

Friska Tania Hutabarat^{1*}, Setyadi Gumarana²,
Ni Wayan Arya Utari³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Biosistem, Institut Teknologi Sumatera,
Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung,
Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 35365, Indonesia

¹friskatania005@gmail.com

²setyadi.gumarana@tbs.itera.ac.id

³niwayan.utari@tbs.itera.ac.id

*Penulis Korespondensi

ISSN: 2721-8589 (media online)

ISSN: 2721-8597 (media cetak)

AGRISINTECH

Journal of Agribusiness and Agrotechnology

Vol.5, No.1 (2024)

KARAKTERISTIK FISIK EDIBLE FILM NANOKOMPOSIT BERBASIS KITOSAN DENGAN PENAMBAHAN BEESWAX DAN NP-ZnO

*Physical Characteristics of
Chitosan-Based Edible Nanocomposite Films
with Beeswax and NP-ZnO Addition*

ABSTRACT

Chitosan, as one of the hydrophilic materials used in edible films, does not exhibit optimal properties when used as a single coating material. To enhance its effectiveness, this research explores the utilization of the hydrophobic lipid beeswax and antimicrobial nanoparticle ZnO (NP-ZnO) in the production of chitosan-based edible films. The study employed a completely randomized design (CRD) with variations in NP-ZnO concentration (1%, 2%, and 3%) and beeswax emulsi on at the same concentrations, resulting in nine treatment levels plus one control. The research findings indicate that the combination of beeswax and NP-ZnO significantly influences film characteristics. The film thickness ranged from 0.06 to 0.12 mm, while color change values were between 75.63 and 77.06. However, the water vapor transmission rate ranged from 3.10 to 15.51 g/m², and the tensile strength varied from 2.37 to 8.68 Mpa with film elongation ranging from 26.17% to 87.81%. FTIR analysis of the best sample revealed interactions between components B₁Z₁ in the film, as evidenced by the presence of O-H, C-H, C=C, C=O, C-N, and C-O groups. The research results demonstrate that the addition of beeswax and NP-ZnO has an impact on the chitosan-based nanocomposite film layer.

Keywords: edible film; lipid; nanocomposite; polymer; NP-ZnO.

ABSTRAK

Kitosan, sebagai salah satu bahan *edible film* yang memiliki sifat hidrofilik tidak optimal jika digunakan sebagai bahan pelapis tunggal. Untuk meningkatkan efektivitasnya, penelitian ini mengeksplorasi penggunaan lipid *beeswax* yang bersifat hidrofobik dan nanopartikel ZnO (NP-ZnO) yang mempunyai sifat antimikroba dalam pembuatan edible film berbasis kitosan. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan variasi konsentrasi NP-ZnO (1%, 2%, dan 3%) dan emulsi *beeswax* dengan konsentrasi yang sama sehingga menghasilkan sembilan taraf perlakuan ditambah satu kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi *beeswax* dan NP-ZnO secara signifikan memengaruhi karakteristik film. Ditemukan nilai ketebalan film berada pada 0,06 sampai 0,12 mm, sementara nilai perubahan warna berada pada angka 75,63 sampai 77,06. Meskipun demikian, laju transmisi uap air berada pada nilai 3,10 sampai 15,51 g/m², dan didapatkan nilai kekuatan tarik dari 2,37 sampai 8,68 Mpa dengan elongasi film dari 26,17% sampai 87,81%. Analisis untuk FTIR menggunakan sampel terbaik dan menunjukkan adanya interaksi antara komponen B₁Z₁ dalam film, ditandai oleh adanya gugus O-H, C-H, C=C, C=O, C-N, dan C-O. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *beeswax* dan NP-ZnO memberikan pengaruh terhadap lapisan film nanokomposit berbasis kitosan.

Kata kunci: lipid; nanokomposit; pelapisan film; polimer; NP-ZnO.

PENDAHULUAN

Kualitas komoditi pertanian yang menurun dapat diperbaiki melalui penerapan metode pelapisan. Pelapisan dapat menjaga mutu komoditi pertanian dengan cara menghambat proses respirasi dan transpirasi pada komoditi (Langkong *et al.*, 2016). Pelapisan dapat memperlambat komoditi pertanian dari pembusukan, kerutan, atau layu. *Edible film* merupakan salah satu teknik pascapanen yang digunakan untuk mempertahankan mutu dari suatu komoditi pertanian dengan metode pelapisan pada komoditi tersebut. *Edible film* tersusun atas polisakarida, protein, lipid, dan kombinasinya (Rosida *et al.*, 2018). Polisakarida dan protein mampu memperbaiki sifat mekanik dari lapisan film tetapi mempunyai kelemahan pada sifat penghalang air. Senyawa yang mempunyai sifat penghalang air yang baik dapat ditemukan pada lipid, sehingga penggabungan antara lipid dan polimer mampu membentuk sebuah lapisan yang dapat dijadikan sebagai lapisan film (Gumaran *et al.*, 2020).

Nanokomposit adalah suatu struktur lapisan yang terbentuk dari gabungan bahan anorganik, partikel nano, dan polimer alami. Nanopartikel yang digunakan mempunyai skala nanometer (1-100 nm). Adapun fungsi dari nanokomposit berbasis polimer untuk menciptakan lapisan film dengan sifat mekanik seperti kekuatan, fleksibilitas, stabilitas termal, dan karakteristik penghalang gas yang optimal (Gumaran *et al.*, 2020).

