

Karakteristik *Edible Film* Aktif Berbasis Kitosan dengan Penambahan Ekstrak Daun Jati

[Characteristics of Chitosan-Based Active Edible Film with Addition of Teak Leaves Extract]

Prima Dewi Ramadhani¹⁾, Supriyadi¹⁾, Henny Krissetiana Hendrasty²⁾, Eriva Meytara Budi Laksana³⁾, dan Umar Santoso^{1)*}

¹⁾ Program Magister Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Institut Pertanian INTAN Yogyakarta, Indonesia

³⁾ Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Diterima 8 Maret 2022 / Disetujui 26 Desember 2022

ABSTRACT

Teak tree (*Tectona grandis*) is a tropical tree whose wood is often used in the furniture industry, while the leaves are still underutilized. Teak leaves possess active compounds with potential to be further explored. On the other hand, currently biodegradable-based packaging is being developed to address environmental problems. For this reason, research was carried out on active edible film made from chitosan with addition of active ingredients from teak leaf extract. This study investigated the physical characteristics (color, tensile strength, elongation, solubility, cell microstructure, water vapor transmission rate) and chemical characteristics (moisture content, functional groups, antioxidant and antimicrobial activity) of active edible film made from chitosan with addition of teak leaf extract. The research consisted of three stages. The first stage included the extraction of teak leaf using ethanol and evaluation of its antioxidant and antimicrobial activity. The second stage comprised edible film preparation from chitosan at 1 and 1.5% concentrations, and teak leaf extract addition at 0, 0.1, 0.2% concentrations. The third stage was the characterization of active edible film for physical and chemical properties. The results showed that teak leaf extract had antioxidant activity as evaluated by DPPH method with IC_{50} value of 46.78 ppm. The teak leaf extract also showed antibacterial activity on *Staphylococcus aureus*. The optimum condition for the production of active edible film was use of 1% chitosan and 0.2% teak leaf extract. The active edible film produced had antioxidant activity of 8.53% RSA, 30.16%, moisture content, 38.28% solubility, 1.52 MPa tensile strength, 9.54% elongation, water vapor transmission rate of 3672.32 g/m², but the film did not show inhibitory effects on *S. aureus*.

Keywords: active edible film, antimicrobial activity, antioxidant activity, teak leaves extract

ABSTRAK

Pohon jati (*Tectona grandis*) merupakan pohon tropis yang kayunya sering dimanfaatkan untuk industri mebel, sedangkan daunnya biasa dimanfaatkan sebagai pembungkus makanan. Padahal daun jati memiliki komponen aktif yang berpotensi untuk dieksplorasi lebih lanjut. Di sisi lain, pengemasan berbasis bahan yang *biodegradable* sedang banyak dilakukan untuk mengatasi masalah lingkungan. Salah satu cara mengatasi masalah lingkungan dengan pembuatan *edible film* aktif berbasis kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati. Penelitian ini mengkaji sifat fisik (warna, kekuatan tarik, pemanjangan, kelarutan, struktur mikro sel, laju transmisi uap air) dan sifat kimia (kadar air, gugus fungsi, dan sifat antimikrobia) *edible film* aktif berbasis kitosan. Penelitian terdiri atas dua tahap. Tahap pertama adalah preparasi ekstrak daun jati menggunakan etanol 70%. Ekstrak daun jati dievaluasi aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH yang dinyatakan dalam IC_{50} dan aktivitas antimikrobia menggunakan metode difusi sumuran. Tahap kedua adalah pembuatan *edible film* berbahan kitosan dengan konsentrasi 1 dan 1,5% dengan penambahan ekstrak daun jati 0; 0,1; 0,2%. *Edible film* aktif dikarakterisasi fisik meliputi warna, kuat tarik, elongasi, kelarutan, mikrostruktur sel, WVTR dan karakterisasi kimia meliputi kadar air, gugus fungsi, dan antimikrobia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun jati memiliki aktivitas antioksidan yang diuji menggunakan metode DPPH dan menghasilkan IC_{50} sebesar 46,78 ppm. Ekstrak daun jati juga menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*. Kondisi optimum untuk membuat *edible film* aktif adalah dengan kitosan 1% dan ekstrak daun jati 0,2%. *Edible film* aktif yang dihasilkan memiliki aktivitas antioksidan 8,53%, kadar air 30,16%, kelarutan 38,28%, kuat tarik 1,52 MPa, elongasi 9,54%, serta laju transmisi uap air 3672,32 g/m², tetapi film tidak menunjukkan efek penghambatan terhadap *S. aureus*.

Kata kunci: aktivitas antimikrobia, aktivitas antioksidan, *edible film* aktif, ekstrak daun jati

*Penulis Korespondensi: E-mail: umar_s@ugm.ac.id

PENDAHULUAN

Pohon jati (*Tectona grandis*) merupakan salah satu tanaman tropis yang dibudidayakan untuk diproduksi kayunya yang kemudian diolah menjadi produk mebel. Menurut Badan Pusat Statistik, produksi kayu jati di Indonesia mencapai 539.357 m³ pada tahun 2017 (BPS, 2017). Namun, produksi kayu jati yang cukup banyak tersebut hanya diambil kayunya saja sedangkan daunnya sebagian kecil dimanfaatkan sebagai pembungkus makanan secara tradisional (Astuti, 2009). Padahal, daun jati memiliki komponen aktif yang potensial untuk dieksplorasi lebih lanjut manfaatnya.

Beberapa penelitian mengenai komponen aktif pada daun jati telah dilakukan. Arief *et al.* (2014) melaporkan bahwa ekstrak daun jati diperoleh dengan ekstraksi menggunakan etanol. Pada penelitian tersebut, diketahui bahwa ekstrak daun jati memiliki komponen aktif yaitu saponin, alkaloid, tanin, fenolik, flavonoid, triterpenoid dan glikosida. Oka *et al.* (2016) melakukan penelitian sifat fungsional daun lokal dan menunjukkan hasil adanya aktivitas antioksidan yang ditemukan pada ekstrak daun jati yang diekstrak menggunakan bahan pengeksrak akuades.

Daun jati biasanya digunakan untuk mengemas makanan semi-padat atau padat untuk disimpan dan/atau dipasarkan secara tradisional (Astuti, 2009). Selain ekonomis, daun jati juga merupakan pembungkus alami yang ramah lingkungan (Astuti, 2019). Saat ini, penelitian dan pengembangan mengenai kemasan makanan aktif (*edible active packaging*) telah banyak dilakukan, khususnya pada bahan kemasan fungsional berbasis bio dalam menggabungkan senyawa dan bahan aktif alami. Pembuatan *edible active packaging* didasarkan pada penggabungan zat antimikrobia alami dan/atau antioksidan dalam bahan kemasan makanan untuk mengontrol perubahan kualitas makanan yang tidak diinginkan (Masuelli, 2017). Berbeda dengan *edible active packaging*, *edible film* aktif digunakan sebagai pelapis makanan dan dicetak dalam bentuk lembaran sebelum diaplikasikan pada makanan (Guilbert *et al.*, 1996). *Edible film* aktif terbuat dari lapisan tipis yang dapat dimakan, dilapiskan di luar komponen makanan sebagai penghalang perpindahan massa, sebagai pembawa makanan dan meningkatkan penanganan makanan (Ahmad *et al.*, 2008). Kelebihan menggunakan *edible film* aktif antara lain dapat dimakan langsung dengan produk makanan, ramah lingkungan, memperbaiki/mempertahankan sifat organoleptik produk makanan yang dikemas, seperti rasa, pewarna, sifat antimikrobia, dan antioksidan (Bourtoom, 2008). Penelitian yang dilakukan Kusnadi dan Ponco (2015) tentang *edible film* aktif ekstrak daun jati dengan karagenan menunjukkan hasil yaitu penambahan ekstrak daun jati berpengaruh signifikan terhadap ketebalan, transmisi uap air *edible film*

aktif, serta adanya aktivitas antibakteri sehingga memungkinkan produk menjadi lebih awet. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis karakteristik *edible film* aktif dari kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama penelitian ini adalah daun jati yang dipetik dari tangkai nomor 5 dari pucuk ranting, dan kitosan komersial 97% (CV Chemmix, Yogyakarta), serta bahan pendukung antara lain gliserol (Merck, Jerman), akuades, etanol p.a (Merck, Jerman), reagen DPPH (Sigma Aldrich Ltd Company), *nutrient agar* (Oxoid Ltd England), asam asetat p.a (Merck, Jerman), metanol p.a (Merck, Jerman), dan silika gel.

