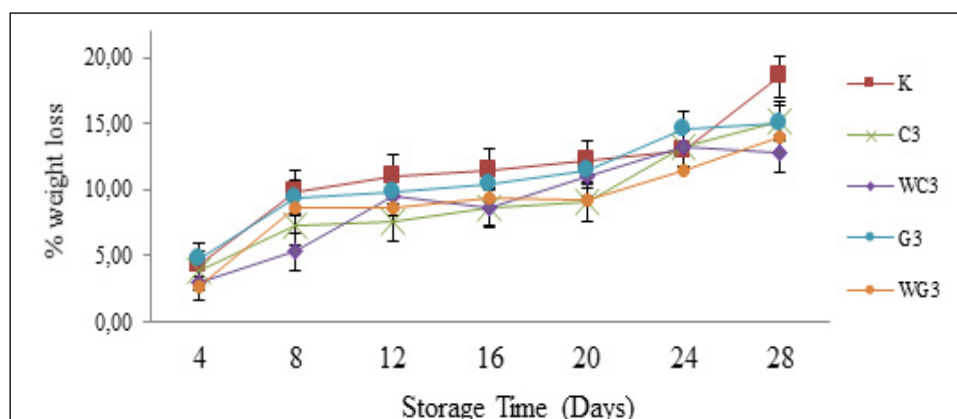
Susut bobot salak pondoh menunjukkan kenaikan yang signifikan secara terus menerus selama periode penyimpanan ($P > 0,05$) yang ditunjukkan Gambar 4. Tingginya susut bobot diakibatkan proses respirasi dan transpirasi yang tidak dapat dihambat selama penyimpanan. Proses transpirasi yang menyebabkan meningkatnya susut bobot karena penguapan air pada jaringan akibat adanya perbedaan tekanan uap udara sekitarnya, sehingga semakin cepat proses transpirasi terjadi maka semakin cepat produk yang dikemas kehilangan bobotnya. Pelapisan mampu menurunkan susut bobot salak pondoh selama penyimpanan dibandingkan salak pondoh kontrol ($P < 0,05$). Salak kontrol memiliki nilai susut bobot terbesar yaitu 18,57% sedangkan salak dengan perlakuan WC3 dan WG3 memiliki nilai 12,72% dan 13,92% pada hari ke 28 penyimpanan. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa pelapisan dengan penambahan *beeswax* pada polimer mampu mengurangi susut bobot dibandingkan dengan pelapis yang tidak ditambahkan *beeswax*. Pelapisan lilin menyebabkan proses respirasi bekerja lebih lambat, selain itu penambahan komponen lemak seperti *beeswax* diketahui dapat mengatur keseimbangan komponen hidrofilik-hidrofobik pelapis sehingga meningkatkan efektifitasnya dalam menekan kehilangan air akibat transpirasi dan respirasi. Hasil penelitian Sabarisman *et al*²² menunjukkan bahwa pelapisan salak pondoh dengan nanokomposit berbasis pektin mengalami peningkatan susut bobot selama penyimpanan. Peningkatan susut bobot pada perlakuan pelapisan lebih rendah dibandingkan dengan tanpa pelapisan larutan nanokomposit. Susut bobot menandakan terjadinya kehilangan air pada buah selama proses penyimpanan. respirasi buah salak

pondoh mengalami penurunan pada awal sampai hari ke 8 penyimpanan dan akhirnya mendekati laju respirasi yang konstan hingga akhir penyimpanan. Suhu dan kelembaban relatif (RH) adalah variabel lingkungan yang penting dan dapat mempengaruhi defisit tekanan uap air, antara buah atau sayuran dan lingkungannya³². Transpirasi buah dan sayuran tergantung pada perbedaan tekanan uap antara produk dan kondisi lingkungan sekitar, respirasi dan faktor intrinsik setiap produk.

Kerusakan

Selama penyimpanan salak pondoh mengalami penurunan kualitas yang ditandai dengan kerusakan pada buah. Penurunan kualitas salak pondoh meliputi perubahan aroma, permukaan kulit yang berjamur, busuk pada pangkal dan ujung buah yang menyebabkan tekstur buah menjadi lunak, berair serta perubahan daging buah menjadi berwarna coklat.