Kitosan adalah salah satu biopolimer yang berasal dari udang, kepiting, bekicot dan jamur. Salah satu sifat yang dimiliki oleh kitosan yaitu mudah terurai oleh mikroorganisme dan mempunyai fungsi untuk menghambat kebusukan atau penuaan pada produk pertanian. Karakteristik lain yang dimiliki oleh kitosan yaitu mempunyai sifat antimikroba sehingga mampu menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur pada makanan, material yang tidak memiliki

bau, transparan, lentur, dan aman untuk dikonsumsi (Maghfiroh *et al.*, 2018). Kitosan merupakan jenis polimer yang mempunyai sifat penghalang air yang rendah sehingga membutuhkan kombinasi dari lipid untuk pembuatan lapisan (Fadhila & Maharini, 2022). Sifat penghalang air yang rendah pada kitosan berdampak buruk bagi komoditi pertanian dikarenakan komoditi tersebut akan rentan terhadap kelembapan sehingga mempercepat kerusakan dan kebusukan.

Lipid mempunyai fungsi pada lapisan film untuk mengkompensasi kehilangan lapisan alami pada buah selama proses pascapanen. Salah satu jenis lipid yaitu *beeswax*. *Beeswax* mempunyai sifat hidrofobik yang mampu menghalangi peningkatan kelembapan pada komoditi pertanian. Tujuan kombinasi *beeswax* pada lapisan film untuk memperlambat laju transpirasi sehingga mencegah terjadinya kehilangan air akibat proses penguapan tinggi yang berdampak pada kelayuan dan keriput pada produk pertanian (Oko *et al.*, 2023).

Nanopartikel yang digunakan sebagai bahan pencampuran lapisan nanokomposit adalah zinc-oksida (NP-ZnO). Menurut Badan Pengawas Pangan dan Obat-obatan Amerika (FDA), ZnO dikenali secara umum sebagai zat yang aman atau GRAS (*Generally Recognized as Safe*) (Romadhan & Pujilestari, 2019). Sifat mekanis dan kestabilan pada kondisi termal menjadi alasan material pengisi NP-ZnO banyak digunakan pada industri pengemas. Selain itu, material NP-ZnO juga diminati dalam bidang kedokteran dan teknik karena memiliki sifat antibakteri yang unggul, khususnya dalam menangani bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* (Gudkov *et al.*, 2021). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh penambahan *beeswax*, NP-ZnO, dan interaksi antara *beeswax* dan NP-ZnO terhadap karakteristik fisik (ketebalan, warna, sifat mekanis kuat tarik, laju transmisi uap air) film kitosan, menentukan formulasi terbaik film kitosan dengan penambahan *beeswax*

dan NP-ZnO, serta mempelajari karakteristik gugus fungsional pada film kitosan dengan penambahan *beeswax* dan NP-ZnO pada sampel terbaik film yang didapat.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi beaker, *stirring hot plate* (Ika, Jerman), Ultra Turrax (Ika, Jerman), pot urin, jarhermetik, parafilm, neraca analitik (Shimadzu, Filipina), cawan plastik, mikrometer sekrup, higrometer, termometer, desikator, cawan Petri, dan colorimeter (WR-10, China), Spektrofotometer FTIR (Bruker, USA), Universal testing machine (Zwick Roell All Round Z250SR, Jerman), oven (Mettler, Jerman).

Bahan yang digunakan meliputi nanopartikel ZnO dengan rata-rata ukuran 20 nm (Jepang, Wako), lilin lebah *food grade* (Fadjar Kimia, Indonesia), gliserol (Brataco, Indonesia), tween 60 (Brataco, Indonesia), span 60 (Brataco, Indonesia), kalium klorida (KCl) (Pudak, Indonesia), kalsium klorida anhidrat (CaCl₂) (Merck, Jerman), asam asetat (Brataco, Indonesia).

Pembuatan Larutan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Biosistem, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, mulai dari Maret hingga Juli 2023. Langkah awal dalam prosedur adalah pembuatan emulsi *beeswax* sesuai dengan metode yang telah diacu dari (Ramnanan-singh, 2012). Sebanyak 20,3 gram *beeswax* dilelehkan dengan menggunakan *stirring hot plate* pada suhu 70°C. Sementara itu, Span 60 seberat 10,9 gram dan Tween 60 seberat 29,8 gram juga dilelehkan pada suhu yang sama, dan dicampur dengan *beeswax* yang telah dilelehkan. Setelah campuran terbentuk, akuades ditambahkan perlahan-lahan sebanyak 140 mL sambil terus diaduk hingga merata pada suhu 70°C. Setelah pencampuran, homogenisasi dilakukan

dengan kecepatan 8500 rpm selama 15 menit menggunakan alat *ultra turrax* hingga mencapai keseragaman. Pembuatan larutan nanokomposit dilakukan sesuai dengan penelitian terdahulu (Nandiwilastio *et al.*, 2019). NP-ZnO (b/b kitosan) pada konsentrasi yang berbeda yaitu (1%, 2%, 3%) dilarutkan dengan akuades selama 15 menit menggunakan *ultra turrax*. Kitosan dengan konsentrasi 1% dan asam asetat 1% dilarutkan menggunakan *stirring hot plate* dengan suhu 60°C dan ditambahkan 0,5% gliserol (v/v) sampai larut. Tambahkan larutan NP-ZnO yang sudah tercampur dengan akuades kedalam larutan kitosan. Setelah larutan kitosan dan NP-ZnO tercampur, emulsi *beeswax* dimasukkan dengan konsentrasi 1%,2%,3% dan dilarutkan hingga merata pada *stirring hot plate*. Larutan yang digunakan untuk percobaan sampel kontrol adalah larutan kitosan tanpa penambahan larutan NP-ZnO dan *beeswax*.

Pembuatan Lapisan

Sebanyak 25 ml larutan nanokomposit dimasukkan kedalam cawan petri plastik dan dikeringkan pada suhu 50°C selama 14 jam. Setelah mengering, lapisan dilepaskan dari cawan plastik, dibungkus dengan aluminium foil, dan disimpan selama 48 jam pada kelembaban relatif (RH) 53% sebelum dilakukan analisis.

