

## KARAKTERISASI FILM PVA/KITOSAN/ZEOLIT TERSUBSTITUSI ION Ag<sup>+</sup> BERPOTENSI SEBAGAI KEMASAN AKTIF

### CHARACTERIZATION OF PVA/CHITOSAN/ZEOLITE FILM SUBSTITUTED BY ION Ag<sup>+</sup> AS ACTIVE PACKAGING

**Rizka Dwi Safitri and Dina Kartika Maharani\***

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Universitas Negeri Surabaya

Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

\* Corresponding author, tel/fax: 0817-4140131, email: [dinakartika@unesa.ac.id](mailto:dinakartika@unesa.ac.id)

**Abstrak.** Kebutuhan makanan segar terus mengalami peningkatan. Makanan segar memiliki umur simpan yang pendek. Hal tersebut dapat diatasi dengan kemasan aktif yang mengandung zat antimikroba. Zeolit dimodifikasi dengan pertukaran ion dengan perak, dimana perak berperan sebagai bahan antimikroba. Penelitian ini bertujuan mempelajari perubahan sifat mekanik campuran PVA/kitosan dengan penambahan zeolit-Ag dibandingkan dengan tanpa penambahan zeolit-Ag. Variasi pada penelitian ini ialah penambahan zeolit-Ag pada komposit PVA/CS yaitu (0,025; 0,05; 0,1; 0,2)%. Film yang telah dibuat dianalisis dalam hal sifat mekanik, FTIR, dan mikrostruktur morfologi permukaan. Film komposit yang memiliki kandungan zeolit-Ag menunjukkan terjadinya peningkatan kekuatan tarik serta elastisitas, dimana zeolit terkonfirmasi dapat digunakan sebagai bahan penguat dalam matriks polimer. Film komposit dengan kandungan zeolit-Ag 0,025% memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 46,534 MPa, karena zeolit-Ag dapat terdispersi secara homogen dalam matriks polimer. Analisis FTIR menunjukkan hasil bahwa campuran PVA dan kitosan terbukti tercampur secara seragam. Analisis mikrostruktur morfologi menunjukkan hasil permukaan yang homogen, tidak terlihat munculnya agregat zeolit-Ag pada film PVA/CS, sedangkan pada film yang mengandung 0,025% zeolit-Ag terdapat permukaan heterogen dan munculnya bulatan hitam yang menunjukkan adanya zeolit-Ag.

**Kata kunci:** karakterisasi, film komposit, zeolit, perak

**Abstract.** The need for fresh food continues to increase. Fresh food has a short shelf life. This can be overcome by active packaging containing antimicrobial substances. Zeolite is modified by ion exchange with silver, where silver acts as an antimicrobial agent. This study aims to study the changes in the mechanical properties of the PVA/chitosan mixture with the addition of zeolite-Ag compared to without the addition of zeolite-Ag. The variation in this study is the addition of zeolite-Ag to the PVA/CS composite, namely (0.025; 0.05; 0.1; 0.2)%. The films that have been made were analyzed in terms of mechanical properties, FTIR, and surface morphology microstructure. Composite films containing zeolite-Ag showed an increase in tensile strength and elasticity, where confirmed zeolite can be used as a reinforcing material in polymer matrices. The composite film with 0.025% zeolite-Ag content has a tensile strength value of 46.534 MPa, because zeolite-Ag can be homogeneously dispersed in the polymer matrix. FTIR analysis showed that the mixture of PVA and chitosan proved to be uniformly mixed. Morphological microstructural analysis showed homogeneous surface results, there was no visible appearance of zeolite-Ag aggregates on the PVA/CS film, whereas on films containing 0.025% zeolite-Ag there was a heterogeneous surface and the appearance of black circles indicating the presence of zeolite-Ag.