Berkembangnya mikroorganisme selama penyimpanan disebabkan oleh kondisi lingkungan yang mendukung dan tersedianya nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme yang selanjutnya mengakibatkan buah mengalami kerusakan. Selain itu proses metabolisme yang terus berlangsung selama penyimpanan menyebabkan turunya ketahanan buah terhadap mikroorganisme pembusuk. Persentase kerusakan salak pondoh (Gambar 6) mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan lamanya penyimpanan untuk semua perlakuan ($p < 0,05$). Penyimpanan hari ke 16 buah salak pondoh mulai mengalami kerusakan awal, sedangkan pada hari ke 24 sampai dengan hari ke-28 menunjukkan tingkat kerusakan paling signifikan. Kerusakan paling sedikit terjadi pada hari ke 24 yaitu perlakuan kitosan dan gelatin dengan penambahan NP-ZnO sebesar 61.90 % dibandingkan kontrol sebesar 76.19 %.



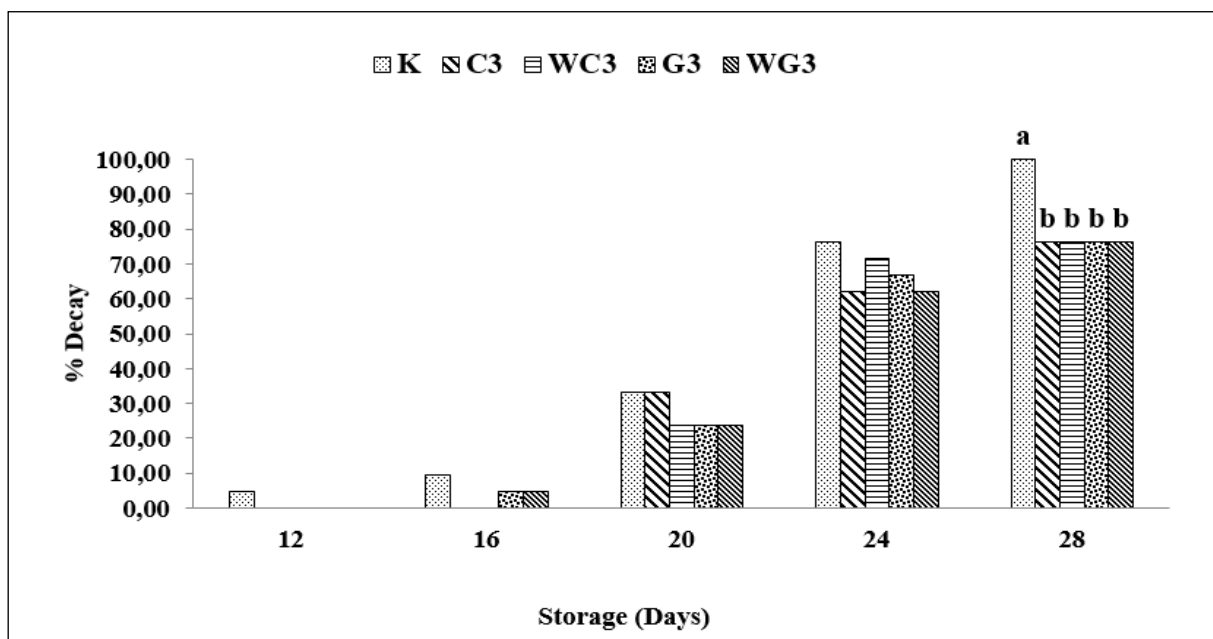
Gambar 4. Susut bobot salak pondoh selama penyimpanan
Figure 4. Weight loss of salacca pondoh during storage



Gambar 5 Kerusakan salak pondoh selama penyimpanan
 Figure 5. Decay of salacca during storage