Pengukuran Ketebalan

Analisis ketebalan dievaluasi dengan akurasi 0,01 mm pada mikrometer sekrup. Terdapat 5 titik pengukuran dengan posisi yang beda sehingga nilai ketebalan didapatkan dari hasil rata-rata nilai pengukuran yang diambil.

Warna

Alat yang digunakan untuk mengukur warna pada lapisan adalah *colorimeter* dengan plat standar (L= 100, a= -0,01, dan b= 0,01) yang mengacu pada metode (Meindrawan *et al.*, 2016). Pengukuran

dilakukan pada 5 titik yang beda dengan 3 kali pengulangan pada lapisan film. Perhitungan perbedaan warna (ΔE) dilakukan dengan menggunakan rumus yang telah ditetapkan peneliti terdahulu (Yasmin *et al.*, 2020)

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0.5} \quad (1)$$

Nilai ΔL^* , Δa^* , dan Δb^* diperoleh dengan menghitung selisih antara plat standar dan sampel film.

Sifat Mekanis Kuat Tarik Lapisan Film (Modifikasi ASTM D 882-02-2002)

Sifat mekanis film diuji dengan modifikasi penelitian terdahulu (Meindrawan *et al.*, 2016). Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tarik universal. Sampel lapisan berukuran 2 cm x 7 cm ditempatkan pada gripper awal sepanjang 17 mm dan ditarik dengan kecepatan 20 mm/menit. Nilai kuat tarik dan elongasi dihitung menggunakan persamaan yang telah ditetapkan berdasarkan metode penelitian sebelumnya (Persamaan 2 dan 3). F adalah Gaya kuat tarik (N), A adalah Luas penampang bidang gaya (m^2), l_1 adalah Panjang awal (m), dan l_2 adalah Panjang akhir (m).

$$\text{Kuat tarik} = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$\text{Elongasi} = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100\% \quad (3)$$

Pengukuran Laju Transmisi Uap Air

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode yang dimodifikasi oleh penelitian (Nandiwilastio, 2018). Sampel dipotong dengan diameter 30 mm kemudian diletakkan dalam pot urine dan disimpan dalam hemertico pada suhu 25°C. Untuk menjaga gradien RH pada film, CaCl₂ anhidrat ditempatkan dalam pot urine untuk mencapai RH 2%, sementara larutan KCl jenuh ditempatkan dalam hemertico untuk

mencapai RH 97%. Pot urine ditimbang secara bertahap untuk menghitung tingkat transmisi uap air/ *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR) dalam gram per meter persegi per jam, yang dihitung dari kemiringan garis dalam analisis regresi bobot sebagai fungsi waktu. Rumus untuk menghitung WVTR (*Water Vapor Transmission Rate*) adalah berdasarkan penelitian sebelumnya (Gumaran *et al.*, 2020). S adalah Slope dan L_s adalah Luas Sampel (m^2)

$$\text{WVTR} = \frac{S}{L_s} \quad (4)$$

Prosedur Pemilihan Formulasi Terbaik

Langkah dalam pemilihan formulasi terbaik menggunakan metode de garmo yang telah dimodifikasi dari penelitian terdahulu (Yasmin *et al.*, 2020), dimana langkah yang dilakukan seperti (1) kelompokkan parameter formulasi, (2) parameter dari masing-masing formulasi diberikan bobot 0-1, (3) perhitungan nilai efektivitas (NE) seperti persamaan 5. NE adalah Nilai Efektivitas, N_p adalah Nilai perlakuan, N_{tb} adalah Nilai terbaik, dan N_{tj} adalah Nilai terburuk. Nilai terbaik dilihat dari nilai parameter tertinggi, sedangkan nilai parameter terendah dikatakan sebagai nilai terburuk, dan begitu juga sebaliknya, (4) nilai hasil (NH) dihitung melalui perkalian antara nilai efektivitas (NE) dengan bobot nilai yang diberikan, (5) nilai NH tertinggi didapatkan dari hasil penjumlahan nilai NH pada semua parameter formulasi.

$$\text{NE} = \frac{N_p - N_{tj}}{N_{tb} - N_{tj}} \quad (5)$$

FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dilakukan sesuai dengan prosedur penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya. (Afifah *et al.*, 2018). Pengujian dengan FTIR dilakukan untuk formulasi terbaik. Proses pengujian dimulai dengan memotong sampel

berukuran 2×2 meter dan menempatkannya pada holder yang telah disiapkan. Langkah berikutnya adalah menyesuaikan alat spektrofotometer FTIR dan melakukan pencarian puncak spektrum. Monitor akan mencatat bilangan gelombang dan intensitas dari spektrum gugus yang terdeteksi.