Ekstraksi daun jati

Daun jati disortasi berdasarkan kenampakan fisik dan ukuran, serta tidak cacat, kemudian dibersihkan dan dikeringkan di *cabinet dryer* (TEW *electric heating equipment* type IL-70.110, Taiwan) pada suhu 50°C selama 24 jam sampai kadar air ≤10%. Daun kering dihancurkan menggunakan *blender* dan diayak ukuran 40 mesh. Ekstraksi menggunakan metode maserasi dengan pelarut etanol (Merck, Jerman) perbandingan 1:8 (b/v) dalam waktu 24 jam pada suhu ruang yaitu 20-25°C (Fitriani, 2003). Rendaman disaring secara vakum menggunakan kertas saring Whatman 42 dan dilakukan evaporasi menggunakan alat *rotary vacuum evaporator* (IKA Werke type RV06-ML, Malaysia) pada suhu 40°C. Ekstrak daun jati dianalisis untuk aktivitas antioksidan yang dinyatakan dalam IC₅₀ dan antimikrobia yang meliputi antibakteri.

Aktivitas antioksidan

Pengukuran antioksidan dilakukan dengan metode DPPH. Pengujian aktivitas antioksidan mengacu pada metode Brand-William *et al.* (1995) menggunakan 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). Sebanyak 0,1 g ekstrak dilarutkan dalam 100 mL metanol p.a (Merck, Jerman) sebagai larutan stok ekstrak daun jati. Kemudian larutan sampel uji dibuat dengan konsentrasi bertingkat masing-masing konsentrasi sebesar 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 ppm masing-masing total volume 1 mL. Kemudian sebanyak 2 mL larutan DPPH 0,1 mM ditambahkan pada larutan sampel lalu dilakukan *vortex* (Dlab type MX-S, China). Pengukuran absorbansi larutan sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Thermo Scientific type Genesys, USA) pada panjang gelombang 517 nm setiap 15 menit hingga konstan. Metode yang sama dilakukan pada sampel *butylated hydroxytoluene* (BHT) sebagai antioksidan pembanding.

Nilai penghambatan antioksidan dihitung dengan rumus berikut:

$$RSA (\%) = \frac{\text{Abs. blanko} - \text{Abs. sampel}}{\text{Abs. blanko}} \times 100\% \dots (1)$$

Perhitungan nilai IC₅₀ mengacu pada metode Hasanah *et al.* (2017) dengan membuat garis persamaan sebagai penghubung antara % inhibisi dengan masing-masing konsentrasi uji sampel. Perhitungan konsentrasi larutan sampel yang menghasilkan nilai hambat 50% dilakukan untuk mengetahui nilai IC₅₀, yaitu dilihat dari persamaan garis regresi linier dan korelasi inhibisi dengan konsentrasi. Nilai IC₅₀ dihitung dengan rumus berikut:

$$y = ax + b \dots (2)$$

$$y = 50 \dots (3)$$

$$x = \text{Konsentrasi larutan uji (Nilai IC}_{50}) \dots (4)$$

Pada pengujian film, uji aktivitas antioksidan mengacu pada metode Suhendra *et al.* (2019) yang dimodifikasi yaitu larutan stok masing-masing perlakuan dibuat dengan melarutkan 25 mg film pada 5 mL metanol kemudian disimpan selama 24 jam. Selanjutnya, 0,5 mL larutan stok dicampurkan dengan 3,5 mL larutan DPPH 0,1mM kemudian dilakukan vortex. Larutan diletakkan di ruangan gelap selama 30 menit kemudian absorbansi diukur pada panjang gelombang 517 nm menggunakan spektrofotometer UV-VIS.

Aktivitas antimikrobia

Aktivitas antimikrobia dianalisis mengikuti metode Marini *et al.* (2007) dengan modifikasi. Larutan kultur mikrobia yang digunakan adalah *Staphylococcus aureus* IFO 13276 dan *Escherichia coli* IFO 3301 dengan populasi 10⁷ CFU/mL (didapatkan dari penanaman mikrobia hingga pengenceran 10⁻⁷) lalu ditanam pada media *nutrient agar* (Oxoid Ltd, England) dan dicampur hingga homogen. Campuran *nutrient agar* dan bakteri sebanyak 20 mL dituangkan dalam cawan petri dan ditunggu hingga padat. Ekstrak daun jati sebanyak 30 µL diteteskan ke lubang sumuran yang telah dilubangi berdiameter 6 mm, kemudian dimasukkan dalam pendingin (4-10°C) selama 1 jam, dan diinkubasi pada inkubator suhu 37°C selama 48 jam dengan posisi cawan terbalik. Posisi cawan diletakkan terbalik agar air hasil kondensasi di dalam cawan tidak menetes pada media *nutrient agar*. Metode yang sama dilakukan pada kontrol positif antibakteri yaitu menggunakan *chloramphenicol* (Himedia, Jerman). Setelah inkubasi 48 jam, aktivitas penghambatan dihitung dengan mengukur lebar zona bening yang dibentuk. Semakin lebar zona bening, aktivitas penghambatan semakin tinggi.

Pada pengujian film, uji antimikrobia dilakukan dengan modifikasi yaitu lapisan film dipotong ber-

ukuran 1x1 cm kemudian diletakkan pada media *nutrient agar* yang sebelumnya diinokulasikan bakteri. Selanjutnya, masing-masing sampel diinkubasi dan diamati. Ada tidaknya aktivitas antimikrobia ditandai dengan terdapatnya lingkaran bening di sekitar sampel yang merupakan zona hambat dari zat antimikrobia yang terdapat pada sampel. Pengukuran zona hambat ini dilakukan dengan cara mengambil garis horizontal pada zona bening di sekitar sampel menggunakan jangka sorong.

Pembuatan edible film aktif

Edible film aktif dibuat dengan perlakuan kitosan 1 dan 1,5% dilarutkan dengan larutan asam asetat 1% (Rambabu *et al.*, 2019). Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 750 rpm dan suhu 60°C. Larutan ditambahkan ekstrak daun jati sesuai perlakuan (0; 0,1; dan 0,2%). Larutan sampel ditambahkan gliserol (Merck, Jerman) sebanyak 0,5 g dan disonikasi selama 15 menit. Larutan dituangkan dalam plat teflon sebanyak 130 mL dan dikeringkan pada *cabinet dryer* (TEW *electric heating equipment* type IL-70.110, Taiwan) selama 20 jam pada suhu 50°C. Film yang sudah jadi dilepaskan dan dilakukan analisis.

Analisis warna

Analisis warna mengacu pada penelitian Espitia *et al.* (2014). Analisis warna menggunakan chromameter (Konika Minolta CR-400, Japan). Nilai warna yang terukur pada layar dengan derajat nilai L*, a*, b*. Pengukuran warna film dilakukan dengan tiga kali pengulangan pada titik yang berbeda.

Analisis ketebalan

Ketebalan film diukur menggunakan mikrometer sekrup yang dilakukan pada lima titik secara acak pada permukaan film (ASTM, 2001).

Kuat tarik dan elongasi

Kekuatan tarik dan elongasi film dievaluasi dalam texturometer (TA.TX plus *Texture Analyzer*, U.K). Tiga sampel film dari setiap perlakuan dipotong sesuai cetakan dan dijepitkan untuk dianalisis. Kekuatan tarik ditentukan oleh titik tegangan maksimum dari kurva tegangan-regangan. Elongasi ditentukan oleh jarak tarik sampai film putus (ASTM, 2001).