**Key words:** characterization, film composite, zeolit, silver

## PENDAHULUAN

Kemasan makanan termasuk faktor penting dalam menjaga keamanan dan kualitas makanan. Kemasan memiliki peranan penting untuk makanan yang memiliki waktu simpan yang pendek tetapi mengharuskan distribusi untuk jarak yang lebih jauh. Kemasan juga dapat berfungsi sebagai peningkat waktu simpan dan keamanan pada makanan [1].

Penghambatan kontaminan mikroba dalam makanan dapat menggunakan kemasan aktif (*active packaging*) dengan tujuan untuk meningkatkan keamanan dan ketahanan makanan dengan cara menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen dan pembusuk [2]. Teknologi kemasan antimikroba dapat mengurangi atau mencegah pertumbuhan mikroba dengan memperpanjang periode lag dan mengurangi laju pertumbuhan atau menurunkan jumlah hidup mikroorganisme. Sistem kemasan antimikroba dengan cara menyiapkan bahan kemasan yang mengandung agen antimikroba [2].

Kitosan (CS) memiliki aktivitas antimikroba alami dikarenakan memiliki gugus amino yang bermuatan tinggi, dengan cara merespons lapisan sel mikroba yang bermuatan berlawanan [3]. Kitosan merupakan biopolimer tidak beracun, memiliki sifat biodegradabilitas, biokompatibilitas, dan memiliki aktivitas antimikroba sehingga menjadi pilihan yang layak untuk kemasan makanan [4, 5]. Kitosan larut dalam pelarut organik encer dan memiliki kemampuan pembentukan film yang sangat baik [6]. Pemanfaatan kitosan telah terbukti dapat memperpanjang umur simpan makanan [7, 8], daging ayam [9], telur [10], dan roti [11]. Bahkan ketika makanan diletakkan di luar *freezer*, kitosan mampu menjaga makanan tetap segar [8, 11], dan juga terurai tanpa kontaminasi lebih lanjut dalam kotoran. Namun, kitosan memiliki sifat mekanik dan ketahanan air yang buruk [6]. Sifat mekanik dan ketahanan air pada kitosan dapat meningkat ketika kitosan dicampur dengan polimer tidak berbahaya dan *biodegradable*, seperti Polivinil alkohol [6].

Polivinil alkohol (PVA) ialah biopolimer sintesis yang bersifat hidrofilik [12] memiliki sifat mekanik dan termal yang baik, serta transparansi [13], elastisitas, larut dalam air pada suhu tinggi [12] dan ketahanan yang baik terhadap permeasi oksigen [13]. Namun, PVA memiliki tingkat degradasi yang rendah di beberapa lingkungan

seperti di tanah dan ketahanan air yang buruk karena adanya gugus hidroksil dalam senyawa PVA [13]. Campuran film komposit PVA dan kitosan dapat meningkatkan stabilitas, biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan kekuatan mekanik [13].

PVA memiliki banyak keunggulan untuk digunakan sebagai film kemasan makanan, karena dapat meningkatkan hidrofilisitas, stabilitas, dan dapat membentuk film yang baik [3]. PVA telah digunakan dalam berbagai aplikasi di berbagai perusahaan yaitu, PVA telah digunakan dalam bidang pengobatan dan makanan untuk membuat suatu produk (bahan kemasan makanan, benang halus, dan *veneer*) [3]. Dalam aplikasi kontak makanan, pemanfaatan PVA telah dievaluasi oleh EFSA (2005). Dalam hal ini, PVA dapat digunakan sebagai kemasan untuk berbagai jenis makanan tanpa menimbulkan masalah kesehatan [14].