Analisis Data

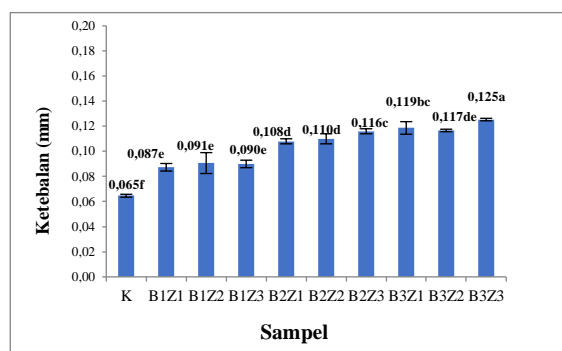
Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode RAL faktorial. Faktor pertama adalah variasi formulasi *beeswax* (1%, 2%, 3%), sementara faktor kedua adalah konsentrasi NP-ZnO (1%, 2%, 3%). Dengan demikian, terdapat sembilan sampel formulasi kombinasi ($B_1Z_1 = \text{beeswax 1\% dan ZnO 1\%}$, $B_1Z_2 = \text{beeswax 1\% dan ZnO 2\%}$, $B_1Z_3 = \text{beeswax 1\% dan ZnO 3\%}$, $B_2Z_1 = \text{beeswax 2\% dan ZnO 1\%}$, $B_2Z_2 = \text{beeswax 2\% dan ZnO 2\%}$, $B_2Z_3 = \text{beeswax 2\% dan ZnO 3\%}$, $B_3Z_1 = \text{beeswax 3\% dan ZnO 1\%}$, $B_3Z_2 = \text{beeswax 3\% dan ZnO 2\%}$, $B_3Z_3 = \text{beeswax 3\% dan ZnO 3\%}$) ditambah satu kontrol (K= kontrol) dalam penelitian ini, masing-masing dengan tiga kali pengulangan. Data dianalisis menggunakan uji sidik ragam ANOVA dan jika terdapat perbedaan nyata antara perlakuan, uji lanjutan (DMRT) dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS Statistics 20.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketebalan

Ketebalan adalah salah satu analisis yang paling penting karena ketebalan film memengaruhi sifat mekanis film seperti WVTR (*Water Vapor Transmission Rate*) dan nilai kuat tarik dari lapisan film (Saputro *et al.*, 2017). Semakin tebal lapisan film maka semakin rendah nilai *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR) dan kuat tarik lapisan film. Pada data penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *beeswax* dan NP-ZnO yang digunakan maka nilai ketebalan film juga semakin meningkat (Eka Putri *et al.*, 2018).

Data ketebalan lapisan film dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ketebalan lapisan film

Hasil pengukuran menyatakan bahwa nilai ketebalan berkisar antara 0,06-0,12 mm dengan nilai ketebalan tertinggi adalah perlakuan B_3Z_3 dengan konsentrasi 3% *beeswax* dan 3% NP-ZnO sebesar 0,12 mm sedangkan perlakuan terendah adalah perlakuan B_1Z_1 dengan konsentrasi *beeswax* 1% dan ZnO 1% sebesar 0,08 mm dan nilai kontrol sebesar 0,06 mm. NP-ZnO memiliki luas permukaan dan energi permukaan yang besar sehingga dapat berinteraksi dan tercampur dengan baik pada matriks film. Penelitian (Eka Putri *et al.*, 2018) mengatakan bahwa NP-ZnO dapat meningkatkan ketebalan film dikarenakan dapat memberikan penambahan total padatan pada film dengan ketebalan sebesar 0,06-0,12mm.

Penambahan *beeswax* pada lapisan film memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan film. Gerakan molekul yang lambat menyebabkan Jarak yang lebih dekat antara molekul menyebabkan terjadinya gaya tarik-menarik antara molekul tersebut. Penelitian (Oko *et al.*, 2023) menyatakan penambahan 4% *beeswax* pada lapisan *edible film* dari beras merah memberikan pengaruh pada ketebalan film sebesar 0,246 mm. Penambahan *beeswax* juga sangat berpengaruh terhadap tingkat *barrier* kelembapan suatu lapisan film yang

saling berkaitan. Semakin tebal lapisan film maka semakin baik tingkat *barrier* lapisan.

Warna

Warna pada lapisan film mempunyai pengaruh terhadap penerimaan konsumen terhadap komoditi pertanian yang dilapisi film. Dari hasil penelitian didapatkan hasil nilai ΔE mengalami peningkatan. Hasil peningkatan nilai ΔE^* dapat dilihat pada dalam bentuk Tabel 1.

Hasil dari penelitian menyatakan bahwa nilai ΔE^* tertinggi terdapat pada sampel B_3Z_2 dengan kombinasi *beeswax* 3% dan NP-ZnO 2% dengan nilai 77,06 sedangkan nilai ΔE^* terendah terdapat pada sampel B_1Z_2 dengan nilai 76,38 . Dari hasil penelitian, semakin meningkatnya konsentrasi *beeswax* yang dicampur dalam larutan film, mengakibatkan warna yang dihasilkan menjadi semakin putih. *Beeswax* mempunyai pengaruh terhadap penampakan visual dari film berbasis kitosan murni. Hasil dari penelitian (Nandiwilastio, 2018) menyatakan bahwa penambahan kombinasi *beeswax* 5% dan NP-ZnO 1% dapat meningkatkan nilai warna lapisan film (ΔE^*) dari 2,30 menjadi 8,13. Penurunan transparansi pada lapisan film berbasis kitosan terjadi karena adanya rekristalisasi *beeswax* pada suhu ruang. Penambahan komponen lemak memberikan pengaruh terhadap nilai kekeruhan film. NP-ZnO pada lapisan film dapat menurunkan transparansi lapisan film, namun efek yang

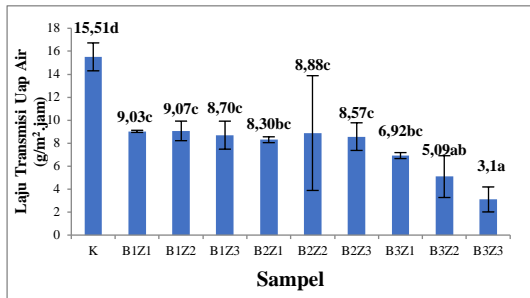
diberikan tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan *beeswax*. Pendapat ini serupa dengan penelitian (Meindrawan *et al.*, 2016) yang menyatakan bahwa penambahan NP-ZnO 1% pada film berbasis karagenan dapat meningkatkan nilai warna lapisan film (ΔE^*) dari 0,72 menjadi 1,83 dan penambahan 3% *beeswax* pada film berbasis karagenan meningkatkan nilai (ΔE^*) film dari 0,88 menjadi 1,77. Dari hasil penelitian kali ini dapat disimpulkan bahwa penambahan *beeswax* dan NP -ZnO dapat meningkatkan nilai warna film berbasis kitosan.

Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

Water Vapor Transmission Rate (WVTR)/ Laju Transmisi Uap Air merupakan analisis yang dilakukan untuk melihat kemampuan suatu uap air dalam menembus lapisan (Saputro *et al.*, 2017). Dari hasil pengamatan dapat disimpulkan bahwa nilai WVTR lapisan nanokomposit cenderung menurun. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil pengamatan menyatakan bahwa kombinasi 3% *beeswax* dan 3% NP-ZnO (B_3Z_3), *beeswax* 3% dan NP-ZnO 2% (B_3Z_2) memberikan nilai WVTR terendah sebesar 3,10 gram/m².jam dan 5,09 g/m².jam sedangkan WVTR tertinggi terdapat pada sampel B_1Z_1 sebesar 9,03 g/m².jam dan kontrol sebesar 15,51 g/m².jam. Semakin nilai WVTR maka lapisan film memiliki laju

Tabel 1. Total Perubahan warna lapisan

<i>Beeswax</i> (B)	NP-ZnO (Z)	L*	a*	b*	ΔE^*
0	0	24,74	-3,667	-6,50	75,64 ^a
1	1	23,90	-3,839	-6,09	76,44 ^{ab}
1	2	24,00	-3,705	-6,43	76,38 ^{ab}
1	3	24,00	-3,768	-6,92	76,41 ^{ab}
2	1	23,87	-4,101	-6,68	76,54 ^{ab}
2	2	23,63	-4,189	-6,28	76,74 ^b
2	3	23,70	-4,688	-6,82	76,75 ^b
3	1	23,72	-6,141	-4,65	76,71 ^b
3	2	23,48	-6,619	-6,32	77,06 ^b
3	3	23,68	-6,604	-6,18	76,85 ^b



Gambar 2. Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

laju transmisi uap air yang tinggi. Laju transmisi uap air yang tinggi menandakan bahwa kualitas edible film semakin rendah. Polimer polar memiliki ikatan hidrogen yang tinggi sehingga daya serap airnya juga tinggi (Gumaran *et al.*, 2020). Daya serap air yang tinggi pada komoditi pertanian mengakibatkan komoditi tersebut rentan terhadap kelembapan sehingga mempercepat kerusakan dan busukan pada komoditi pertanian

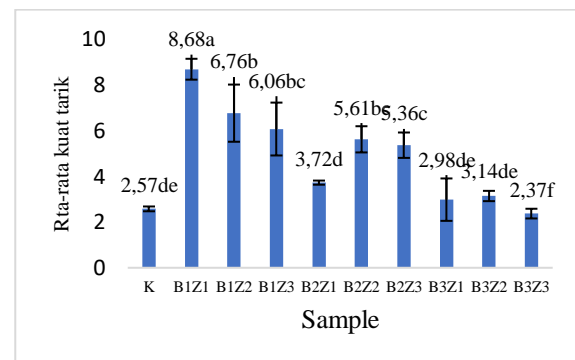
Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa *beeswax* berpengaruh signifikan terhadap laju transmisi uap air lapisan. *Beeswax* memiliki polaritas yang rendah dan struktur kristal yang padat sehingga sangat efektif dalam menahan laju transmisi uap air pada lapisan film (Oko *et al.*, 2023). *Beeswax* akan menghasilkan suatu bahan padat yang berperan sebagai pelindung atau penghalang terhadap uap air, pernyataan ini sesuai dengan hasil penelitian (Mudaffar, 2019) yang menyatakan bahwa penambahan 1% *beeswax* pada film komposit pati sagu-gelatin dari 0,037 menjadi 0,027 gram/m².jam. Penelitian (Nandiwilastio, 2018) menyatakan penambahan 2% *beeswax* pada lapisan film berbasis kitosan dapat menurunkan nilai laju transmisi uap air lapisan dari 14,32 gram/m².jam menjadi 10,38 g/m².jam.

Menurut penelitian (Meindrawan *et al.*, 2016) menyatakan bahwa penambahan NP-ZnO pada lapisan film akan membentuk jaringan berliku pada matrik film sehingga mempersulit uap air untuk menembus lapisan. Hal ini diakibatkan karena NP-ZnO mempunyai sifat hidrofobik dan resistensi yang tinggi sehingga semakin tinggi nilai NP-

ZnO yang ditambahkan akan membuat laju transmisi uap air lebih rendah dibandingkan dengan lapisan yang tidak menggunakan NP-ZnO (Saputra *et al.*, 2019). Dari hasil data yang didapat penggabungan *beeswax* dan NP-ZnO pada lapisan film memberikan pengaruh pada penurunan nilai laju transmisi uap air dibandingkan dengan lapisan yang hanya terbuat dari kitosan saja.