Water vapor transmission rate (WVTR)

Wadah yang berisi silika gel ditimbang, selanjutnya ditutup dengan film yang diikat dengan karet dan dilapisi dengan plastisin. Wadah ditempatkan pada suhu kamar (20-25°C). Wadah ditimbang dari awal pengamatan setiap 30 menit selama 3 jam yang kemudian dicari selisih berat setiap 30 menit untuk mengetahui nilai WVTR yang dihitung dengan rumus berikut (Xu *et al.*, 2005):

$$WVTR = \frac{n}{t \cdot A} \dots\dots\dots (5)$$

n = Selisih perubahan berat (g); t = Lama waktu (jam);
A = Luas permukaan wadah (m²)

Scanning electron microscope (SEM)

Analisis morfologis film dilakukan dengan menggunakan SEM (SEC-SNE 3200M, Korea) dengan tegangan percepatan 20 kV. Sampel film dipotong-potong kemudian dianalisis pada permukaan untuk melihat kenampakan morfologi dari sampel film dengan jelas (Febriati, 2018).

Analisis kadar air

Cawan kosong ditimbang, kemudian sebanyak ±1-2 g film diletakkan pada cawan tersebut dan ditimbang (AOAC, 1990). Selanjutnya, sampel beserta cawan dikeringkan dalam oven (Memmert, Germany) pada suhu 105°C selama 8 jam. Sampel kemudian diletakkan pada desikator kemudian ditimbang. Tahapan tersebut dilakukan berulang hingga sampel mencapai berat konstan (perbedaan penimbangan ≤0,2 mg). Rumus perhitungan kadar air sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{bobot awal}-\text{bobot akhir}}{\text{bobot awal}} \times 100\% \dots (6)$$

Analisis kelarutan

Sampel film dipanaskan suhu 105°C selama 24 jam pada oven (Memmert, Jerman). Selanjutnya, sampel direndam menggunakan akuades sebanyak 50 mL selama 24 jam dan diaduk. Sampel ditiriskan dan dipanaskan pada suhu 105°C selama 24 jam dalam oven. Film yang telah dikeringkan ditimbang berat-nya. Rumus perhitungan kelarutan dapat dihitung dengan rumus berikut (Gontard, 1993):

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{\text{bobot awal}-\text{bobot akhir}}{\text{bobot awal}} \times 100\% \dots (7)$$

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

Sampel film ditempatkan ke dalam *set holder*, dianalisis dengan Infrared Spektrofotometer (Irpsti ge-21 Shimadzu, Jepang) menggunakan mode absorbansi. Hasilnya akan didapatkan difraktogram hubungan antara bilangan gelombang dengan intensitas (Setiani, 2013).

Analisis statistik

Penelitian ini dirancang menggunakan desain penelitian rancangan acak lengkap (CRD-Factorial) dengan dua faktor independen, meliputi tingkat konsentrasi kitosan (1 dan 1,5%) dan tingkat penam-

bahan konsentrasi ekstrak daun jati (0; 0,1; dan 0,2%) dengan tiga replikasi (Susilawati, 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Antioksidan ekstrak daun jati

Prinsip kerja metode DPPH adalah dengan mereduksi zat radikal bebas yang ada pada sampel, ditandai dengan perubahan larutan menjadi semakin pudar. DPPH bertindak sebagai *free radical agent* mengikat atom hidrogen pada senyawa antioksidan yang menyebabkan memudarnya warna ungu pada sampel dan terbentuk warna kuning secara stabil (Marliana, 2012). Hasil uji antioksidan ekstrak daun jati menggunakan metode DPPH dapat dilihat pada Tabel 1, memiliki nilai IC₅₀ sebesar 46,78 ppm dengan IC₅₀ BHT sebesar 6,67 ppm. Nilai IC₅₀ pada ekstrak daun jati menunjukkan bahwa 46,78 ppm ekstrak daun jati efektif dalam menangkal 50% radikal bebas. Antioksidan pada ekstrak daun jati ini tergolong kuat berdasarkan Molyneux (2004) yang mengelompokkan nilai IC₅₀ di bawah 50 ppm memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat, 50-100 ppm kuat, 100-150 ppm sedang, 150-200 ppm lemah, dan di atas 200 ppm sangat lemah. Senyawa antioksidan ekstrak daun jati merupakan golongan flavonoid. Penelitian Ismawati dan Marliani (2017) melaporkan bahwa kandungan antioksidan daun jati berasal dari golongan flavonoid yang ditunjukkan pada fraksi paling aktif yaitu fraksi etanol-air. Penelitian lain yang dilakukan Nur *et al.* (2019) menunjukkan hasil kadar tertinggi total flavonoid dan fenolik daun jati putih adalah pada fraksi etil asetat (EA) dan aktivitas antioksidan juga menunjukkan bahwa fraksi EA memberikan aktivitas yang sangat kuat. Flavonoid merupakan senyawa fenolik pada tanaman yang dapat berperan sebagai antioksidan, antimikrobia, dan antikanker (Miller, 1996).

Sifat antimikrobia ekstrak daun jati

Berdasarkan hasil uji aktivitas antimikrobia pada Tabel 2, dapat diketahui ekstrak daun jati dapat mencegah pertumbuhan *Staphylococcus aureus*, yaitu ditandai dengan terbentuknya lingkaran bening dengan diameter 20 mm di sekitar sampel. Ningtyas (2010) melaporkan terbentuknya zona hambat berupa lingkaran yang semakin besar menunjukkan semakin kuat aktivitas antimikrobianya. Penelitian Setyawan (2012) juga mengungkapkan adanya aktivitas antibakteri ekstrak daun jati terhadap *S. aureus*. Hasil uji antimikrobia *Escherichia coli*, tidak terdapat zona hambat di sekitar ekstrak yang menunjukkan bahwa ekstrak daun jati tidak memiliki zat antimikrobia terhadap *E. coli*.

Tabel 1. Aktivitas antioksidan ekstrak daun jati
 Table 1. Antioxidant activity of teak leaf extract

Parameter	Hasil (Result)
IC ₅₀ ekstrak daun jati (IC ₅₀ of teak leaf extract)	46.78 ppm
IC ₅₀ BHT (IC ₅₀ of BHT)	6.67 ppm
Total fenolik ekstrak daun jati (Total phenolics of teak leaf extract)	52.57 mg GAE/g

Tabel 2. Hasil uji antimikrobia ekstrak daun jati
 Table 2. Antimicrobial test results of teak leaf extract

Sampel (Sample)	Zona Hambat (mm) terhadap Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> (Inhibition Zone (mm) Against <i>Staphylococcus aureus</i>)	Zona Hambat (mm) terhadap Bakteri <i>Escherichia coli</i> (Inhibition Zone (mm) Against <i>Escherichia coli</i>)
Ekstrak daun jati (Teak leaf extract)	20±0.1	0
Kloramfenikol (Chloramphenicol)	20±0.1	33±0.1

Antimikrobia *S. aureus* ekstrak daun jati tergolong kuat. Hal ini didukung oleh pernyataan Susanto dan Sudrajat bahwa kekuatan zat antibakteri tergolong kuat apabila menunjukkan daya hambat dengan diameter 11-20 mm. *S. aureus* tergolong bakteri Gram-positif sehingga mudah rusak oleh senyawa antibakteri dari daun jati karena struktur penyusun dinding sel bakteri Gram-positif lebih sederhana daripada bakteri Gram-negatif. Bakteri gram-positif memiliki dinding sel yang lebih sederhana dengan peptidoglikan yang relatif lebih banyak, sedangkan bakteri Gram-negatif memiliki peptidoglikan yang lebih sedikit dengan struktur dinding yang kompleks. Bakteri Gram-negatif juga memiliki membran yang mengandung lipopolisakarida (karbohidrat yang terikat pada lemak) di bagian luar dinding selnya, sehingga bakteri Gram-negatif cenderung lebih tahan terhadap senyawa antibakteri. Hal ini didukung oleh pendapat Lingga *et al.* (2015) yang mengatakan bakteri Gram-positif secara umum mempunyai dinding sel yang mengandung 90% lapisan peptidoglikan sedangkan lapisan lainnya adalah asam teikoat. Senyawa fenolik dapat memutus ikatan silang dari peptidoglikan pada saat menembus dinding sel dan mengakibatkan kebocoran pada membran sel. Hal tersebut menyebabkan komponen membran sel (seperti protein dan fosfolipida) yang berikatan secara hidrofobik ikut larut sehingga meningkatkan permeabilitas membran. Rusaknya membran sel menyebabkan aktivitas serta biosintesis enzim spesifik terhambat dan memengaruhi metabolisme.