Zeolit ialah salah satu bahan yang digunakan sebagai penyangga pembawa dimana perak dapat digabungkan. Komponen tersebut memiliki karakteristik yang menarik dan spesifik, seperti halnya struktur kaku, stabilitas termal, mekanik dan kimia yang baik, area spesifik yang tinggi, dan sistem mikropori yang memungkinkan pelepasan terkontrol dari perak [15]. Zeolit, dimodifikasi dengan  $\text{Ag}^+$  melalui pertukaran ion, menunjukkan sifat antimikroba yang baik terhadap pertumbuhan *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, dan *Escherichia coli* [5]. Aktivitas antimikroba zeolit-Ag pada mikroorganisme yang berbeda telah diteliti sebelumnya, terutama untuk aplikasi di bidang kesehatan dan makanan [16-18]. Perak juga dapat dimasukkan ke dalam bahan lain, seperti tanah liat [19], keramik [20] atau polimer [21], untuk aplikasi bioaktif tertentu.

Ditambahkannya zat antimikroba dalam film polimer untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme, serta dapat meningkatkan umur simpan, dan keamanan produk melalui pelepasan secara bertahap pada permukaan makanan. Menambahkan zeolit yang mengandung perak dalam film polimer memiliki beberapa keuntungan yaitu dapat meningkatkan efek antimikroba [5]. Zat antimikroba berinteraksi dengan produk atau dengan *headspace* antara film kemasan dan makanan, untuk mengurangi pertumbuhan mikroorganisme yang ada di permukaan makanan atau kemasan makanan [2]. Dapat disimpulkan bahwa film yang mengandung zeolit tersubstitusi

ion  $\text{Ag}^+$  dapat diaplikasikan sebagai kemasan makanan aktif (*active packaging*).

Penelitian mengenai zeolit tersubstitusi dengan ion  $\text{Ag}^+$  telah banyak dilakukan [16-18]. Fokus pada penelitian tersebut ialah pada antimikroba untuk aplikasi biomedik dan makanan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai sifat mekanik campuran PVA dan kitosan serta pengaruh penambahan zeolit-Ag sebagai zat antimikroba.

## METODE PENELITIAN

### Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini: Zeolit alam Blitar, kitosan, polivinil alkohol (PVA), asam asetat glasial, dan  $\text{AgNO}_3$ .

### Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: *Ohaus Analytical Balance CP114*, *Magnetic Stirrer*, *Ultrasonic Bath Elma Type S60H*, *Autograph Microcomputer Control Universal Testing*, *FTIR Spectrometer Bruker Type Alpha II*, *Scanning Electron Microscope Hitachi Type SU3500*, labu ukur, gelas kimia, gelas ukur, pipet volume, pro pipet, cawan, corong kaca, dan kertas saring.

### Prosedur Penelitian

#### Zeolit Alam Tersubstitusi Ion $\text{Ag}^+$

Proses pertukaran kation dilakukan dengan cara memasukkan perak ke dalam struktur zeolit dengan proses perendaman. 5 gram serbuk zeolit di impregnasi ke dalam 100 ml larutan  $\text{AgNO}_3$  0,1 M dengan pengaduk magnetik selama 2 jam.

#### Preparasi PVA/Kitosan/ Zeolit Alam Tersubstitusi Ion $\text{Ag}^+$

Pembuatan larutan kitosan dibuat dengan cara melarutkan 3 gram kitosan dalam 100 ml larutan asam asetat glasial 2% pada suhu  $50^\circ\text{C}$  dengan pengaduk magnetik untuk menghasilkan larutan kental yang homogen. Pembuatan larutan PVA dibuat dengan cara melarutkan 3 gram PVA dalam 100 ml aqua demineralisasi pada suhu  $70^\circ\text{C}$  dengan pengaduk magnetik untuk menghasilkan larutan yang homogen. Selanjutnya, larutan PVA/CS (40:60 v/v) dibuat dengan cara mencampurkan dua larutan polimer dengan pengaduk magnetik. Campuran PVA/CS yang telah disiapkan dicampurkan dengan konsentrasi

zeolit alam tersubstitusi ion  $\text{Ag}^+$  masing-masing (0,025; 0,05; 0,1; dan 0,2 w/v) dengan pengaduk magnetik dan butuh waktu 1 jam untuk sonikasi campuran pada suhu kamar. Selanjutnya, film PVA/CS/zeolit-Ag dituang ke dalam cetakan *acrylic* dibiarkan selama 72 jam pada suhu kamar sehingga pelarut dapat menguap dan film dapat terbentuk. Film PVA/CS/zeolit-Ag dikeluarkan dari cetakan dan siap untuk dikarakterisasi (Sifat mekanik, FTIR, dan SEM).

