

SIFAT MEKANIK FILM KITOSAN/PVA DENGAN ZEOLIT TERSUBSTITUSI PERAK SEBAGAI KEMASAN AKTIF

MECHANICAL PROPERTIES OF FILM CHITOSAN/PVA WITH SILVER SUBSTITUTED ZEOLITE AS ACTIVE PACKAGING

Weka Firda Rizki Nurzulla 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, email: dinakartika@unesa.ac.id

Abstrak. Penelitian mengenai penambahan zeolit tersubstitusi perak pada komposit kitosan/PVA telah dilakukan dengan variabel bebas yang dikenakan adalah persentase zeolit tersubstitusi perak (0,025;0,05;0,1; dan 0,2(% w/v)). Pertukaran ion antara zeolit dan perak dilakukan dengan metode impregnasi, ion Ag^+ akan tersubstitusi ke dalam zeolit menggantikan ion Na^+ . Kemudian film kitosan/PVA/Zeolit-Ag yang telah diperoleh, dilakukan karakterisasi untuk mengidentifikasi gugus fungsional menggunakan FTIR dan untuk menganalisis morfologi menggunakan SEM serta diuji sifat mekaniknya menggunakan alat Autograph Microcomputer Control Universal Testing. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa penambahan zeolit/Ag dapat meningkatkan sifat mekanik film kitosan/PVA. Hasil uji kuat tarik yang dilakukan diperoleh bahwa film kitosan/PVA dengan penambahan zeolit/Ag 0,2 (% w/v) memiliki sifat mekanik yang paling baik yaitu nilai kuat tarik 32,733 Mpa, persentase elongasi 42,8%, dan nilai modulus young 0,765 Mpa. Hasil identifikasi gugus fungsional dengan FTIR, menunjukkan terjadi pergeseran pita serapan gugus O-H dan N-H pada film dengan penambahan zeolit/Ag ke pita serapan yang lebih rendah. Karakterisasi morfologi dengan menggunakan SEM menunjukkan hasil bahwa terdapat perbedaan morfologi permukaan antara kitosan/PVA sebelum dan sesudah ditambahkan zeolit tersubstitusi perak, hasil SEM menunjukkan terdapat partikel-partikel kecil berupa bulatan hitam yang merupakan zeolit/Ag.

Kata kunci : Kitosan, Zeolit, Perak, Sifat Mekanik

Abstract. The discussion about adding silver-substituted zeolite on the composite chitosan/PVA has been done with the percentage of silver-substituted zeolite (0,025;0,05;0,1; and 0,2(%w/v)). The ion exchanged between zeolite and silver by immersion method, which is ions Ag^+ will doped on to zeolite replace the ions Na^+ . The Chitosan/PVA films have been obtained are characterized using FTIR and SEM and tested for mechanical properties using Autograph Microcomputer Control Universal Testing. The obtained data indicated that adding zeolite doped with silver increase the mechanical properties of a film. The best mechanical properties showed on addition zeolite/Ag 0,2 (% w/v) with tensile strength 32,733 MPa, elongation at break 42,8%, and modulus young 0,765 Mpa. Functional group identification result by FTIR showed a shift in the O-H and N-H vibration to a lower frequency caused by the addition of zeolite/Ag to the film. Morphological characterization using SEM showed that there are differences on surface morphology between chitosan/PVA before and after the addition of silver-substituted zeolite, Scanning Electron Microscope (SEM) results show there is small particles due to the presence of Zeolit/Ag.

Key words: Chitosan, Zeolite, Silver, Mechanical Properties

PENDAHULUAN

Pengemasan merupakan cara efektif yang banyak dilakukan untuk melindungi produk makanan dari kontaminan eksternal seperti kelembaban, debu, bau dan dapat mencegah perubahan secara kimia, fisik, maupun biologi [1][2]. Kemasan plastik sekarang ini banyak digemari untuk mengemas makanan. Penggunaan yang praktis dengan harga yang relatif murah dan mudah didapatkan menjadi alasan utamanya. Limbah penggunaan bahan kemasan dari plastik yang semakin banyak menjadi permasalahan yang lazim terjadi dan akhirnya menimbulkan pencemaran lingkungan karena sifatnya yang tidak dapat terurai secara biologis [3]. Penelitian mengenai alternatif untuk bahan baku kemasan dari polimer berbasis minyak bumi gencar dilakukan. Beberapa biopolimer seperti polisakarida (pati, selulosa, kitosan, dan alginat) lipida, protein, poli hidroksibutirat (PHB) menjadi pilihan sebagai bahan baku kemasan terbarukan [4]. Selain dapat dipilih sebagai alternatif untuk solusi mengatasi dampak negatif dari penggunaan kemasan plastik, penelitian dan pengembangan kemasan berbasis biopolimer ini juga dapat meningkatkan kualitas bahan pengemasan dan meningkatkan keamanan makanan.