Sifat antioksidan edible film aktif

Tabel 3 menunjukkan hasil uji aktivitas antioksidan dari *edible film* aktif yaitu film dengan kadar antioksidan tertinggi adalah film dengan perlakuan kitosan 1,5% dan ekstrak 0,2% (b/v) yaitu sebesar 10,84%. Di sisi lain film dengan kadar antioksidan terendah adalah film dengan perlakuan kitosan 1% dan ekstrak daun jati 0% yaitu sebesar 0,73%. Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa penambahan ekstrak daun jati pada film dapat memperkaya kandungan *active compound* pada film, konsentrasi

penambahan ekstrak daun jati semakin tinggi menyebabkan meningkatnya kadar antioksidan pada film. Peningkatan antioksidan tersebut terjadi karena ekstrak daun jati mengandung antioksidan yang tergolong kuat berdasarkan klasifikasi Molyneux (2004) yang mengelompokkan nilai IC₅₀ di bawah 50 ppm memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat, 50-100 ppm kuat, 100-150 ppm sedang, 150-200 ppm lemah, dan di atas 200 ppm sangat lemah. Telah banyak dilakukan penelitian mengenai kandungan antioksidan pada daun jati. Pada penelitian sebelumnya, Ismawati dan Marliani (2017) meneliti tentang antioksidan pada daun jati jenis merah (*Tectona grandis*) dan daun jati jenis putih (*Gmelina arbore*). Hasil penelitian secara kualitatif menunjukkan adanya aktivitas antioksidan dari kedua daun yaitu aktivitas antioksidan dari ekstrak daun jati jenis merah lebih dominan daripada antioksidan dari ekstrak daun jati jenis putih yang ditandai dengan bercak warna kuning dengan latar ungu. Penelitian tersebut melaporkan pengujian yang dilakukan secara kualitatif menggunakan kromatografi lapis tipis. Hasilnya berupa gambar yang menunjukkan antioksidan daun jati merah lebih aktif karena bercak kuning dengan latar ungu paling cepat muncul pada sampel daun jati merah dan paling besar di antara sampel lain (Ismawati dan Marliani, 2017).

Fraksi yang paling aktif selama pengujian antioksidan ekstrak daun jati merah ditunjukkan oleh fraksi etanol-air yang diketahui mengandung senyawa fenol dan flavonoid. Hal tersebut sesuai dengan Suryanti *et al.* (2020) yang menyampaikan bahwa ekstrak daun jati memiliki antioksidan yang kuat yaitu kadar IC₅₀ ≤50 ppm dengan total fenol 6,17 mg GAE/g dan antosianin ekstrak daun jati 67,5 mg/L. Studi yang dilakukan oleh Rao *et al.* (2011) untuk memahami kegunaan tanaman ini sebagai bahan makanan serta dalam pengobatan, menunjukkan adanya aktivitas antioksidan ekstrak daun jati menggunakan empat sistem uji *in vitro*, yaitu kandungan total fenolik, daya pereduksi, aktivitas penangkap radikal super oksida, serta penghambatan metode hemolisis eritrosit yang diinduksi H₂O₂.

Tabel 3. Aktivitas antioksidan *edible film* aktif yang dibuat dari kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati

Table 3. Antioxidant activity of active *edible films* made from chitosan with the addition of teak leaf extract

Sampel (Sample)		Aktivitas Antioksidan (Antioxidant Activity) (%RSA)	Kadar Air (Moisture Content) (%)	Kelarutan (Solubility) (%)	WVTR (WVTR) (g/m ²)
Kitosan (Chitosan) (%)	Ekstrak Daun Jati (Teak Leaf Extract) (%)				
1	0	0.73±0.56 ^a	45.12±1.42 ^a	46.47±2.16 ^a	11112.93±212.8 ^a
	0.1	4.54±0.75 ^b	32.17±1.76 ^{ab}	35.78±1.18 ^b	4613.33±375.6 ^c
	0.2	8.53±1.55 ^c	29.56±0.63 ^{bc}	37.95±0.34 ^c	3672.68±222.0 ^d
1.5	0	4.73±1.30 ^b	32.97±1.85 ^{cd}	26.87±2.18 ^d	6857.84±290.1 ^b
	0.1	7.62±0.97 ^c	26.89±1.71 ^d	23.83±1.33 ^d	3672.32±254.1 ^d
	0.2	10.84±0.91 ^d	25.38±2.03 ^e	14.78±0.26 ^e	2860.97±238.9 ^e

Keterangan: Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan secara signifikan perlakuan konsentrasi ekstrak daun jati ($p < 0,05$)

Note: Values with different superscript letters showed significant differences in the concentration of teak leaf extract ($p < 0.05$)

Kadar air *edible film* aktif

Tabel 3 menunjukkan film dengan kadar air tertinggi adalah film dengan perlakuan kitosan 1% dan ekstrak daun jati 0% yaitu sebesar 45,12% sedangkan film dengan kadar air terendah adalah film dengan perlakuan kitosan 1,5% dan ekstrak daun jati 0,2% yaitu sebesar 25,38%. Data menunjukkan bahwa penambahan ekstrak dan kitosan memengaruhi kadar air film, yaitu semakin banyak konsentrasi ekstrak dan kitosan yang ditambahkan maka semakin turun kadar air dari film.

Data menunjukkan bahwa seiring bertambahnya konsentrasi kitosan dan ekstrak daun jati, maka kadar airnya semakin kecil. Hal ini terjadi karena kitosan merupakan polisakarida yang mempunyai sejumlah gugus hidroksil sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap air. Meningkatnya konsentrasi kitosan menyebabkan peningkatan gugus hidroksil dan kemampuan menyerap air sehingga menyebabkan penurunan kadar air *edible film* (Dallan *et al.*, 2006). Penambahan ekstrak daun jati dapat memengaruhi kadar air karena ekstrak daun jati bersifat polar sehingga dapat mengikat air menggunakan daya tarik antar gugus polar.

Kelarutan *edible film* aktif

Tabel 3 menunjukkan hasil uji kelarutan dari *edible film* aktif. Film dengan kelarutan tertinggi adalah film dengan penambahan 1% kitosan dan 0% ekstrak daun jati, sedangkan film dengan kelarutan terendah adalah film dengan penambahan 1,5% kitosan dan 0,2% ekstrak daun jati. Peningkatan konsentrasi kitosan dan ekstrak daun jati menghasilkan kelarutan *edible film* yang semakin rendah. Hal tersebut disebabkan karena perbedaan struktur kimia antara kitosan dan ekstrak daun jati yang memiliki kekuatan interaksi antar-molekul yang lemah. Kelarutan zat dalam suatu pelarut dipengaruhi oleh kesamaan struktur kimia atau karakteristik antara zat terlarut dengan pelarut (Widarta dan Arnata, 2017).

Water vapour transmission rate (WVTR) *edible film* aktif

Tabel 3 menunjukkan bahwa film dengan WVTR tertinggi adalah film dengan penambahan 1% kitosan dan 0% ekstrak daun jati, sedangkan film dengan nilai WVTR terendah adalah film dengan penambahan 1,5% kitosan dan 0,2% ekstrak daun jati. Penambahan ekstrak daun jati dan kitosan memengaruhi nilai WVTR *edible film* aktif. Peningkatan konsentrasi ekstrak daun jati dan kitosan yang ditambahkan dapat menekan laju transmisi uap air dari film karena meningkatnya konsentrasi kitosan dan ekstrak daun jati membuat ketebalan film meningkat sehingga laju transmisi uap air dapat ditekan. Kusumawati dan Putri (2013) mengatakan bahwa konsentrasi dari bahan *edible film* aktif dapat memengaruhi karakteristik film yang dihasilkan. Konsentrasi yang tinggi akan meningkatkan jumlah polimer sehingga total padatan dan ketebalan film ikut meningkat. Penambahan kitosan dan ekstrak juga meningkatkan kerapatan film dan mengakibatkan film sulit ditembus udara. Breemer *et al.* (2012) menyampaikan bahwa struktur dari *edible film* aktif memengaruhi transmisi uap air. Apabila strukturnya kompak maka difusi uap air akan terhambat pada *edible film* aktif.