### Sifat Mekanik Film

Sifat mekanik film yang mengandung PVA/CS dicampur dengan zeolit alam yang diimpreg dengan kation  $\text{Ag}^+$  diukur dengan menggunakan *Autograph Microcomputer Control Universal Testing* bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dan elastisitas dari film tersebut. Film yang akan diuji dipotong terlebih dahulu sesuai dengan standart ASTM D638-03 [22] dengan panjang 60 mm, lebar 10 mm, dan ketebalan film sebesar 0,05 mm. Kecepatan yang digunakan berkisar 1-35 mm/menit dengan kuat tarik maksimum sebesar 400 N dan dengan peregangan sebesar 250 mm.

### Karterisasi Film dengan FTIR

Film komposit yang telah dibuat diukur dengan menggunakan *FTIR Spectrometer Bruker Type Alpha II* bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dengan menggunakan metode ATR (*Attenuated Total Reflectance*) dapat digunakan sampel bentuk padat, dengan persiapan sampel minimal sebesar 4 mg tanpa menggunakan KBr *grinding*.

### Karterisasi Morfologi Film dengan SEM

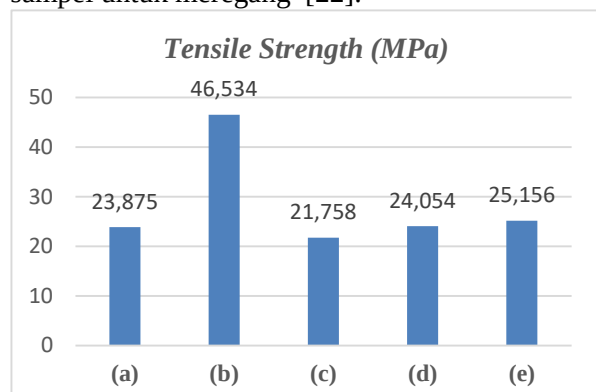
Permukaan film yang dihasilkan dianalisis dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) tanpa *coating* dengan menggunakan *Hitachi Type SU3500* bertujuan untuk melihat morfologi dari film komposit PVA/CS dan dibandingkan dengan film komposit PVA/CS yang mengandung zeolit-Ag.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

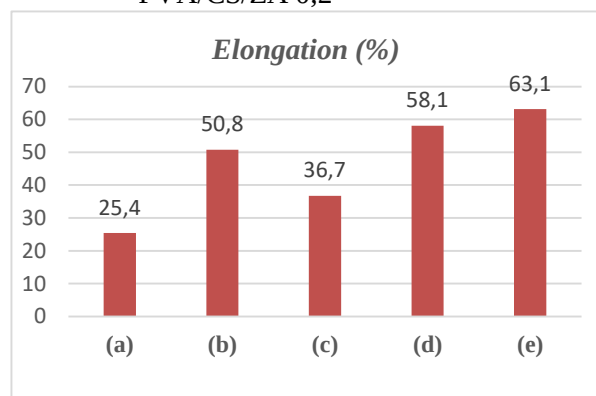
### Sifat Mekanik Film

Sifat mekanik film komposit sangat penting karena pengemasan biasanya dalam bentuk film dan terkena tekanan tertentu selama pengaplikasiannya. Sifat mekanik terdiri dari kekuatan tarik (*Tensile Strength*) didefinisikan sebagai tegangan maksimum yang dikembangkan

dalam film selama pengujian tarik sebelum sampel putus dan regangan (*Elongation*) ialah perpanjangan saat putus mengukur kapasitas sampel untuk meregang [22].