Peningkatan keamanan suatu produk pangan dapat dilakukan dengan mengaplikasikan kemasan aktif (*active packaging*) sebagai alternatif untuk pengemasan. *Active packaging* dalam pengertiannya dapat meningkatkan atau memperpanjang umur simpan suatu produk pangan. Penyimpanan produk pangan menggunakan *active packaging* dinilai jauh lebih baik untuk menjaga kualitas dan keamanan makanan, hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara produk pangan, lingkungan dengan material kemasan [5][6].

Salah satu material yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *active packaging* adalah kitosan. Kitosan merupakan senyawa turunan kitin yang merupakan polisakarida amino. Kitosan dapat diperoleh melalui proses deasetilasi dimana terjadi pengurangan gugus asetil pada kitin. Kitosan telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti kedokteran, pertanian, pangan, lingkungan, dan farmasi [7][8]. Kitosan banyak dikembangkan dalam penelitian pada bidang pangan dan berpotensi digunakan sebagai bahan baku untuk kemasan. Pemilihan ini didasarkan

pada sifat umum polisakarida yang dimiliki kitosan yaitu tidak beracun, memiliki biodegradabilitas yang baik dan bersifat antimikroba [5][7]. Beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa kitosan berpotensi untuk meningkatkan umur simpan produk pangan dan pertanian [6][5].

Kitosan berpotensi untuk dikembangkan menjadi bahan baku pembuatan kemasan, namun kitosan juga memiliki kekurangan yaitu sifat mekaniknya yang kurang baik [9][10]. Penambahan polimer lain banyak dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik kitosan [9][11][12]. Polimer seperti polivinil Alkohol (PVA) banyak dipilih sebagai campuran pada kitosan. Selain berfungsi sebagai *plasticizer*, PVA dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik pada kitosan karena dapat mengimobilisasi kitosan dengan membentuk ikatan pada gugushidrogen kitosan [9][10]. Polivinil Alkohol (PVA) banyak digunakan karena memiliki sifat tidak beracun, stabilitas senyawa yang baik, sifat pembentukan film yang baik, ketahanan tinggi terhadap pertukaran gas, dan memiliki biodegradabilitas yang baik [13][9]. Penggunaan PVA dalam kontak dengan makanan tidak perlu dikhawatirkan akan menimbulkan masalah kesehatan karena pengaplikasiannya sebagai kemasan makanan telah dievaluasi oleh EFSA (2005) [14]. Sama halnya dengan kitosan, pengaplikasian PVA sebagai bahan baku pembuatan kemasan memiliki kelemahan, yaitu sifat permeabilitas airnya yang tinggi. Tingginya sifat permeabilitas air menyebabkan kemasan akan cepat rusak ketika terkena air, sehingga akan mengurangi kualitas mekanik plastik. Penambahan *filler* seperti zeolit sebagai solusi dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas mekanik plastik [15][16].

Zeolit merupakan kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah yang dapat dipertukarkan [17]. Selain sebagai *filler*, zeolit dapat dimanfaatkan sebagai pendukung atau pembawa ion logam seperti perak, seng, dan tembaga yang mana logam ini memiliki sifat sebagai antibakteri dalam pengaplikasiannya menjadi kemasan [18][15]. Zeolit memiliki struktur tetrahedral yang tersusun dalam cincin dan membentuk rongga yang dapat membawa ion Ag^+ yang dapat dilepaskan dengan seirangnya waktu [19]. Pemanfaatan zeolit sebagai agen pembawa ion perak dinilai lebih efisien karena dapat memberikan aktivitas antibakteri jangka

panjang. Zeolit yang memiliki luas permukaan tinggi dan berongga menyebabkan pelepasan perak terjadi secara lambat [20]. Ion Ag^+ akan dilepaskan lebih lambat jika dibandingkan dengan ion Ag^+ yang ditambahkan secara langsung ke dalam polimer dalam proses pencampurannya. Ion Ag^+ yang tidak disubstitusikan terlebih dahulu ke dalam zeolit akan terlepas dengan cepat karena tidak mengalami pertukaran ion dengan zeolit, yang mana proses ini akan menyebabkan ion Ag^+ menempel pada zeolit karena menggantikan ion Na^+ [21].