Warna *edible film* aktif

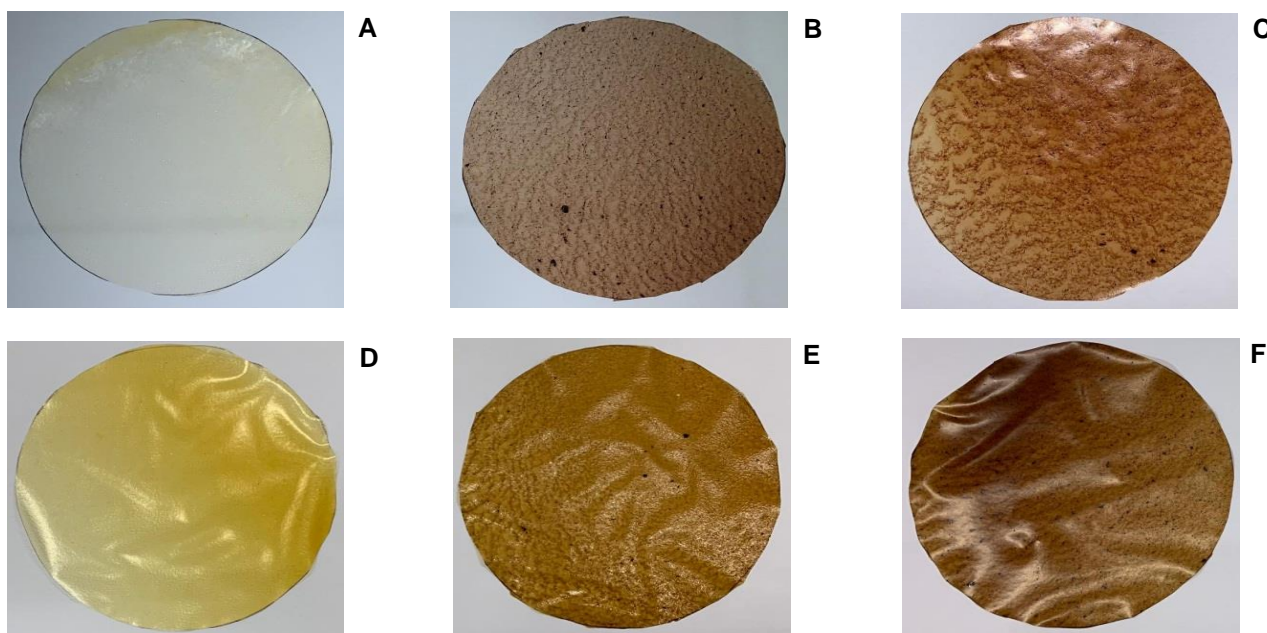
Tabel 4 menunjukkan hasil uji warna dari *edible film* aktif. Film dengan warna paling cerah adalah film dengan perlakuan 1% kitosan dan 0% ekstrak daun jati, sedangkan film dengan warna paling gelap adalah film dengan perlakuan 1,5% kitosan dan 0,2% ekstrak daun jati. Pada hasil analisis, nilai a^* dan b^* paling tinggi ditunjukkan oleh film dengan penambahan 1,5% kitosan dan 0,2% ekstrak yang secara visual berwarna paling merah sedangkan nilai b^* secara visual berwarna paling kuning. Kenampakan warna *edible film* aktif ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 4. Hasil uji warna *edible film* aktif yang dibuat dari kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati
 Table 4. Color test results of active *edible films* made from chitosan with the addition of teak leaf extract

Konsentrasi (Concentration)		L	a*	b*
Kitosan (Chitosan)	Ekstrak Daun Jati (Teak Leaf Extract)			
1%	0%	64.87±0.99 ^a	-0.65±0.57 ^a	18.44±0.34 ^a
	0.1%	41.87±0.88 ^b	9.51±0.34 ^b	20.68±0.86 ^b
	0.2%	36.85±0.21 ^c	12.79±0.15 ^c	28.19±0.22 ^b
1.5%	0%	49.59±0.45 ^c	4.42±1.04 ^d	20.12±0.61 ^c
	0.1%	41.79±0.19 ^d	11.50±0.07 ^e	25.32±0.99 ^d
	0.2%	33.34±0.53 ^e	14.96±0.48 ^f	30.82±0.84 ^e

Keterangan: Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan secara signifikan perlakuan konsentrasi ekstrak daun jati ($p < 0,05$)

Note: Values with different superscript letters showed significant differences in the concentration of teak leaf extract ($p < 0.05$)



Keterangan: Kitosan 1% ekstrak 0% (A); Kitosan 1% ekstrak 0,1% (B); Kitosan 1% ekstrak 0,2% (C); Kitosan 1,5% ekstrak 0% (D); Kitosan 1,5% ekstrak 0,1% (E); Kitosan 1,5% ekstrak 0,2% (F)

Note: Chitosan 1% extract 0% (A); Chitosan 1% extract 0.1% (B); Chitosan 1% extract 0.2% (C); Chitosan 1.5% extract 0% (D); Chitosan 1.5% extract 0.1% (E); Chitosan 1.5% extract 0.2% (F)

Gambar 1. Kenampakan *edible film* aktif yang dibuat dari kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati
 Figure 1. The appearance of active *edible film* made from chitosan with the addition of teak leaf extract

Kenampakan *edible film* aktif dengan penambahan ekstrak daun jati berwarna kemerahan (Gambar 1). Warna merah dari ekstrak daun jati ini berasal dari antosianin yang terkandung dalam daun jati. Hal ini didukung oleh pendapat Lasang (2017) yang meneliti mengenai zat warna dari daun jati. Pada penelitian tersebut, senyawa flavonoid teridentifikasi pada ekstrak daun jati karena menyerap pada panjang gelombang 465-560 nm yang teridentifikasi sebagai antosianin.

Kuat tarik dan elongasi film

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui *edible film* aktif dengan kuat tarik tertinggi adalah film dengan penambahan 1% kitosan dan 0% ekstrak daun jati,

sedangkan film dengan kuat tarik terendah adalah film dengan penambahan 1,5% kitosan dan 0,2% ekstrak daun jati. Pada elongasi, film dengan elongasi tertinggi adalah film dengan penambahan 1,5% kitosan dan 0,2% ekstrak daun jati, sedangkan film dengan elongasi terendah adalah film dengan penambahan 1% kitosan dan 0% ekstrak daun jati.

Data analisis kuat tarik dan elongasi menunjukkan bahwa kuat tarik pada film mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak daun jati pada *edible film* aktif, sementara elongasi meningkat sejalan dengan peningkatan konsentrasi ekstrak daun jati yang ditambahkan. Hal tersebut disebabkan karena ekstrak daun jati mengganggu pembentukan matriks film oleh kitosan.

Tabel 5. Kuat tarik dan elongasi *edible film* aktif yang dibuat dari kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati
 Table 5. Tensile strength and elongation of active *edible films* made from chitosan with the addition of teak leaf extract

Konsentrasi (Concentration)		Kuat Tarik (Tensile Strength) (MPa)	Elongasi (Elongation) (%)
Kitosan (Chitosan)	Ekstrak Daun Jati (Teak Leaf Extract)		
1%	0%	6.20±0.26 ^a	17.92±2.01 ^a
	0.1%	2.56±1.56 ^a	6.95±2.69 ^{ab}
	0.2%	1.55±0.73 ^a	5.27±1.47 ^{ab}
1.5%	0%	1.15±0.55 ^a	5.96±2.05 ^{ab}
	0.1%	1.52±0.71 ^a	9.54±3.24 ^b
	0.2%	1.25±0.31 ^b	10.04±2.04 ^c

Keterangan: Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan secara signifikan perlakuan konsentrasi ekstrak daun jati ($p < 0,05$)

Note: Values with different superscript letters showed significant differences in the concentration of teak leaf extract ($p < 0.05$)

Ekstrak dari daun jati bersifat larut air membentuk 3-D network pada matriks film sehingga akan memperlemah ikatan antar polimer membuat kuat tarik film menurun (Kusumawati dan Putri, 2013). Di sisi lain, molekul dari ekstrak daun jati dapat menghambat kekompakan polimer, menurunkan interaksi intermolekuler pada film serta menyebabkan meningkatnya mobilitas dari polimer sehingga elongasinya meningkat.