Sifat Mekanis Kuat Tarik

Kekuatan tarik adalah kekuatan maksimum yang dapat dicapai oleh lapisan film, di mana nilai kekuatan tarik pada lapisan film menunjukkan kemampuan lapisan dalam menahan kerusakan mekanis (Handayani & Nurzanah, 2018). Kuat tarik dan elongasi merupakan parameter penting dalam menilai sifat mekanik lapisan film. Hasil pengukuran kuat tarik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kuat tarik lapisan film

Pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa penggabungan *beeswax* dan NP-ZnO pada nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada sampel B₁Z₁ dengan formula *beeswax* 1% dan NP-ZnO 1% dengan nilai 8,68 MPa sedangkan nilai kuat tarik terendah terdapat pada sampel B₃Z₃ dengan formula *beeswax* 3% + NP-ZnO 1% sebesar 2,37 Mpa dan nilai kontrol sebesar 2,57 MPa. Berdasarkan hasil olah data ANOVA pemberian *beeswax* berpengaruh signifikan pada lapisan film berbasis kitosan. Ikatan yang dibentuk oleh *beeswax* kurang baik dikarenakan *beeswax* adalah lipid yang tidak larut dengan baik

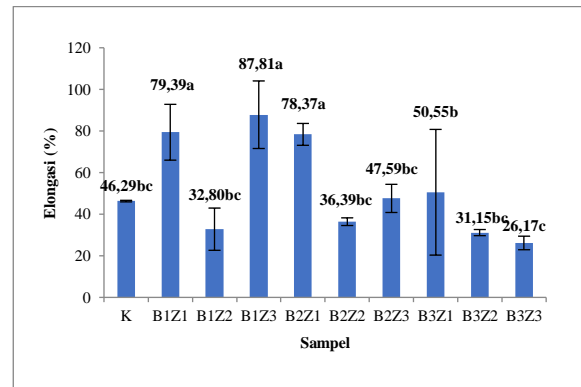
dalam air sehingga berdampak pada kekuatan tarik lapisan. Dari hasil juga disimpulkan bahwa nilai kuat tarik cenderung menurun seiring dengan penambahan konsentrasi *beeswax* kedalam lapisan film. Penurunan ini terjadi karena lilin lebah akan mengeras seiring dengan pengeringan lapisan sehingga sampel akan memadat dan menjadi retak (Nabila *et al.*, 2018). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Nandiwilastio, 2018) yang menyatakan bahwa semakin tinggi nilai konsentrasi *beeswax* yang ditambahkan maka akan menurunkan nilai kuat tarik dari lapisan film. *Beeswax* mempunyai sifat fleksibilitas yang mampu mengurangi kekakuan dari film berbasis polimer. Penambahan *beeswax* juga akan mempengaruhi sifat mekanis film dikarenakan akan terjadinya diskontinuitas pada film berbasis polimer yang mengurangi kekakuan pada film.

Penambahan NP-ZnO dapat mengisi celah diantara rantai polimer yang menyebabkan matrik menjadi lebih padat sehingga kuat tarik meningkat. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa pemberian NP-ZnO tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan nilai kuat tarik, diakibatkan karena terjadi aglomerasi atau penumpukan NP-ZnO di beberapa bagian lapisan film. Penelitian (Nandiwilastio *et al.*, 2019) juga menyatakan bahwa penambahan konsentrasi NP-ZnO sebesar 1-3% tidak berpengaruh terhadap sifat mekanis dari lapisan film. Penurunan nilai yang tidak stabil diduga karena ketebalan film yang kurang merata sehingga mempengaruhi nilai kuat tarik lapisan. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa penggabungan *beeswax* dan NP-ZnO mempunyai pengaruh terhadap nilai kuat tarik jika dibandingkan dengan nilai kontrol.

Elongasi

Elongasi merupakan perubahan panjang yang dialami suatu lapisan film saat pengujian kuat tarik. Nilai elongasi yang

tinggi menandakan suatu lapisan tidak mudah putus sehingga dapat menyesuaikan bentuk kemasan dengan bahan pangan (Oko *et al.*, 2023). Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai elongasi berkisar antara 26,17%-87,81%.



Gambar 4. Elongasi

Dari hasil data dapat diketahui bahwa nilai elongasi cenderung menurun. Penurunan nilai elongasi pada lapisan film kemungkinan diakibatkan karena bertambahnya konsentrasi *beeswax* yang diberikan. *Beeswax* mempunyai fasa kristalin dimana fasa ini mengakibatkan daya tarik antar asam lemak yang berdekatan dengan kristal (Oko *et al.*, 2023). Fasa ini juga menyebabkan meningkatnya jumlah matriks polimer yang lebih besar menghasilkan lapisan film dengan struktur polimer yang padat. Semakin padat lapisan film tersebut, maka semakin tinggi kekuatannya, tetapi kemampuannya untuk meregang menjadi lebih rendah.

Penurunan nilai elongasi pada penelitian serupa dengan penelitian (Nabila *et al.*, 2018) yang mengatakan bahwa penambahan 5% *beeswax* pada film berbasis kitosan dapat menurunkan nilai elongasi dari 2,82% menjadi 2,49%. Penelitian (Oko *et al.*, 2023) juga mengatakan bahwa penambahan konsentrasi *beeswax* dapat menurunkan nilai elongasi lapisan film dari 6,06% menjadi 1,21%. Ketidakteraturan *beeswax* dan NP-ZnO pada saat pembuatan larutan juga berpengaruh terhadap nilai elongasi yang dihasilkan.

Formulasi Terbaik

Menurut langkah-langkah yang telah diuraikan, didapatkan Nilai Hasil (NH) formulasi terbaik dari film edible yang terbuat dari Kitosan dengan penambahan beeswax dan NP-ZnO, seperti yang dapat diamati pada Tabel 2. Nilai Hasil paling tertinggi terdapat pada formula B₁Z₁ (kitosan + beeswax 1% + NP-ZnO 1%) dengan nilai hasil sebesar 0,74.