Kerusakan pada buah salak diakibatkan kontaminasi jamur yang menyebabkan busuk lunak pada pangkal buah. Pada akhir penyimpanan rata-rata semua perlakuan mengalami kerusakan antara 79.19-80.95% sedangkan kontrol mengalami kerusakan 100%. Hasil penelitian serupa salak pondoh yang dilapisi dengan kitosan dan beeswax 10% menunjukkan bahwa buah salak mengalami kerusakan lebih dari 50% setelah 11 hari penyimpanan di suhu ruang sedangkan buah salak yang disimpan di suhu 15°C mengalami kerusakan lebih dari 50% setelah 15 hari penyimpanan, hasil yang lebih rendah diduga karena perbedaan penggunaan jenis polimer larutan coating³¹. Kerusakan secara visual pada buah salak varietas Gading yang tidak dilapisi lilin lebih

cepat dibandingkan dengan buah salak dengan pelapisan lilin yang disimpan pada suhu ruang selama 15 hari penyimpanan³. Kerusakan buah salak pondoh diakibatkan penyakit seperti busuk lunak pada pangkal buah, serta terdapat beberapa jamur pada permukaan kulit buah, hal tersebut diduga karena air bebas pada buah selama penyimpanan. Kombinasi air bebas dan peningkatan suhu menciptakan kondisi yang ideal untuk germinasi dan pertumbuhan patogen. Oleh karena itu keberadaan air bebas sangat penting dan dianggap sebagai faktor kunci dalam perkembangan. Jamur yang menyerang salak termasuk *Erwinia carotovora*, *Aspergillus sp* dan *Cercocystis sp*^{32,4}.



Gambar 6 Persentase Kerusakan salak pondoh selama penyimpanan
 Figure 6 Percentage of decay salacca pondoh during storage

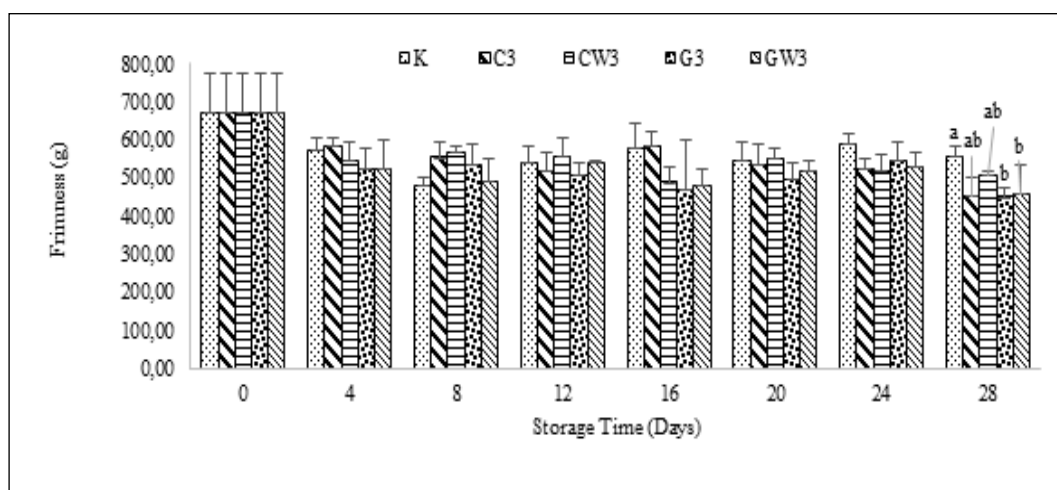
Kekerasan

Pelunakan tekstur buah disebabkan oleh perubahan tekanan turgor serta degradasi pati dan polisakarida pada dinding sel. Pektin merupakan jenis polisakarida utama pada dinding sel yang mengalami perubahan selama pematangan, selain selulosa dan hemiselulosa³⁴. Gambar 7 memperlihatkan nilai kekerasan daging buah salak pondoh mengalami penurunan yang signifikan seiring lamanya penyimpanan ($p < 0.05$). Pada hari ke-28 penyimpanan daging salak pondoh kontrol memiliki nilai kekerasan 488.89 g, sementara dengan pelapisan kekerasan daging salak pondoh berkisar antara 452.83-505.50 g ($p < 0.05$).