Sifat antibakteri *edible film* aktif terhadap *S. aureus*

Berdasarkan uji aktivitas antibakteri dengan *Staphylococcus aureus* yang telah dilakukan pada *edible film* aktif, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil uji antibakteri menunjukkan bahwa terbentuk zona hambat hanya pada sampel F yaitu film dengan konsentrasi 1,5% kitosan dan 0,2% ekstrak daun jati. Permukaan media NA ditumbuhi oleh bakteri kecuali di bagian permukaan media yang dilapisi film di atasnya (zona hambat hanya terdapat pada bagian bawah film). Adapun sampel lain tidak menunjukkan zona hambat. Hal tersebut terjadi karena jumlah zat antibakteri pada film sangat sedikit sehingga tidak terdifusi ke luar area film, mengakibatkan tidak adanya zona hambat di luar area film. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Ningtyas (2010) yang berpendapat apabila konsentrasi ekstrak tinggi maka zat aktif antimikrobianya juga tinggi. Penelitian lain yang dilakukan oleh Mukaromah (2018) menyatakan bahwa semakin tinggi dosis ekstrak daun jati, semakin luas zona hambat yang terbentuk pada pengujian sifat antibakteri terhadap *S. aureus*.

Penambahan konsentrasi ekstrak daun jati dapat semakin menekan pertumbuhan *S. aureus*. Hal ini terjadi karena dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak daun jati diduga meningkatkan pula penetrasi dari zat antibakteri ke dalam sel bakteri *S. aureus* yang kemudian merusak sistem metabolisme dari sel dan mengakibatkan sel mati. Dakal *et al.* (2016) menyampaikan apabila konsentrasi zat antimikrobia yang ditambahkan tinggi, maka zat antimikrobia yang dirilis semakin besar dan semakin memudahkan pro-

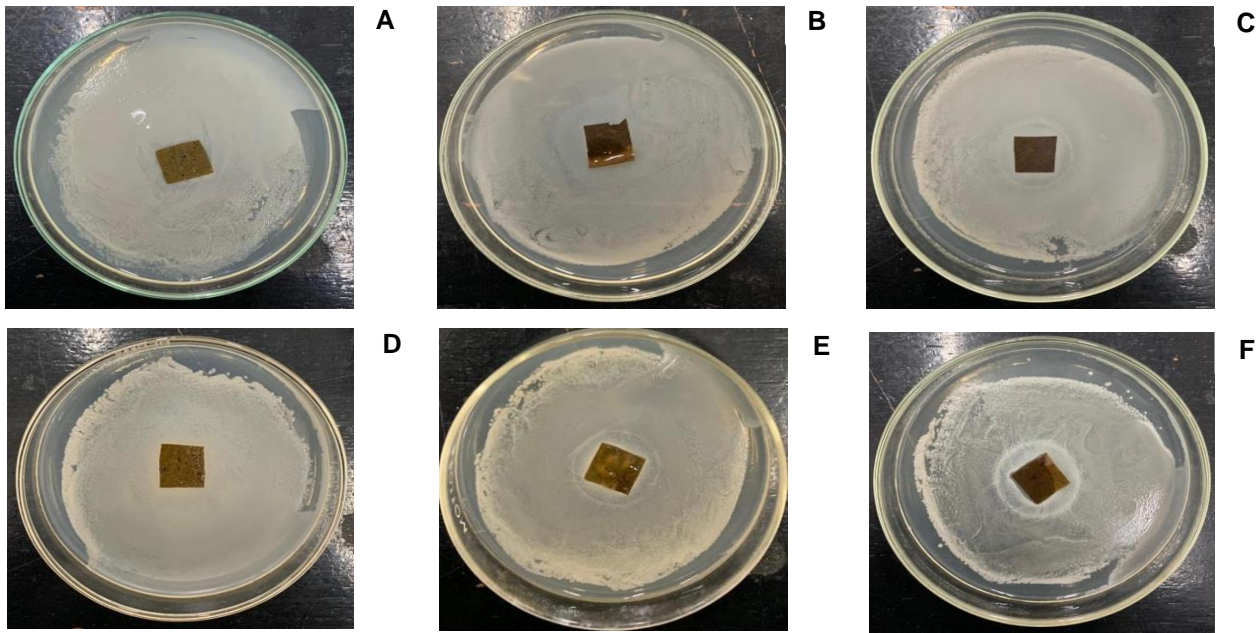
ses penetrasi zat antimikrobia ke dalam sel bakteri. Konsentrasi zat antibakteri yang ditambahkan dalam jumlah besar akan menekan pertumbuhan bakteri.

Scanning electron microscopy (SEM) *edible film* aktif

Gambar 3 menunjukkan hasil uji *scanning electron microscopy* (SEM) dari *edible film* aktif. Terlihat adanya rongga-rongga udara pada film. Film dengan rongga paling banyak terdapat pada perlakuan kitosan 1% dan ekstrak daun jati 0%; dan kitosan 1,5% dan ekstrak daun jati 0%. Pengujian SEM pada film menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi kitosan dan ekstrak daun jati membuat struktur film semakin rapat dan sedikit rongga. Film yang baik memiliki rongga udara yang sedikit dan strukturnya rapat agar tidak terjadi transfer udara sehingga kebucusan pada makanan dapat dicegah. Penyerapan uap air dikarenakan oleh adanya proses difusi aktif yaitu *edible film* aktif yang bersifat hidrofilik dapat menyerap air, molekul air yang memiliki sifat *mobile* mengakibatkan pergerakan molekul air meningkat yang kemudian menyebabkan peningkatan *barrier* (WVTR) (Krochta *et al.*, 1994).

Fourier transform infra red (FTIR) *edible film* aktif

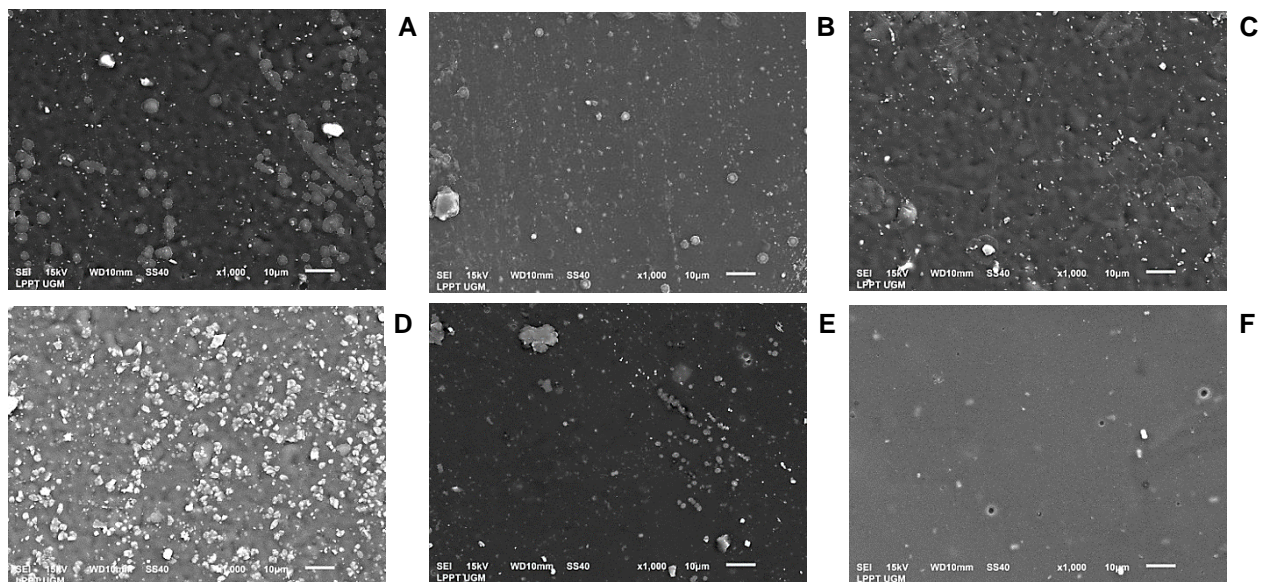
Berdasarkan hasil serapan pada Gambar 4, terlihat beberapa variasi vibrasi yang menonjol. Serapan paling menonjol adalah pada rentang panjang gelombang 3406,16-3713,84 cm yang diindikasikan adanya ikatan O-H; 2924,15-2930,66 yang diindikasikan adanya ikatan C-H; 1654,40-1653,75 yang diindikasikan adanya ikatan C=C (Zulferiyenni *et al.*, 2014). Gambar 4 terlihat bahwa tidak ada perbedaan berarti pada panjang gelombang yang diserap dari masing-masing perlakuan. Penambahan konsentrasi kitosan dan ekstrak daun jati pada pembuatan *edible film* aktif tidak memperlihatkan terbentuknya gugus fungsi baru. Hasil ini menunjukkan penambahan konsentrasi ekstrak daun jati dan konsentrasi kitosan tidak memberikan pengaruh terhadap ikatan dari *edible film* aktif.