Gambar 1. Nilai Kuat Tarik Film (a) PVA/CS; (b) PVA/CS/ZA-0,025; (c) PVA/CS/ZA-0,05; (d) PVA/CS/ZA-0,1; dan (e) PVA/CS/ZA 0,2



Gambar 2. Nilai Elastisitas Film (a) PVA/CS; (b) PVA/CS/ZA-0,025; (c) PVA/CS/ZA-0,05; (d) PVA/CS/ZA-0,1; dan (e) PVA/CS/ZA 0,2

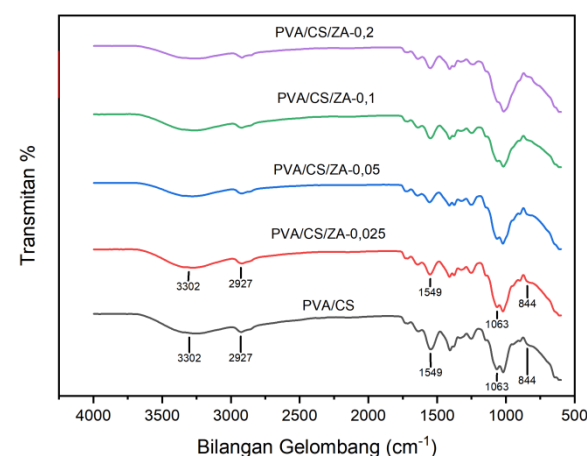
Kuat tarik (MPa) film campuran PVA/CS dengan konsentrasi zeolit-Ag yang berbeda ditunjukkan pada (Gambar 1) sedangkan untuk elastisitas (E%) ditunjukkan pada (Gambar 2). Dapat dilihat pada (Gambar 1) bahwa grafik untuk kekuatan tarik PVA/CS yang mengandung zeolit-Ag cenderung menurun sedangkan pada (Gambar 2) dapat dilihat bahwa grafik untuk regangan cenderung meningkat. Campuran film PVA/CS yang mengandung zeolit-Ag 0,025% menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 46,534 MPa serta campuran film PVA/CS yang mengandung zeolit-Ag 0,2% menghasilkan nilai elastisitas tertinggi sebesar 63,1% daripada campuran film PVA/CS. Hal ini menunjukkan bahwa, penambahan zeolit-Ag dapat meningkatkan elastisitas dan kekuatan pada film

komposit PVA/CS. Peningkatan kekuatan tarik dapat disebabkan juga oleh interaksi antara gugus O–H dan –NH<sub>2</sub> yang berasal dari kitosan dan gugus O–H dari PVA [23].

Film komposit dengan presentase zeolit-Ag 0,025% ialah komposit yang memiliki nilai kuat tarik yang paling tinggi. Hal ini jika dibandingkan dengan nilai kuat tarik variasi lain, pada variasi zeolit-Ag 0,025% film komposit tersebut dapat membentuk dispersi yang seragam didalam matriks polimer PVA/CS. Penambahan zeolit-Ag dengan presentase yang rendah menyebabkan film komposit tersebut cenderung memiliki kemampuan dispersi yang lebih homogen didalam matriks campuran PVA/CS, sehingga penambahan konsentrasi zeolit-Ag 0,025% cenderung memiliki kekuatan tarik yang lebih baik.

Film komposit dengan penambahan zeolit-Ag 0,2% dengan nilai 25,156 MPa memiliki kecenderungan menurun, karena berkurangnya efektivitas *interface filler* pada matriks polimer. Efektivitas *interface filler* yang rendah dapat menyebabkan degradasi kekuatan tarik polimer [24]. Oleh karena itu, zeolit-Ag dengan konsentrasi yang lebih besar yang bergabung dalam matriks polimer, menyebabkan ikatan antara zeolit-Ag dengan matriks polimer menjadi lemah, sehingga mengakibatkan kekuatan tarik film komposit menurun.