Antimikroba merupakan suatu zat atau senyawa kimia yang dapat menghambat aktivitas mikroorganisme, menghancurkan atau menekan pertumbuhan metabolisme mikroorganisme [22]. Sifat antimikroba banyak dimanfaatkan pada bidang pangan untuk menjaga keamanan dan kualitas suatu produk. Pemilihan suatu agen antimikroba yang tepat dan tidak berbahaya sangat diutamakan mengingat pengaplikasiannya yang berkaitan dengan kesehatan manusia [23].

Perak merupakan logam yang secara umum pengaplikasiannya banyak disubstitusikan ke dalam struktur zeolit untuk mencapai aktivitas antimikrobanya [15][22]. Ion logam seperti Ag^+ yang disubstitusikan ke dalam zeolit memungkinkan untuk terjadinya pelepasan ion Ag^+ secara perlahan, pelepasan secara perlahan ini mengakibatkan sifat antibakteri pada perak bertahan lebih lama karena mencegah terjadinya oksidasi ion logam Ag^+ yang akan menyebabkan hilangnya sifat antibakteri [24]. Pengaplikasian zeolit tersubstitusi perak menjadi produk kemasan makanan telah dapat diterima secara luas oleh masyarakat [1]. Penambahan silver yang telah disubstitusikan ke dalam zeolit dapat menghambat aktivitas enzim mikroorganisme seperti bakteri dan jamur, sehingga dapat menyebabkan terjadinya peningkatan sifat antibakteri pada kemasan [1]. Beberapa bakteri seperti *Escherichia Coli* (*E-Coli*), *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* mengalami penurunan aktivitas enzim mikroba dan bahkan mati setelah dilakukan kontak dengan perak [15][18][9].

Pengaruh penambahan zeolit tersubstitusi perak pada beberapa komposit seperti CMC/PVA oleh Youssef, dkk [15], dan ke dalam *poly(butylene succinate)* oleh Wattanawong dan Ohng [21], serta penambahan zeolit ke dalam kitosan oleh Garcia, dkk [25] terhadap sifat mekanik sebelumnya telah dipelajari pada

penelitian terdahulu. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan penambahan zeolit/Ag ke dalam *film* kitosan/PVA dengan berbagai persentase untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanik. Karakterisasi yang dilakukan meliputi identifikasi gugus fungsional menggunakan FTIR, analisis morfologi menggunakan SEM serta dilakukan pengujian terhadap sifat mekaniknya menggunakan alat *Autograph Microcomputer Control Universal Testing*.

METODE PENELITIAN

Bahan

Kitosan, Polivinil Alkohol (PVA), zeolit alam Tuban, AgNO_3 0,1 M (LIPI), asam asetat glacial 2% (Merck), dan Aquademineral.

Alat

Peralatan gelas, *ultrasonicator* (Elmasonic S30H; 37 kHz; 280W), *hotplate magnetic stirrer*, oven, neraca analitik, spectrometer FTIR Bruker ALPHA II, *Scanning Electron Microscope* (SEM, Hitachi SU3500), *Autograph Microcomputer Control Universal Testing* (220V; 200 Watt).

Prosedur Penelitian

Preparasi Zeolit Tersubstitusi Perak

Metode yang digunakan agar terjadi proses pertukaran ion adalah dengan metode impregnasi [15]. Serbuk zeolit alam Tuban (5 g) dimasukkan ke dalam 0,1 M AgNO_3 (100 ml) dan diaduk menggunakan *hotplate magnetic stirrer* selama 3 jam. Setelah 3 jam campuran disaring dan dicuci menggunakan aquades, kemudian dioven pada suhu 60°C selama 24 jam. Simpan serbuk zeolit/Ag (Z-Ag) dalam wadah tertutup untuk penggunaan selanjutnya [15].

Preparasi Kitosan/PVA-Zeolit/Ag

Larutan kitosan dibuat dengan melarutkan sebanyak 3 gram kitosan ke dalam 100 mL asam asetat glacial 2% pada suhu 50°C selama 2 jam. Larutan homogen Polivinil Alkohol (PVA) 3% dibuat dengan melarutkan 3 gram serbuk PVA kedalam 100 mL aquademineral pada suhu 70°C

selama 2 jam[15]. Larutan kitosan dan PVA dicampurkan dengan perbandingan 60:40 (v/v). Berdasarkan hasil penelitian yang telah ada, penambahan kitosan yang lebih banyak menunjukkan nilai kuat tarik yang lebih baik jika dibandingkan dengan penambahan PVA yang lebih banyak [12]. Pencampuran larutan kitosan dan larutan PVA dilakukan selama 1 jam dalam suhu ruang. Setelah itu dimasukkan zeolit/Ag (0,025;0,05;0,1; 0,2(%w/v)) ke dalam komposit kitosan/PVA dan diaduk selama 1 jam dalam suhu ruang kemudian dilanjutkan dengan sonikasi selama 1 jam dalam suhu ruang. Kitosan/PVA/zeolit-Ag yang telah homogen dituangkan ke dalam cetakan dan dibiarkan selama 72 jam sampai terbentuk *film*. *Film* komposit yang telah kering dilepas dari cetakan yang selanjutnya akan digunakan untuk karakterisasi dan pengujian [15].