Keterangan: Kitosan 1% ekstrak 0% (A); Kitosan 1% ekstrak 0,1% (B); Kitosan 1% ekstrak 0,2% (C); Kitosan 1,5% ekstrak 0% (D); Kitosan 1,5% ekstrak 0,1% (E); Kitosan 1,5% ekstrak 0,2% (F)
 Note: Chitosan 1% extract 0% (A); Chitosan 1% extract 0.1% (B); Chitosan 1% extract 0.2% (C); Chitosan 1.5% extract 0% (D); Chitosan 1.5% extract 0.1% (E); Chitosan 1.5% extract 0.2% (F)

Gambar 2. Aktivitas antimikrobia *edible film* aktif yang dibuat dari kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati

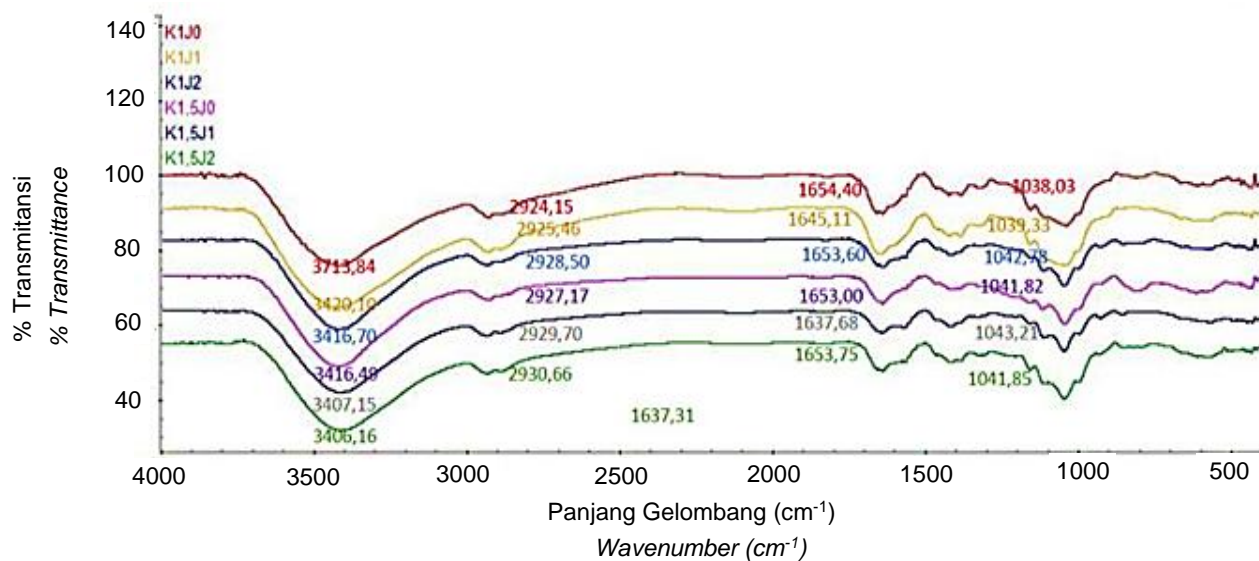
Figure 2. Antimicrobial activity of active *edible films* made from chitosan with the addition of teak leaf extract



Keterangan: Kitosan 1% ekstrak 0% (A); Kitosan 1% ekstrak 0,1% (B); Kitosan 1% ekstrak 0,2% (C); Kitosan 1,5% ekstrak 0% (D); Kitosan 1,5% ekstrak 0,1% (E); Kitosan 1,5% ekstrak 0,2% (F); Bintik putih merupakan rongga udara
 Note: Chitosan 1% extract 0% (A); Chitosan 1% extract 0.1% (B); Chitosan 1% extract 0.2% (C); Chitosan 1.5% extract 0% (D); Chitosan 1.5% extract 0.1% (E); Chitosan 1.5% extract 0.2% (F); The white spots are air cavities

Gambar 3. Morfologi *edible film* aktif yang dibuat dari kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati yang diuji dengan SEM

Figure 3. Morphology of active *edible film* made from chitosan with the addition of teak leaf extract tested by SEM



Keterangan: Kitosan 1% ekstrak 0% (K1J0); Kitosan 1% ekstrak 0,1% (K1J1); Kitosan 1% ekstrak 0,2% (K1J2); Kitosan 1,5% ekstrak 0% (K1,5J0); Kitosan 1,5% ekstrak 0,1% (K1,5J1); Kitosan 1,5% ekstrak 0,2% (K1,5J2)
 Note: Chitosan 1% extract 0% (K1J0); Chitosan 1% extract 0.1% (K1J1); Chitosan 1% extract 0.2% (K1J2); Chitosan 1.5% extract 0% (K1,5J0); Chitosan 1.5% extract 0.1% (K1,5J1); Chitosan 1.5% extract 0.2% (K1,5J2)

Gambar 4. Grafik hasil uji fourier transform infrared (FTIR) *edible film* aktif yang dibuat dari kitosan dengan penambahan ekstrak daun jati
 Figure 4. Graph of fourier transform infrared (FTIR) test results of active *edible films* made from chitosan with the addition of teak leaf extract

KESIMPULAN

Ekstrak daun jati memiliki aktivitas antioksidan dengan uji DPPH yang dinyatakan dalam IC₅₀ sebesar 46,78 ppm dan menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *S. aureus*. Kondisi optimum untuk membuat *edible film* aktif adalah dengan konsentrasi kitosan 1% dan ekstrak daun jati 0,2%. *Edible film* aktif yang dihasilkan memiliki aktivitas antioksidan (RSA) 8,53%, kadar air 30,16%, kelarutan 38,28%, kuat tarik 1,52 MPa, elongasi 9,54%, serta laju transmisi uap air yaitu 3672,32 g/m².

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad S, Nurisman A, Fitrianto W, Hakim AR, Hidayat N. 2008. Edible Coating dari Gel Lidah Buaya sebagai Alternatif Bahan untuk Mempertahankan Mutu Produk dengan Aplikasi Spray.

[Laporan akhir PKM-P]. Bogor: IPB University.
 [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis, 13th ed, Association of Official Analytical Chemists. Washington.
 Arief IS, Tuti S, Afyah. 2014. Physicochemical and organoleptic of beef sausages with teak leaf extract (*Tectona grandis*) addition as preservative and natural dye. Int Food Res J 21: 2033-2042.
 [ASTM] American Society for Testing and Material. 2001. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Annual book of ASTM standards. Designation D882-01. Philadelphia: ASTM.
 Astuti NP. 2009. Sifat Organoleptik Tempe Kedelai yang Dibungkus Plastik, Daun Pisang dan Daun Jati. [Skripsi]. Surakarta: Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
 [BPS] Badan Pusat Statistik Indonesia. 2017. Statistika Produksi Kehutanan Tahun 2017. Badan Pusat Statistik Indonesia. 11-12.
 Bourtoom T. 2008. Edible Films and Coatings: Characteristics and Propertis. Int Food Res J 15: 1-12.