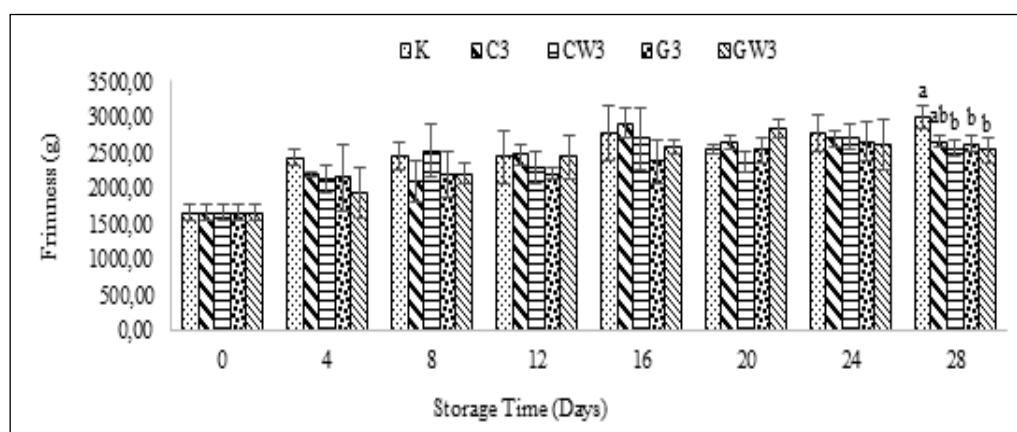
Gambar 8 memperlihatkan nilai kekerasan kulit buah salak pondoh mengalami kenaikan yang signifikan seiring lamanya penyimpanan ($p < 0.05$). Pada hari ke-

28 penyimpanan kulit salak pondoh kontrol memiliki nilai kekerasan 2897.3 g, sementara dengan pelapisan kekerasan kulit salak pondoh berkisar antara 2085.17-2233 g ($p < 0.05$). Kehilangan air ini dipengaruhi oleh laju respirasi dan transpirasi melalui kulit buah.

Semakin tua umur buah kekerasannya semakin menurun. Buah yang telah tua umurnya selnya tidak akan mengalami pembelahan lagi dan didukung aktivitas respirasi dan transpirasi yang terus berlangsung dalam buah menyebabkan kehilangan air cukup banyak sehingga ukuran sel dan tekanan isi sel terhadap dinding sel berkurang yang akhirnya mengakibatkan tekstur buah menjadi lunak³. Permukaan buah dapat diasumsikan jenuh, dengan demikian tekanan uap air pada permukaan komoditas sama dengan tekanan uap air pada suhu permukaan produk. Namun, zat terlarut dalam komoditas cenderung menurunkan tekanan uap pada permukaan³³.



Gambar 7 Kekerasan daging salak pondoh selama penyimpanan
Figure 7. Flesh firmness of salacca pondoh during storage



Gambar 8 Kekerasan kulit salak pondoh selama penyimpanan
Figure 8. Skin firmness of salacca fruit during storage

KESIMPULAN

Penambahan *NP-ZnO* pada formulasi pelapis buah salak mampu menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli*, *S.aureus* dan Jamur *A.niger* sehingga dapat diaplikasikan sebagai zat antimikroba. Hasil uji WVTR menunjukkan bahwa inkorporasi 3% *NP-ZnO* dengan emulsi *beeswax* mampu menurunkan nilai laju transmisi uap air hingga 18,1 g/m² jam dan 13,75 g/m² jam.