Karakterisasi

Identifikasi Gugus Fungsional dengan FTIR

Struktur kimia dari sampel *film* yang telah berhasil diperoleh diidentifikasi dengan metode *Attenuated Total Reflektion* (ATR) menggunakan FT-IR spectrometer Bruker Alpha II. Setiap sampel *film* diukur pada panjang gelombang 4000-600 cm^{-1} .

Analisis Morfologi dengan SEM

Scanning Electron Microscope (SEM, Hitachi SU3500) digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan *film* yang telah diperoleh. Mesin dioperasikan pada *acceleration voltage* 2 kv pada jarak kerja 5,5 – 8,5 mm dengan perbesaran 100x.

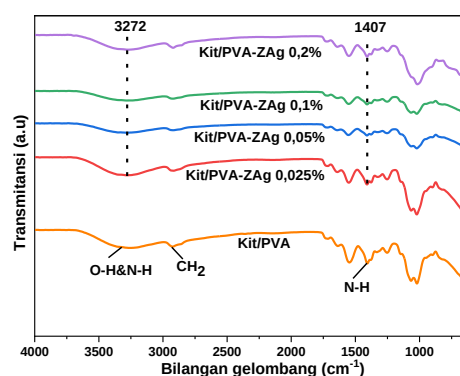
Pengujian Sifat Mekanik

Pengaruh penambahan zeolit tersubstitusi perak terhadap sifat mekanik *film*, diuji sesuai standar ASTM D882-02 menggunakan alat *Autograph Microcomputer Control Universal Testing* dengan pengoperasian pada kecepatan 5 mm/menit pada setiap sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Gugus Fungsional dengan FTIR

Hasil identifikasi gugus fungsional menggunakan FTIR pada kitosan/PVA (Gambar 1) menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang 2919-2874 cm^{-1} yang merupakan CH_2 [12] dan pada 3292 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur O-H dan N-H [26]. Pita serapan pada bilangan gelombang 1415 cm^{-1} menunjukkan gugus N-H dari kitosan/PVA [12]. Penambahan zeolit/Ag pada *film* kitosan/PVA mengakibatkan terjadi pergeseran pada beberapa spektrum FTIR. Adanya ion Ag^+ pada zeolit menyebabkan bergesernya pita serapan pada bilangan gelombang. Pita serapan bergeser dari 3292 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur O-H dan N-H menjadi 3272 cm^{-1} , hal ini diakibatkan karena terdapatnya ion Ag^+ pada permukaan zeolit yang menyebabkan terbentuknya kelat antara ion Ag^+ dengan gugus hidroksil dan amino dari kitosan [24].

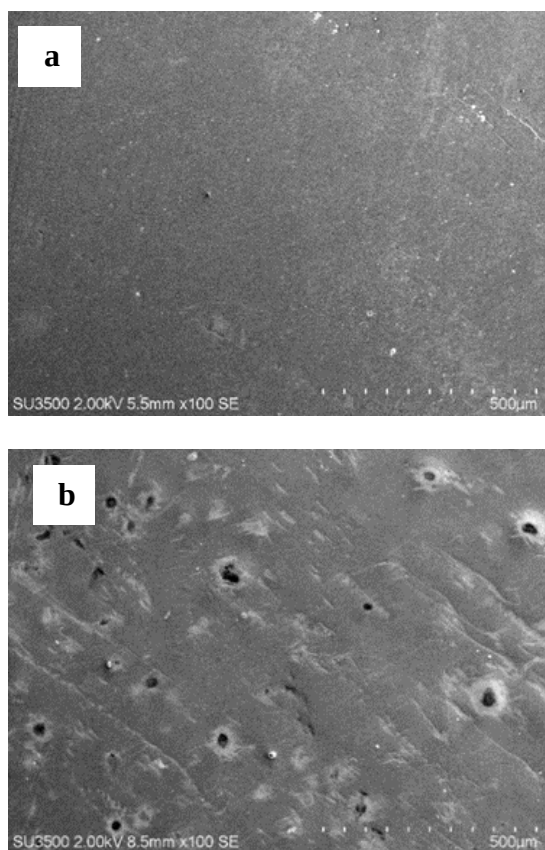


Gambar 1. Hasil Spektrum FTIR

Penambahan partikel zeolit mengakibatkan terjadinya beberapa perubahan pada spektrum FTIR, hal ini mungkin disebabkan karena adanya ikatan hidrogen antara gugus O-H pada zeolit dengan gugus O-H dan N-H pada kitosan [19]. Zeolit yang memiliki permukaan bermuatan negatif karena berstruktur aluminosilikat menyebabkan terjadinya interaksi elektrostatis dengan kitosan sehingga terjadi pergeseran vibrasi N-H dari bilangan gelombang 1415 cm^{-1} menjadi 1407 cm^{-1} [24].