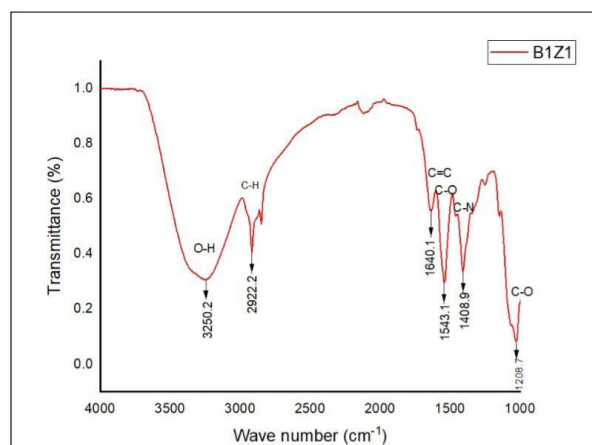
Tabel 2. Nilai Hasil Perlakuan Terbaik

Formulasi	Nilai Hasil
Kontrol	0,07
B1Z1	0,74
B1Z2	0,49
B1Z3	0,65
B2Z1	0,53
B2Z2	0,48
B2Z3	0,51
B3Z1	0,46
B3Z2	0,49
B3Z3	0,49

FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*)

Transformasi Fourier Spektroskopi Inframerah digunakan untuk mengetahui adanya gugus fungsi atau ikatan kimia yang terdapat pada lapisan film. Analisis FTIR memiliki tujuan untuk mengetahui proses yang terjadi pada campuran film secara fisik maupun kimia (Illing et.al. 2017). Pengukuran FTIR hanya dilakukan ada sampel dengan formulasi terbaik yaitu B₁Z₁. Hasil data analisis B₁Z₁ dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan hasil spektrum FTIR pada Gambar 5 menunjukkan bahwa lapisan mengandung gugus fungsi O-H (gugus hidroksil), C-H (gugus alkana), C=C (gugus alkena), C=O (gugus ester, alkohol, eter, asam karboksilat), C-N (gugus amina), dan C-O (gugus alkohol, eter, asam karboksilat dan ester). Pada data yang dihasilkan dapat diketahui bahwa puncak gelombang O-H muncul sekitar 3250,2 cm⁻¹. Puncak bilangan



Gambar 5. Spektra FTIR sampel B₁Z₁

gelombang ini muncul diakibatkan dari regangan ikatan gugus –O-H dan N-H sesuai dengan range yaitu 3750-3000 cm⁻¹ yang berasal dari adanya kitosan dan gliserol (Fadhila & Maharini, 2022). Gugus O-H yang berasal dari kitosan menyebabkan daya serap air semakin meningkat. Pada panjang gelombang 2922,2 cm⁻¹ merupakan gugus fungsi C-H yang dimana berasal dari matriks kitosan dan gliserol. Gugus fungsi C-H juga ditemukan pada matriks film kitosan dengan pencampuran asam asetat dan gliserol pada puncak gelombang 2881 cm⁻¹ (Dehankar & Kumar, 2023). Puncak gelombang ini juga diakibatkan karena adanya vibrasi atau perubahan panjang dalam alkana pada beeswax (Lim et al., 2015). Kemudian, dari data penelitian ini terdapat gugus fungsi C=C pada puncak gelombang sekitar 1640.1 cm⁻¹. Adanya gugus fungsi C=C akan membuat ikatan gugus hidroksil dan gugus alkana merenggang serta merentangnya cincin. Pada puncak gelombang 1543,1 cm⁻¹ adalah gugus fungsi C=O yang merupakan gugus karboksilat dan tekukan C-H₂ dan C-H₃ pada alkana yang terkandung dalam beeswax. Pada puncak gelombang 1408,9 cm⁻¹ terdapat gugus C-N karena terdapat peregangan amina dan alkohol yang tumpang tindih dan terdapat ikatan hidrogen antar molekul yang berasal dari kitosan (Jovanovi et al., 2021). Puncak gelombang 1208,7 cm⁻¹ berasal dari vibrasi

ulur atau perubahan panjang dari gugus C-O yang berasal dari *beeswax*.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Pemberian *beeswax* dan NP-ZnO pada struktur film berpotensi untuk meningkatkan ketebalan film nanokomposit. Berdasarkan analisis ANOVA, penambahan *beeswax* dalam lapisan film juga dapat meningkatkan nilai suatu lapisan. Hasil uji WVTR menunjukkan bahwa penambahan 3% *beeswax* dan NP-ZnO berhasil mengurangi laju transmisi uap air dari 15,51 g/m².jam menjadi 3,1 g/m².jam. Penambahan *beeswax* dan NP-ZnO juga memberikan dampak positif pada sifat mekanis (kuat tarik dan elongasi) lapisan, menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan sampel kontrol. Di samping itu, analisis spektrum *Fourier Transform Infrared* (FTIR) pada film pelapis mengungkapkan keberadaan gugus O-H, C-H, C=C, C=O, C-N, dan C-O mengindikasikan terjadinya interaksi antara kitosan, *beeswax*, dan NP-ZnO.

Saran

Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan pencampuran antara *beeswax* dan NP-ZnO lebih homogen agar performa film yang dihasilkan lebih baik. Suhu dan RH saat mengeringkan lapisan juga perlu diperhatikan untuk mendapatkan kondisi lapisan film yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Afifah, N., Sholichah, E., Indrianti, N., & Darmajana, D. A. (2018). Pengaruh Kombinasi Plasticizer terhadap Karakteristik Edible Film dari Karagenan dan Lilin Lebah. *Biopropal Industri*, 9(1), 49–60.

Dehankar, H. B., & Kumar, P. (2023). Edible composite films based on chitosan / guar

gum with ZnO – NPs and roselle calyx extract for active food packaging. *Applied Food Research*, 3(1), 100276.

Eka Putri, I., Edhi Suyatma, N., & Dewantari Kusumaningrum, H. (2018). Film Edibel Antibakteri Berbasis Isolat Protein Kedelai Dengan Ekstrak Kunyit Dan Nanopartikel Seng Oksida. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 29(1), 85–92.