### Analisis FTIR



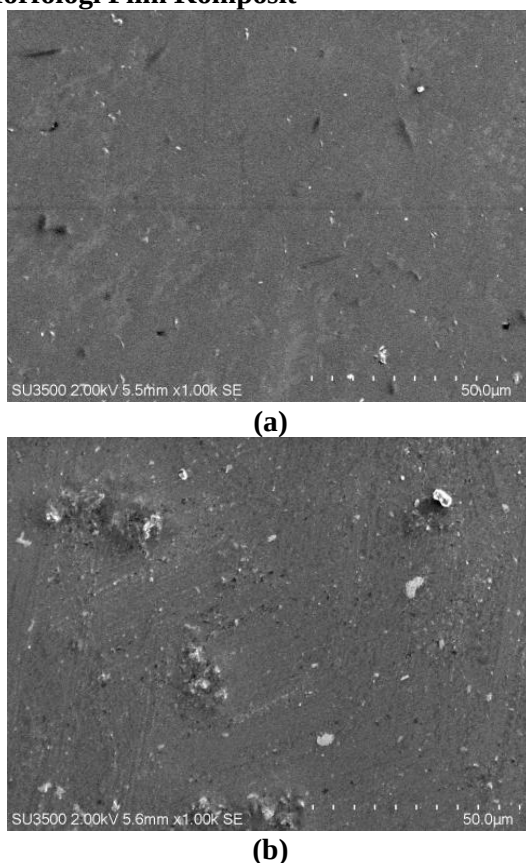
Gambar 3. Hasil Uji FTIR

Dapat dilihat pada Gambar 3, pada film terjadinya pengurangan intensitas pita pada bilangan gelombang sekitar 3400–3250 cm<sup>-1</sup>, yang mungkin disebabkan oleh vibrasi ulur O–H dari PVA dengan gugus N–H sekunder dari kitosan, lebarnya serapan disebabkan terjadinya



gugus O–H mengalami tumpang tindih dengan gugus N–H dari amina [25]. Hal ini juga terjadi penurunan intensitas puncak adsorpsi pada sekitar  $2927\text{ cm}^{-1}$  (regangan C–H), karena penambahan kitosan ke dalam matriks PVA yang disebabkan pembentukan ikatan hidrogen antara PVA dan kitosan [25]. Pada bilangan gelombang sekitar  $1063\text{ cm}^{-1}$  ialah regangan C–O. Pada panjang gelombang sekitar  $844\text{ cm}^{-1}$  mengalami penurunan intensitas puncak ialah regangan C=C karena penambahan PVA ke dalam matriks kitosan. Penambahan PVA dalam matriks kitosan dan zeolit-Ag menyebabkan intensitas pita menurun yang sesuai dengan pembengkokan N–H (amida) pada bilangan gelombang sekitar  $1549\text{ cm}^{-1}$  [25]. Dapat disimpulkan bahwa ketika dua atau lebih polimer dicampur akan mengalami campuran fisik dan interaksi kimia yang menyebabkan perubahan karakteristik puncak spektrum.

### Morfologi Film Komposit



Gambar 4. Hasil Uji SEM tanpa *coating* Morfologi Permukaan Film Komposit (a) PVA/CS dan (b) PVA/CS/zeolit-Ag 0,025%

Analisis morfologi film komposit yang telah dibuat diukur menggunakan *Scanning*

*Electrone Microscopy* (SEM) tanpa *coating*. Campuran film komposit PVA/CS serta PVA/CS yang mengandung zeolit-Ag 0,025% dikarenakan pada konsentrasi tersebut memiliki kekuatan tarik (Mpa) yang paling bagus ditunjukkan pada (Gambar 3). Dari hasil uji SEM tampak bahwa zeolit-Ag berbentuk bulatan berwarna hitam seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 3b). Gambar 3a film campuran PVA/CS menunjukkan permukaan homogen dengan tidak adanya agregat dari zeolit-Ag, meskipun permukaan heterogen muncul untuk film komposit PVA/CS/zeolit-Ag pada konsentrasi 0,025% seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 3b) terdapat efek agregasi partikel untuk film komposit yang mengandung zeolit-Ag selama pembuatan film komposit.

### KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pembuatan film polimer dengan pengisi berupa zeolit alam Blitar tersubstitusi kation perak  $\text{Ag}^+$  dapat menyebabkan perubahan sifat mekanik pada film. Film komposit yang mengandung zeolit-Ag memiliki sifat mekanik yang lebih baik, yaitu dapat meningkatkan kekuatan dan elastisitas pada film. Hasil kekuatan tarik yang paling baik diperoleh dengan penambahan konsentrasi zeolit-Ag sebesar 0,025% dengan nilai 46,534 MPa, hal ini terjadi karena zeolit-Ag dapat terdispersi dengan baik ke dalam matriks polimer. Analisis FTIR campuran polimer PVA dan kitosan terbukti tercampur secara homogen. Hasil morfologi permukaan dari film PVA/CS menunjukkan permukaan yang homogen tidak munculnya agregat dari zeolit-Ag, sedangkan film dengan pengisi zeolit-Ag 0,025% munculnya permukaan yang heterogen dan terdapat bulatan berwarna hitam.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Boschetto, D. L., Lerin, L., Cansian, R., Pergher, S. B. C., & Di Luccio, M. 2012. *Preparation and antimicrobial activity of polyethylene composite films with silver exchanged zeolite-Y*. *Chemical Engineering Journal*, 204-206, 210–216.
2. Sofi, S. A., Singh, J., Rafiq, S., Ashraf, U., Dar, B. N., & Nayik, G. A. 2018. A Comprehensive Review on Antimicrobial Packaging and its Use in Food Packaging. *Current Nutrition & Food Science*, 14(4), 305–312.