Analisis Morfologi dengan SEM

Morfologi permukaan *film* kitosan/PVA-zeolit/Ag telah dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Gambar 2). Berdasarkan gambar tersebut dapat diamati bahwa *film* kitosan/PVA terlihat lebih halus dan homogen jika dibandingkan dengan *film* kitosan/PVA yang telah ditambahkan dengan zeolit tersubstitusi perak. Morfologi permukaan kitosan/PVA mengalami perubahan karena adanya pencampuran dengan zeolit tersubstitusi perak. Permukaan *film* kitosan/PVA dengan penambahan zeolit/Ag memiliki tekstur yang lebih kasar karena adanya partikel-partikel kecil berupa bulatan hitam yang muncul yang merupakan zeolit/Ag.



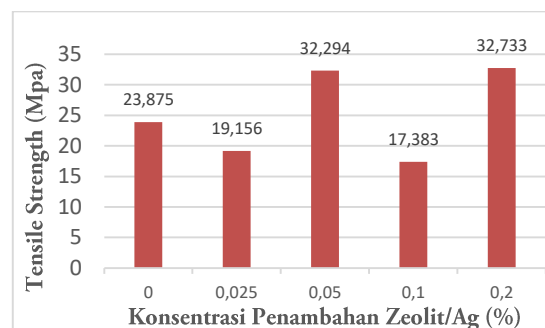
Gambar 2. Hasil SEM dari a) *film* kitosan/PVA, b) *film* kitosan/PVA-Zeolit/Ag

Pengujian Sifat Mekanik

Sifat mekanik merupakan salah satu parameter untuk menentukan kualitas suatu *film*. Sifat mekanik meliputi kekuatan tarik (*tensile strength*), kekakuan (*stiffness/Modulus Young*), dan keuletan (*elongasi*). Berdasarkan hasil

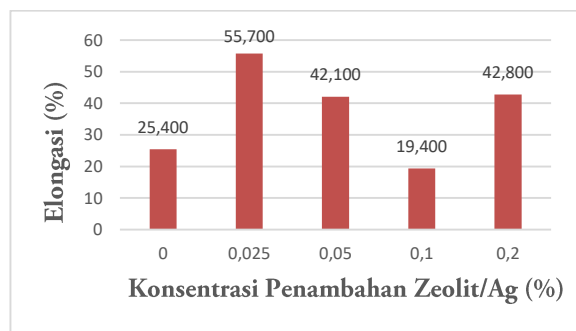
penelitian yang telah dilakukan, pada gambar 3 menunjukkan besar nilai kuat tarik *film* yang dihasilkan. Perubahan nilai kuat tarik ditunjukkan pada penambahan zeolit/Ag (0,025; 0,05; 0,1; dan 0,2 (%w/v)) pada komposit kitosan/PVA.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terjadi peningkatan nilai kuat tarik pada persentase penambahan zeolit/Ag 0,05 dan 0,2 (% w/v). Nilai kuat tarik meningkat dari 23,875 Mpa untuk komposit kitosan/PVA secara berurutan menjadi 32,294 Mpa (0,05 %w/v) dan 32,733 Mpa (0,2 % w/v) setelah dilakukan penambahan zeolit/Ag dengan nilai kuat tarik tertinggi ditunjukkan pada penambahan 0,2 %w/v (32,733 MPa). Hal ini disebabkan karena adanya penambahan zeolit yang berfungsi sebagai *filler*, *filler* dapat digunakan sebagai peningkat sifat mekanik suatu *film* [15][27]. Semakin banyaknya *filler* yang ditambahkan menyebabkan nilai kuat tarik semakin besar, dikarenakan adanya peningkatan interaksi gaya tarik-menarik antar molekul penyusun [25]. Penambahan zeolit/Ag dengan konsentrasi 0,025 dan 0,1 (%w/v) justru menunjukkan hasil nilai kuat tarik yang lebih rendah, hal ini dikarenakan adanya interaksi yang buruk antara zeolit/Ag dengan matriks kitosan/PVA [21].