- Brand-Williams W, Cuvelie ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci Technol* 28: 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Breemer R, Febby JP, Pattipeilohy J. 2012. Sifat Mekanik dan Laju Transmisi Uap Air Edible Film Pati Ubi Jalar. Seminar Nasional Pangan 2012, A1-A5. UPN Veteran Yogyakarta, 13 November 2012.
- Dakal TC, Kumar A, Majumdar RS, Yadav V. 2016. Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles. *Front Microbiol* 7: 1831. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01831>
- Dallan PRM, da Luz Moreira P, Petinari L, Malmonge SM, Beppu MM, Genari SC, Moraes AM. 2006. Effects of chitosan solution concentration and incorporation of chitin and glycerol on dense chitosan membrane properties. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater* 80B: 394-405. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30610>
- Espitia PJP, Du W-X, de Jesús Avena-Bustillos R, de Fátima Ferreira Soares N, McHugh TH. 2014. Edible films from pectin: Physical-mechanical and anti-microbial properties-A review. *Food Hydrocolloids* 35: 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.005>
- Febriati NL, Sutikno, Sartika D, Utomo TP. 2018. Optimasi sifat fisik edible film berbasis karagenan murni dengan metode permukaan respon (Response surface methodology). *Diaspora: Eksakta* 1: 71-90.
- Fitriani V. 2003. Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin dari Kulit Jeruk Lemon (*Citrus medica* var Lemon). [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Gontard N, Guilbert S, Cuq J-L. 1993. Water and glycerol as plasticizer affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *J Food Sci* 58: 206-211. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x>
- Guilbert S, Gontard N, Gorris LGM. 1996. Prolongation of the shelflife perishable food products using biodegradable films and coatings. *LWT-Food Sci Technol* 29: 10-17. <https://doi.org/10.1006/ftsl.1996.0002>
- Hasanah M, Maharani B, Munarsih E. 2017. Daya antioksidan ekstrak dan fraksi daun kopi robusta (*Coffea robusta*) terhadap pereaksi DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil). *Indonesian J Pharmaceutical Sci Technol* 4: 42-49. <https://doi.org/10.15416/ijpst.v4i2.10456>
- Islam SU, Wani SA, Mohammad F. 2018. Imparting functionality viz color, antioxidant and antibacterial properties to develop multifunctional wool with *Tectona grandis* leaves extract using reflectance spectroscopy. *Int J Biol Macromol* 109: 907-913. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.068>
- Ismawati I, Marliani L. 2017. Telaah fitokimia dan aktivitas antioksidan dari daun jati merah (*Tectona grandis* Linn.) dan daun jati putih (*Gmelina arborea* Roxb.). *J Farmasi Galenika*: 77-83.
- Krochta JM, Baldwin EA, Nisperos-Carriedo MO. 1994. Edible coatings and film to improve food quality, Economic Publ. Co. Inc., USA.
- Kusnadi J, Budyanto P. 2015. Antibacterial active packaging edible film formulation with addition teak (*Tectona grandis*) leaf extract. *Int J Life Sci Biotechnol Pharm Res* 4: 79-84.
- Kusumawati DH, Putri WDR. 2013. Karakteristik fisik dan kimia edible film pati jagung yang diinkorporasi dengan perasan temu hitam. *J Pangan Agroindustri* 1: 90-100.
- Lasang MB. 2017. Ekstraksi Zat Warna Daun Jati (*Tectona grandis*) dan Aplikasi pada Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC) [Skripsi]. Makassar: Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin.
- Lingga AR, Pato U, Rossi E. 2015. Uji antibakteri ekstrak batang kecombrang (*Nicolaia speciosa* Horan) terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *J Online Mahasiswa Faperta* 3: 1-15.
- Mahmudah FL, Atun S. 2017. Uji aktivitas antibakteri dari ekstrak etanol temukunci (*Boesenbergia pandurata*) terhadap bakteri *Streptococcus mutans*. *J Penelitian Saintek* 22: 59-66. <https://doi.org/10.21831/jps.v22i1.15380>
- Marini M, Bondi M, Iseppi R, Toselli M, Pilati F. 2007. Preparation and antibacterial activity of hybrid materials containing quaternary ammonium salts via sol-gel process. *Eur Polym J* 43: 3621-3628. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2007.06.002>
- Marliana E. 2012. Aktivitas antioksidan ekstrak etanol daun andong (*Crodilne fruticosa* L. A. Cheval). *J Mulawarman Scientifie* 11: 1412
- Masuelli MA. 2017. Biopackaging (1st ed.). Boca Raton, CRC Press: 2-3. <https://doi.org/10.1201/9781315152349>
- Miller AL. 1996. Antioxidant flavonoids: Structure, function, and clinical usage. *Alt Med Rev* 1: 103-111.
- Molyneux P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J Sci Technol* 26: 211-219.

- Mukaromah H. 2018. Aktivitas Antibakteri Krim Ekstrak Daun Jati (*Tectona Grandis L.F*) terhadap *Staphylococcus aureus* secara *In Vitro*. [Skripsi]. Tulungagung: Progam Studi Farmasi, STIKES Karya Putra Bangsa.
- Ningtyas R. 2010. Uji antioksidan, Antibakteri Ekstrak Air Daun Kecombrang (*Etilingera elatior (Jack) R. M. Smith*) sebagai Pengawet Alami terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. [Skripsi]. Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Nur S, Sami FJ, Awaluddin A, Afsari MIA. 2019. Korelasi Antara kadar total flavonoid dan fenolik dari ekstrak dan fraksi daun jati putih (*Gmelina Arborea Roxb.*) terhadap aktivitas antioksidan. J Farmasi Galenika 5: 33–42. <https://doi.org/10.22487/j24428744.2019.v5.i1.12034>
- Oka A, Wiyana K, Sugitha I, Miwada I. 2016. Identifikasi sifat fungsional dari daun jati, kelor dan kayu manis dan potensinya sebagai sumber antioksidan pada edible film. J Sains Peternakan Indonesia 11: 1-8. <https://doi.org/10.31186/jspi.id.11.1.1-8>
- Rambabu K, Bharath G, Banat F, Show PL, Cocolletzi HH. 2019. Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. Int J Biol Macromol 125: 1234-1243. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.196>
- Rao KNV, Aradhana R, Banjii D, Chaitanya R, Kumar AA. 2011. In-vitro anti-oxidant and free radical scavenging activity of various extracts of *Tectona grandis*. Linn leaves. J Pharm Res 4: 440-442.
- Setiani W, Sudiarti T, Rahmidar L. 2013. Preparasi dan karakterisasi edible film dari poliblend pati sukun-kitosan. J Kimia Valensi 3: 100-109. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i2.506>
- Setyawan C. 2012. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Kasar Daun Jati Mas (*Tectona grandis*) Metode Microwave-Assisted Extraction terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. [Skripsi]. Malang: Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Suryanti V, Kusumaningsih T, Marliyana SD, Setyono HA, Trisnawati EW. 2020. Identification of active compounds and antioxidant activity of teak (*Tectona grandis*) leaves. Biodiversitas J Biological Diversity 21: 946-952. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210313>
- Suhendra CP, Widarta IWR, Wiadnyani AAIS. 2019. Pengaruh konsentrasi etanol terhadap aktivitas antioksidan ekstrak rimpang ilalang (*Imperata cylindrica* (L.) Beauv.) pada ekstraksi menggunakan gelombang ultrasonik. J Ilmu Teknol Pangan 8: 27-35. <https://doi.org/10.24843/itepa.2019.v08.i01.p04>
- Susanto D, Sudrajat, Ruga R. 2012. Studi kandungan bahan aktif tumbuhan meranti merah (*Shorea leprosula* Miq) sebagai sumber senyawa antibakteri. Mulawarmnan Scientifie 11: 181-190.
- Susilawati M. 2015. Perancangan Percobaan. Universitas Udayana. Bali. Halaman: 74-114.
- Widarta IWR, Arnata IW. 2017. Ekstraksi komponen bioaktif daun alpukat dengan bantuan ultrasonik pada berbagai jenis dan konsentrasi pelarut. Agritech 37: 148-157. <https://doi.org/10.22146/agritech.10397>
- Xu YX, Kim KM, Hanna MA, Nag D. 2005. Chitosan-starch composite film: Preparation and characterization. Ind Crops Prod 21: 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.03.002>
- Zulferiyenni, Marniza, Sari EN. 2014. Pengaruh konsentrasi gliserol dan tapioka terhadap karakteristik biodegradable film berbasis ampas rumput laut *Eucheuma cottonii*. J Teknol Industri Hasil Pertanian 19: 257-273.