3. Al-Tayyar, N. A., Youssef, A. M., & Al-Hindi, R. R. 2020. *Antimicrobial packaging efficiency of ZnO-SiO<sub>2</sub> nanocomposites infused into PVA/CS film for enhancing the shelf life of food products*. *Food Packaging and Shelf Life*, 25, 100523.
4. Sharaf, O. M., Al-Gamal, M. S., Ibrahim, G. A., Dabiza, N. M., Salem, S. S., El-ssayad, M. F., & Youssef, A. M. 2019. *Evaluation and Characterization of some protective culture Metabolites in free and nano-chitosan-loaded forms against Common Contaminants of Egyptian Cheese*. *Carbohydrate Polymers*, 115094.
5. Youssef, H. F., El-Naggar, M. E., Fouda, F. K., & Youssef, A. M. 2019. *Antimicrobial packaging film based on biodegradable CMC/PVA-zeolite doped with noble metal cations*. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100378.
6. Narasagoudr, S. S., Hegde, V. G., Chougale, R. B., Masti, S. P., & Dixit, S. 2020. *Influence of boswellic acid on multifunctional properties of chitosan/poly (vinyl alcohol) films for active food packaging*. *International Journal of Biological Macromolecules*.
7. Casariego, A., Souza, B. W. S., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., Cruz, L., & Díaz, R. 2008. *Chitosan coating surface properties as affected by plasticizer, surfactant and polymer concentrations in relation to the surface properties of tomato and carrot*. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1452–1459.
8. Shiekh, R. A., Malik, M. A., Al-Thabaiti, S. A., & Shiekh, M. A. 2013. *Chitosan as a Novel Edible Coating for Fresh Fruits*. *Food Science and Technology Research*, 19(2), 139–155. doi:10.3136/fstr.19.139.
9. Higuera, L., López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. 2014. *Antimicrobial packaging of chicken fillets based on the release of carvacrol from chitosan/cyclodextrin films*. *International Journal of Food Microbiology*, 188, 53–59.
10. Caner, C., & Cansiz, O. 2006. *Effectiveness of chitosan-based coating in improving shelf-life of eggs*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(2), 227–232.
11. No, H. K., Meyers, S. P., Prinyawiwatkul, W., & Xu, Z. 2007. *Applications of Chitosan for Improvement of Quality and Shelf Life of Foods: A Review*. *Journal of Food Science*, 72(5), R87–R100.
12. Casey, L. S., & Wilson, L. D. 2015. *Investigation of Chitosan-PVA Composite Films and Their Adsorption Properties*. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 03(02), 78–84.
13. Abdullah, Z. W., & Dong, Y. 2019. *Biodegradable and Water Resistant Poly(vinyl) Alcohol (PVA)/Starch (ST)/Glycerol (GL)/Halloysite Nanotube (HNT) Nanocomposite Films for Sustainable Food Packaging*. *Frontiers in Materials*, 6.
14. Youssef, A. M., Assem, F. M., Abdel-Aziz, M. E., Elaaser, M., Ibrahim, O. A., Mahmoud, M., & Abd El-Salam, M. H. 2019. *Development of bionanocomposite materials and its use in coating of Ras cheese*. *Food Chemistry*, 270, 467–475.
15. Tosheva, L., Belkhair, S., Gackowski, M., Malic, S., Al-Shanti, N., & Verran, J. 2017. *Rapid screening of the antimicrobial efficacy of Ag zeolites*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 157, 254–260.
16. Chernousova, S., & Eppe, M. 2012. *Silver as Antibacterial Agent: Ion, Nanoparticle, and Metal*. *Angewandte Chemie International Edition*, 52 (6), 1636–1653.
17. Ferreira, L., Fonseca, A. M., Botelho, G., Aguiar, C. A., & Neves, I. C. 2012. *Antimicrobial activity of faujasite zeolites doped with silver*. *Microporous and Mesoporous Materials*, 160, 126–132.
18. Cerrillo, J. L., Palomares, A. E., Rey, F., Valencia, S., Palou, L., & Pérez-Gago, M. B. 2017. *Ag-zeolites as fungicidal material: Control of citrus green mold caused by *Penicillium digitatum**. *Microporous and Mesoporous Materials*, 254, 69–76.
19. Roy, A., Butola, B. S., & Joshi, M. 2017. *Synthesis, characterization and antibacterial properties of novel nano-silver loaded acid activated montmorillonite*. *Applied Clay Science*, 146, 278–285.
20. Osés, J., Fuentes, G., Palacio, J., Esparza, J., García, J., & Rodríguez, R. 2018. *Antibacterial Functionalization of PVD Coatings on Ceramics*. *Coatings*, 8(5), 197.
21. Cruz-Pacheco, A., Muñoz-Castiblanco, D., Gómez Cuaspud, J., Paredes-Madrid, L., Parra Vargas, C., Martínez Zambrano, J., & Palacio Gómez, C. 2019. *Coating of Polyetheretherketone Films with Silver Nanoparticles by a Simple Chemical Reduction*

- Method and Their Antibacterial Activity. Coatings*, 9(2), 91.
22. ASTM D638-03. 2003. *Standard Test Method For Plastics*. ASTM International, west conshohocken, PA.
23. El-Hefian, E. A., Nasef, M. M., & Yahaya, A. H. 2011. *Preparation and Characterization of Chitosan/Poly(Vinyl Alcohol) Blended Films: Mechanical, Thermal and Surface Investigations*. *E-Journal of Chemistry*, 8(1), 91–96.
24. Ščetar, M., Siročić, A. P., Hrnjak-Murgić, Z., & Galić, K. 2013. *Preparation and Properties of Low Density Polyethylene Film Modified by Zeolite and Nanoclay*. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52(15), 1611–1620.
25. Choo, K., Ching, Y., Chuah, C., Julai, S., & Liou, N.-S. 2016. *Preparation and Characterization of Polyvinyl Alcohol-Chitosan Composite Films Reinforced with Cellulose Nanofiber*. *Materials*, 9(8), 644.