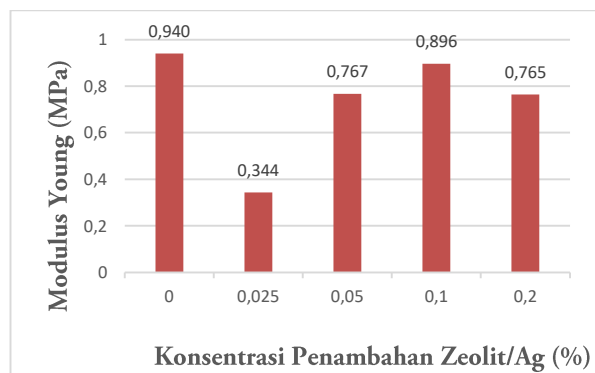
Gambar 3. Hasil Nilai kuat tarik

Penambahan zeolit/Ag sebagai *filler* pada komposit kitosan/PVA juga dapat meningkatkan persentase elongasi (Gambar 4). Hal ini dikarenakan adanya penyebaran *filler* yang baik di dalam matriks sehingga terjadi penyebaran tegangan yang merata dan seragam, akibatnya pusat tumpuan tegangan pada *film* akan berkurang sehingga *film* tidak mudah putus [9][15].



Gambar 4. Hasil Persentase Elongasi.

Berdasarkan hasil penelitian dapat juga diketahui besarnya nilai modulus young suatu *film* (Gambar 5). Modulus young merupakan perbandingan antara nilai kuat tarik terhadap persen perpanjangan (elongasi) [27]. Suatu nilai modulus young ditentukan untuk mengetahui ukuran kekakuan suatu *film* [28]. Hasil penelitian menunjukkan nilai modulus young tertinggi adalah sebesar 0,896 Mpa pada *film* dengan persentase penambahan zeolit/Ag sebanyak 0,1 (%w/v).



Gambar 5. Hasil Nilai Modulus Young

Sifat mekanik *film* kitosan/PVA/zeolit-Ag yang telah diperoleh dapat diamati pada tabel 1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa penambahan zeolit/Ag ke dalam komposit kitosan/PVA menunjukkan hasil sifat mekanik yang lebih baik jika dibandingkan dengan penambahan zeolit/Ag ke dalam *poly(butylene succinate)* (PBS), yang dijelaskan dalam penelitian Wattanawong dan Ohng bahwa penambahan zeolit/Ag yang semakin banyak akan menyebabkan nilai kuat tarik dan persentase elongasi menurun [21]. Selain itu penambahan zeolit tersubstitusi perak ke dalam kitosan/PVA

juga menunjukkan hasil sifat mekanik yang lebih baik jika dibandingkan dengan penambahan zeolit ke dalam kitosan, yang dalam penelitian Garcia, dkk dijelaskan bahwa penambahan zeolit ke dalam kitosan akan menyebabkan terjadinya penurunan nilai kuat tarik dan persentase elongasi pada *film* kitosan [25]. Hal berbeda ditunjukkan oleh hasil penelitian jika dibandingkan dengan penambahan zeolit/Ag ke dalam polimer CMC/PVA. Penambahan zeolit/Ag ke dalam kitosan/PVA memiliki sifat mekanik yang lebih rendah jika dibandingkan dengan penambahan zeolit/Ag ke dalam polimer CMC/PVA yang telah dijelaskan dalam penelitian Youssef, dkk [15].

Tabel 1. Sifat Mekanik *Film* kitosan/PVA/Z-Ag

Sampel	Z-Ag (%)	Kuat tarik (Mpa)	Elongasi (%)	Modulus Young (Mpa)
Kit/PVA	0,000	23,875	25,400	0,940
Kit/PVA	0,025	19,156	55,700	0,344
Kit/PVA	0,050	32,294	42,100	0,767
Kit/PVA	0,100	17,383	19,400	0,896
Kit/PVA	0,200	32,733	42,800	0,765