Fadhila, K., & Maharini, D. (2022). Preparasi dan Karakterisasi Komposit Kitosan-ZnO sebagai Agen Hidrofobik pada Kain Katun. *Journal Of Chemistry*, 11(1), 69–76.

Gudkov, S. V., Burmistrov, D. E., Serov, D. A., Rebezov, M. B., Semenova, A. A., & Lisitsyn, A. B. (2021). A Mini Review of Antibacterial Properties of ZnO Nanoparticles. *Frontiers in Physics*, 9, 1–12.

Gumaran, S., Sutrisno, N., & Iriani, E. S. (2020). Aplikasi Pelapisan Nanokomposit Untuk Mempertahankan Kualitas Salak Pondoh (*Salacca edulis* Reniw). *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 17(2), 77.

Handayani, R., & Nurzanah, H. (2018). Karakteristik edible film pati talas dengan penambahan antimikroba dari minyak atsiri lengkuas. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 10(1), 1–11.

Jovanovi, J., Tanasijevi, G., Joksimovi, K., Baki, G., & Brankovi, G. (2021). *Progress in Organic Coatings Chitosan and pectin-based films and coatings with active components for application in antimicrobial food packaging*. 158(May).

Langkong, J., Genisa, J., Mahendradatta, M., Rahman, N., & Naja, R. (2016). Penerapan TeknoLogi Tepat Guna Pada Pengolahan Buah Dan Sayur Di Desa Pasui Kecamatan Buntu Batu

- Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan. *Jurnal Panrita Abdi*, 1(1), 1–12.
- Lim, J. H., Kim, J. A., Ko, J. A., & Park, H. J. (2015). *Preparation and Characterization of Composites Based on Polylactic Acid and Beeswax with Improved Water Vapor Barrier Properties*.
- Maghfiroh, J., Sofa, A. D., Aprillia, A., & Affandi, A. R. (2018). Efektivitas Penambahan Kitosan dan Ekstrak Jeruk Nipis dalam Pembuatan Antimicrobial Edible Coating dan Aplikasinya pada Fresh-Cut Jambu Biji Kristal. *Jurnal Ilmu Pangan Dan Hasil Pertanian*, 2(1), 82–90.
- Meindrawan, B., Edhi Suyatma, N., Muchtadi, T. R., & Iriani, E. S. (2016). Aplikasi pelapis bionanokomposit berbasis karagenan untuk mempertahankan mutu buah mangga utuh. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 5(1), 89–98.
- Mudaffar, R. A. (2019). Karakteristik Edible Film Komposit Dari Pati Sagu, Gelatin Dan Lilin Lebah (Beeswax). *Journal TABARO Agriculture Science*, 2(2), 247.
- Nabila, P., Kusdarwati, R., & Agustono. (2018). Pengaruh Penambahan Beeswax Sebagai Karakteristik Fisik Edible Film Kitosan. *J. Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 10(1), 47–54.
- Nabila, S. D. P., Kusdarwati, R., & Agustono, A. (2018). Pengaruh Penambahan Beeswax Sebagai Plasticizer Terhadap Karakteristik Fisik Edible Film Kitosan. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 10(1), 34.
- Nandiwilastio, N. (2018). *Formulasi pelapisan nanokomposit berbahan kitosan, beeswax dan nanopartikel ZnO serta aplikasinya untuk mempertahankan mutu benih kedelai (Glycine max)*.
- Nandiwilastio, N., Muchtadi, T. R., Suyatma, N. E., & Yuliani, S. (2019). Pengaruh Penambahan Lilin Lebah Dan Nnaopartikel Seng Oksida Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanis Film Berbasis Kitosan. *J. Teknol. Dan Industri Pangan*, 30(2), 119–126.
- Oko, S., Kurniawan, A., Ramadhan, G., & Alam, P. (2023). Pengaruh Penambahan Massa Lilin Lebah (Beeswax) Sebagai Zat Anti Air Pada Pembuatan Edible Film Dari Beras Merah (*Oryza nivara*). *J. Teknologi*, 15(1), 65–72.
- Ramnanan-singh, R. (2012). *Formulation & Thermophysical Analysis of a Beeswax Microemulsion & The Experimental Calculation of its Heat Transfer Coefficient*.
- Romadhan, M. F., & Pujilestari, S. (2019). Sintesis Nanopartikel ZnO dan Aplikasinya sebagai Edible Coating Berbasis Pektin untuk Memperpanjang Umur Simpan Buah Belimbing. *Jurnal Agroindustri Halal*, 5(1), 030–038.
- Rosida, D. F., Hapsari, N., & Dewati, R. (2018). *Edible Coating dan Film dari Biopolimer Bahan Alami Terbarukan*.
- Saputra, W., Hartiati, A., Harsojuwono, B. A., Pertanian, F. T., Udayana, U., & Bukit, K. (2019). Pengaruh Konsentrasi Seng Oksida (ZnO) dan Penambahan Gliserol terhadap Karakteristik Bioplastik dari Pati Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Deenst). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7(4), 531–540.
- Saputro, B. W., Dewi, E. N., & Susanto, E. (2017). Karakteristik Edible Film dari Campuran Tepung Semirefined Karaginan dengan Penambahan Tepung Tapioka dan Gliserol. *Jurnal*

- Pengetahuan Dan Biotek Hasil Pi*, 6(2), 1–6.
- Satriawan, M.B., & Illing, I. (2017). Uji FTIR Bioplastik dari Limbah Ampas Sagu dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Gelatin. *Jurnal Dinamika*, 08(2), 1–13.
- Yasmin, Q., Meindrawan, B., & Pamela, V. Y. (2020). Karakterisasi Edible film dari Karagenan , Lilin Lebah dan Asam Sitrat. *Jurnal Teknologi Pengolahan Pertanian*, 2(2), 27–3