Aplikasi pelapisan larutan nanokomposit pada buah salak dengan metode *spray* mampu mempertahankan susut bobot, kekerasan (tekstur) dan kerusakan kurang dari 40% pada hari ke 20 penyimpanan. Larutan nanokomposit tersebut mempunyai potensi yang baik sebagai pelapis bahan pangan. Meskipun demikian perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengetahui potensinya dalam mempertahankan kualitas salak ataupun bahan pangan segar lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian yang telah memfasilitasi penelitian serta semua pihak yang membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. [PDSIP] Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2014. Ekspor Komoditi Pertanian Berdasarkan Negara Tujuan. Jakarta (ID): Kementerian Pertanian.
2. Rina IAPP. Laju Respirasi dan Susut Bobot Buah Salak Bali Segar Pada Pengemasan Plastik Polyethylene Selama Penyimpanan Dalam Atmosfer Termodifikasi. *AGROTEKNO*. 2009; 15(1): 8-11
3. Santosa B, Hulopi F. Penentuan Masak Fisiologis dan Pelapisan Lilin Sebagai Upaya Menghambat Kerusakan Buah Salak Kultivar Gading Selama Penyimpanan pada Suhu Ruang. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 2011; 12(1): 40-48.
4. Pratomo A. Identifikasi dan Pengendalian jamur Busuk Putih Buah Salak dengan Ekstra Bunga Kecombrang (*Nicolaia speciosa*). *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 2009; 15(2): 65-70
5. Ioannou I, Ghoul M. Prevention of Enzymatic Browning in Fruit and Vegetable. *European Scientific Journal*. 2013; 9 (30) : 310-341.
6. Velickova E, Winkelhausen E, Kuzmanova S, Alves Vd, Moldão-Martins M. Impact of chitosan-*beeswax* edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria*

- ananassa cv Camarosa*) under commercial storage conditions. *LWT Food Science and Technology*. 2013; 52:80-92
7. Kanmani P, Rhim JW. Physical, mechanical and antimicrobial properties of gelatin based active nanocomposite films containing AgNPs and nanoclay. *Food Hydrocoll*. 2014; 35: 644–652.
8. Shankar S, Teng X, Li G, Rhim JW. Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films. *Food Hydrocoll*. 2015; 45: 264–271.
9. Espitia PJP, Soares NdF, Coimbra JSdR, Andrade NJ, Cruz RS, Medeiros EAA. Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. *Journal of Food and Bioprocess Technology*. 2012; 5(5): 1447-1464.
10. Romanazzi G, Mlikota GF, Smilanick JL. Preharvest Chitosan and Postharvest UV Irradiation Treatments Suppress Gray Mold of Table Grapes. *Plant Disease*. 2006; 90(4) : 445-450.
11. Ramnanan-Singh R. Formulation and thermophysical analysis of a *beeswax* microemulsion and the experimental calculation of its heat transfer coefficient [Thesis]. New York (US) : University of New York. 2012.
12. Sathiyabama M, Parthasarathy R. Biological preparation of chitosan nanoparticles and its in vitro antifungal efficacy against some phytopathogenic fungi. *Carbohydrate Polymers*. 2016; 151 : 321-325
13. Meindrawan B, Suyatma NE, Mughtadi TR, Savitri EI. Aplikasi Pelapis Bionanokomposit berbasis Karagenan untuk Mempertahankan Mutu Buah Mangga Utuh. *Jurnal Keteknik Pertanian*. 2017; 5(1) : 89-96
14. Rahman PM, Mujeeb VMA, Muralreedharan K, Thomas SK. Chitosan/nano ZnO composite films: Enhanced mechanical, antimicrobial and dielectric properties. *Arabian Journal of Chemistry*. 2016; 11(1): 120-127.
15. Zhang L, Jiang Y, Ding Y, Daskalakis N, Jeuken L, Povey M. Mechanistic investigation into antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles against *E. coli*. *Journal of Nanoparticle Research*. 2010; 12(5) 1625-1636.
16. Paisoonsin S, Pornsunthorntawee O, Rujiravanit R. Preparation and characterization of ZnO-deposited DBD plasma-treated PP packaging film with antibacterial activities. *Appl Surface Sci*. 2013; 273: 824-835.
17. Malini M, Thirumavalavan M, Yang WY, Leeb JF, Annadurai G. A versatile chitosan/ZnO nanocomposite with enhanced antimicrobial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015; 80: 121–129.
18. Yamamoto O. Influence of particle size on the antibacterial activity of zinc oxide. *International Journal of Inorganic Materials*. 2001; 3: 643–646.
19. Leceta I, Guerrero P, Ibarburu I, Duenas MT, de la Caba K. Characterization and antimicrobial analysis of chitosan-based films. *J. Food Eng*. 2013; 116, 889–899.