KESIMPULAN

Penambahan zeolit tersubstitusi perak pada komposit kitosan/PVA dapat meningkatkan sifat mekanik *film* yang dihasilkan. Sifat mekanik terbaik *film* kitosan/PVA/Z-Ag ditunjukkan pada penambahan zeolit/Ag 0,2 (% w/v) dengan nilai kuat tarik 32,733 Mpa, persentase elongasi 42,8%, dan modulus young 0,765 Mpa. Hasil identifikasi gugus fungsional dengan FTIR menunjukkan penambahan zeolit/Ag ke dalam *film* kitosan/PVA menyebabkan terjadinya pergeseran vibrasi O-H dan N-H menuju bilangan gelombang yang lebih kecil. Pergeseran gelombang terjadi dari bilangan gelombang 3292 cm^{-1} menuju ke bilangan gelombang 3272 cm^{-1} . Hal ini disebabkan karena adanya ikatan hidrogen antara gugus O-H pada zeolit dengan gugus pada kitosan (O-H dan N-H). Hasil analisis morfologi menggunakan SEM menunjukkan bahwa penambahan zeolit/Ag juga mempengaruhi morfologi permukaan *film*, permukaan *film* kitosan/PVA/Z-Ag akan menjadi lebih kasar karena adanya partikel-partikel kecil yang merupakan zeolite/Ag. Berdasarkan hasil

yang telah diperoleh dari penelitian *film* kitosan/PVA dengan zeolit tersubstitusi perak dapat diasumsikan bahwa *film* tersebut berpotensi atau dapat dimanfaatkan sebagai kemasan aktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada laboratorium Instrumen Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur untuk karakterisasi menggunakan SEM, laboratorium Fisika Material Universitas Airlangga untuk pengujian sifat mekanik, dan laboratorium fakultas farmasi Universitas Airlangga untuk karakterisasi menggunakan FTIR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.-Y. Sung, Sin Lee-Tin, Tee, Tiam-Ting, Bee, Soo-Tueen, Rahmat, A-R, Rahman, W.A.W.A, Tan, Ann-Chen, Vikhrman, M. 2013. "Antimicrobial agents for food packaging applications", *Trends Food Sci. Technol.*, 33, 110–123, doi: 10.1016/j.tifs.2013.08.001.
- [2] A. Mousavi Khaneghah, S. M. B. Hashemi, dan S. Limbo. 2018. "Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions," *Food Bioprod. Process.*, 111, 1–19, doi: 10.1016/j.fbp.2018.05.001.
- [3] V. K. Pandey, S. N. Upadhyay, K. Niranjana, dan P. K. Mishra. 2020. "Antimicrobial biodegradable chitosan-based composite Nano-layers for food packaging," *Int. J. Biol. Macromol.*, 157, 212–219, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.149.
- [4] A. M. Youssef dan Samah. M. El-Sayed. 2018. "Bionanocomposites materials for food packaging applications: Concepts and future outlook," *Carbohydr. Polym.*, 193, 19–27, doi: 10.1016/j.carbpol.2018.03.088.
- [5] P. Kaewklin, U. Siripatrawan, A. Suwanagul, dan Y. S. Le. 2018. "Active packaging from chitosan-titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit," *Int. J. Biol. Macromol.*, 112, 523–529, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.124.
- [6] S. Agustina, E. Y. Wardhono, dan A. A. Alfiansyah. 2019. "Sintesis Nanopartikel Kitosan Melalui Teknik Emulsifikasi Simultan Dan Self-Assembly Nanoparticles Sebagai Material Kemasan Aktif", 8, 6.
- [7] A. Abraham, P. A. Soloman, dan V. O. Rejini. 2016. "Preparation of Chitosan-Polyvinyl Alcohol Blends and Studies on Thermal and Mechanical Properties," *Procedia Technol.*, 24, 741–748, doi: 10.1016/j.protcy.2016.05.206.
- [8] H. Wang, J. Qian, dan F. Ding. 2018. "Emerging Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications," *J. Agric. Food Chem.*, 66, 395–413, doi: 10.1021/acs.jafc.7b04528.
- [9] N. A. Al-Tayyar, A. M. Youssef, dan R. R. Al-Hindi. 2020. "Antimicrobial packaging efficiency of ZnO-SiO₂ nanocomposites infused into PVA/CS film for enhancing the shelf life of food products," *Food Packag. Shelf Life*, 25, 100523, doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100523.
- [10] Y. Liu, S. Wang, dan W. Lan. 2018. "Fabrication of antibacterial chitosan-PVA blended film using electrospray technique for food packaging applications," *Int. J. Biol. Macromol.*, 107, 848–854, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.09.044.
- [11] X. Jiang, Y. Zhao, dan L. Hou. 2016. "The effect of glycerol on properties of chitosan/poly(vinyl alcohol) films with AlCl₃·6H₂O aqueous solution as the solvent for chitosan," *Carbohydr. Polym.*, 135, 191–198, doi: 10.1016/j.carbpol.2015.08.094.
- [12] W. Pudjiastuti dan A. Listyarini. 2016. "Sifat Mekanik Dan Sifat Barrier Campuran Polivinil Alkohol Dan Kitosan," 17, 5.
- [13] M. Azizi-Lalabadi, A. Ehsani, B. Ghanbarzadeh, dan B. Divband. 2020. "Polyvinyl alcohol/gelatin nanocomposite containing ZnO, TiO₂ or ZnO/TiO₂ nanoparticles doped on 4A zeolite: Microbial and sensory qualities of packaged white shrimp during refrigeration," *Int. J. Food Microbiol.*, 312, 108375, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108375.
- [14] A. M. Youssef, Assem Fayza M., Abdel-Aziz, M., Elaaser, Mostafa., Ibrahim, Osama A.M., Mahmoud, Mona dan Abd El-Salam, M. 2019. "Development of bionanocomposite materials and its use in coating of Ras cheese," *Food Chem.*, 270,