Aplikasi Pelapisan Nanokomposit untuk Mempertahankan Kualitas Salak Pondoh (*Salacca edulis* Reniw)
(Setyadi Gumaran, Sutrisno, Evi Savitri Iriani)

20. Kumar S, Lakshmanan VK, Anilkumar TV, Ramya C, Reshmi P, Unnikrishnan G, Nair SV, Jayakumar R. Flexible and microporous chitosan hydrogel/nano ZnO composite bandages for wound dressing: in vitro and in vivo evaluation. *ACS Appl Mater. Interfaces*. 2012; 4:2618–2629
21. Marvizadeh MM, Nafchi AM, Jokar M. Improved Physicochemical Properties of Tapioca Starch / Bovine Gelatin Biodegradable Films with Zinc Oxide Nanorod. *Journal of Chemical Health Risks*. 2014; 4(4):25–31.
22. Sabarisman I, Suyatma NE, Ahmad U, Taqi FM. Aplikasi nanocoating berbasis pektin dan nanopartikel ZnO untuk mempertahankan kesegaran salak pondoh. *Jurnal Mutu Pangan*. 2015; 2(1): 50-56.
23. Lin J, Ding J, Dai Y, Wang X, Wei J, Chen Y. Antibacterial zinc oxide hybrid with gelatin coating, *Materials. Science & Engineering C*. 2017; 81: 321-326.
24. Yang L, Paulson. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. *Food Research International*. 2000; 33: 571-578.
25. Navarro-Tarazaga ML, Massa A, Perez-Gago MB. Effect of *beeswax* content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Agelena). *Food Sci Technol*. 2011; 44: 2328-2334.
26. Lin D, Zhao Y. Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Comprehensive Food Science and Food Safety*. Institute of food technologies. 2007; 6:60-75.
27. Kristo E, Biliaderis CG, Zampraka A. Water vapor barrier and tensile properties of composite caseinate-pullulan films: biopolymer composition effects and impact of *beeswax* lamination. *Food Chem*. 2007; 101(2):753-764.
28. Nafchi AM., Moradpour M., Saeidi M, Alias AK. Effects of nanorod-rich ZnO on rheological, sorption isotherm, and physicochemical properties of bovine gelatin films. *LWT-Food Sci. Technol*. 2014; 58:142–149.
29. Al-Naamani L, Dobretsov S, Dutta J. Chitosan-zinc oxide nanoparticle composite coating for active food packaging applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016; 38:231-237
30. Holcroft D. *Water Relations in Harvested Fresh Produce*. The Postharvest Education Foundation. 2015; 15(1):1-16.
31. Yopita NST, Made ISU, Diah PKK. Mempertahankan Mutu Buah Tomat Segar Dengan Pelapisan Minyak Nabati. *BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian) Udayana*. 2016; 4(1):1-9
32. Santosa B, Suliana G. Penentuan Umur Petik dan Pelapisan Lilin Sebagai Upaya Menghambat Kerusakan Buah Salak Pondoh Selama Penyimpanan pada Suhu Ruang. *Buana Sains*. 2010; 10 (1):93-100
33. Becker BR, Fricke BA. *Transpiration and Respiration of Fruits and Vegetables, New Developments in Refrigeration for Food Safety and Quality*. International Institute of Refrigeration Paris, France, and American Society of Agricultural Engineers. 1996; 110-121.
34. Tharanathan RN, Yashoda HM, Prabha TN. Mango (*Mangifera indica* L.), “The King of Fruits” An overview. *Food Rev Int*. 2006; 22: 95-123.
35. [ASTM] American Society for Testing and Materials. 1993. *Standard test method for water vapor transmission rate through plastic film and sheeting using a modulated infrared sensor: D1249-90, Annual book of American Standard Testing Methods*. Philadelphia (US): ASTM International.