- 467–475, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.114.
- [15] H. F. Youssef, M. E. El-Naggar, F. K. Fouda, dan A. M. Youssef. 2019. “Antimicrobial packaging film based on biodegradable CMC/PVA-zeolite doped with noble metal cations,” *Food Packag. Shelf Life*, . 22, 100378, doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100378.
- [16] T. Siregar. 2014. “Penggunaan Zeolit Alam Sentani Sebagai Pengisi Bahan Komposit Polietilen,” 10, 10.
- [17] W. S. Atikah, “Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil,” 32, (1), 8.
- [18] S. A. M. Hanim, N. A. N. N. Malek, dan Z. Ibrahim. 2016. “Amine-functionalized, silver-exchanged zeolite NaY: Preparation, characterization and antibacterial activity,” *Appl. Surf. Sci.*, 360, 121–130, doi: 10.1016/j.apsusc.2015.11.010.
- [19] Hissae Yassue-Cordeiro, Zandonai, Pereira Genesi, Santos, Lopes., Sanchez Lopez. 2019. “Development of Chitosan/Silver Sulfadiazine/Zelolite Composite Films for Wound Dressing,” *Pharmaceutics*, 11, 10, 535, doi: 10.3390/pharmaceutics11100535.
- [20] L. Tosheva, S. Belkhair, M. Gackowski, S. Malic, N. Al-Shanti, dan J. Verran. 2017. “Rapid screening of the antimicrobial efficacy of Ag zeolites,” *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 157, 254–260, doi: 10.1016/j.colsurfb.2017.06.001.
- [21] N. Wattanawong dan D. Aht-Ong. 2021. “Antibacterial activity, thermal behavior, mechanical properties and biodegradability of silver zeolite/poly(butylene succinate) composite films,” *Polym. Degrad. Stab.*, 183, 109459, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2020.109459.
- [22] H. F. Youssef, M. S. Abdel-Aziz, dan F. K. Fouda. 2017. “Evaluation of antimicrobial activity of different silver-exchanged nano and micronized zeolites prepared by microwave technique,” *J. Porous Mater.*, 24, (4), 947–957, doi: 10.1007/s10934-016-0334-5.
- [23] G. Nakazato, R. K. T. Kobayashi, A. B. Seabra, dan N. Duran. 2017. “Use of nanoparticles as a potential antimicrobial for food packaging,” dalam *Food Preservation*, Elsevier, 413–447. doi: 10.1016/B978-0-12-804303-5.00012-2.
- [24] K. L. M. Taaca. 2017. “Fabrication of Ag-exchanged zeolite/chitosan composites and effect of plasma treatment,” hlm. 31, doi: 10.1016/j.micromeso.2017.01.002
- [25] M. A. García, M. Rodríguez, C. Castro, dan N. de la Paz. 2020. “Water Vapor Permeability of Chitosan/Zelolite Composite Films as Affected by Biopolymer and Zelolite Microparticle Concentrations,” *J. Packag. Technol. Res.*, 4 (2), 157–169, doi: 10.1007/s41783-020-00092-y.
- [26] K. L. M. Taaca, H. Nakajima, K. Thumanu, P. Janphuang, N. Chanlek, dan M. R. Vasquez. 2020. “Spectroscopic studies of plasma-modified silver-exchanged zeolite and chitosan composites,” *Mater. Chem. Phys.*, 250, 122980, doi: 10.1016/j.matchemphys.2020.122980.
- [27] A. Rifaldi, I. Hs, dan Bahrudin. 2017. “Sifat dan Morfologi Bioplastik Berbasis Pati Sagu Dengan Penambahan Filler Clay Dan Plasticizer Gliserol,” 4, 1–7.
- [28] D. Arini, M. S. Ulum, dan K. Kasman. 2017. “Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Biji Durian,” *Nat. Sci. J. Sci. Technol.*, 6 (3), doi: 10.22487/25411969.2017.v6.i3.9202.