

PENGARUH PENAMBAHAN AGEN ANTIBAKTERI TiO₂ DAN ZnO PADA FILM KOMPOSIT SELULOSA/POLI(VINIL ALKOHOL)

Jihan Puspita Sari¹, Muhamad Abdulkadir Martoprawiro^{1,2}, I Putu Mahendra^{1*}

¹ Program Studi Kimia, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365, Indonesia;

² Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

*Corresponding author: i.mahendra@ki.itera.ac.id

ABSTRAK: Polimer alam merupakan salah satu keanekaragaman hayati yang melimpah di Indonesia. Selulosa adalah salah satu polimer alam yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan medis, pembedahan, dan perawatan kesehatan. Modifikasi selulosa dengan menggunakan bahan organik-anorganik untuk meningkatkan sifat antibakteri material sangat perlu untuk dilakukan. Agen antibakteri berupa oksida logam semikonduktor banyak digunakan. Material oksida logam seperti TiO₂ dan ZnO digunakan sebagai agen antibakteri karena ekonomis, aman, tidak beracun, stabil, dan mampu menyerap sinar ultraviolet (UV). Pada penelitian ini beberapa komposit akan disiapkan, yaitu selulosa/PVA, selulosa/PVA/TiO₂ 1%, selulosa/PVA/TiO₂/ZnO 1%, dan selulosa/PVA/ZnO 1%. Karakteristik komposit dianalisis dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Aktivitas antibakteri komposit juga ditentukan dengan menghitung angka lempeng total (ALT). Senyawa oksida logam yang berperan sebagai agen antibakteri, mampu menghambat laju pertumbuhan bakteri. Hampir keseluruhan sampel film komposit memiliki efek penghambatan yang lebih baik terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) daripada *Escherichia coli* (*E. coli*).

Kata kunci: Aktivitas antibakteri; komposit selulosa/poli(vinil alkohol); TiO₂; ZnO

ABSTRACT: Natural polymers are one of the abundant biodiversity in Indonesia. Cellulose is one of the natural polymers that can be applied for medical, surgical, and health care purposes. Modification of cellulose using organic-inorganic materials to enhance the antibacterial properties of material is very necessary. The antibacterial agents in the form of semiconductor metal oxides have been widely used. The metal oxide materials such as TiO₂ and ZnO have been utilized as antibacterial agents due to economic, safe, non-toxic, stable, and able to absorb ultraviolet (UV) light. In this study, several composites would be prepared, e.g., cellulose/PVA, cellulose/PVA/TiO₂ 1%, cellulose/PVA/TiO₂/ZnO 1%, and cellulose/PVA/ZnO 1%. Thus, the utilization of cellulose-based natural polymers can be increased and expanded, especially in the medical or health fields. The characteristic of composites was determined using Scanning Electron Microscope (SEM), and X-Ray Diffraction (XRD). The antibacterial activity of composite would be determined using total plate count (TPC). Metal oxide compounds as antibacterial agents were able to inhibit the growth rate of bacteria. Almost all composite films have a greater inhibitory effect on *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) than *Escherichia coli* (*E. coli*).

Keywords: Antibacterial activity; cellulose/poly(vinyl alcohol) composite; TiO₂; ZnO

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan suatu negara kepulauan dengan keanekaragaman hayati yang melimpah. Kekayaan alam tersebut dapat memberikan berbagai manfaat untuk menunjang kehidupan manusia [1]. Polimer alam berupa selulosa adalah salah satu keanekaragaman hayati yang dapat diaplikasikan sebagai bahan fungsional [2], seperti produk pakaian, makanan, kertas, farmasi, aspek medis, pembedahan, dan perawatan kesehatan [3, 4]. Selulosa merupakan senyawa terbarukan dan melimpah yang dapat ditemukan pada berbagai macam tumbuhan, alga, dan beberapa bakteri [2, 5, 6]. Oleh karena itu, selulosa dapat diterapkan menjadi bahan yang ramah lingkungan, terbarukan, dan berkelanjutan untuk menghasilkan berbagai produk bernilai tinggi dengan dampak lingkungan yang rendah [2, 6]. Selulosa diperkirakan dapat berperan positif dalam kemajuan di bidang medis serta aplikasi optik dengan sifat material yang menarik, seperti ciri fisik transparan, biodegradabel, ramah lingkungan, ekonomis, biokompatibel, dan tidak beracun [3, 7-9].

Penggunaan bahan polimer komposit organik-anorganik banyak digunakan dalam pengembangan bahan dan material baru [10]. Sensitifitas selulosa terhadap bakteri dikarenakan tipikal strukturnya yang berpori, mampu menjaga kandungan air, dan menjadikannya tempat yang sempurna untuk pertumbuhan bakteri [3]. Material oksida logam TiO_2 dan ZnO sangat cocok digunakan sebagai agen antibakteri karena ekonomis, dengan sifat kekuatan mekanik yang baik, stabil terhadap panas, menyerap sinar ultraviolet (UV), memiliki efek fotokatalitik dan luas permukaan yang tinggi. Selain itu, kedua material tersebut telah diakui oleh banyak negara sebagai bahan fungsional yang aman dan tidak beracun [9, 11, 12].

Pada penelitian ini, modifikasi film komposit digunakan variasi TiO_2 dan atau ZnO dengan komposisi 1% b/b terhadap selulosa. Oksida logam TiO_2 diharapkan dapat menghambat aktivitas bakteri,

dengan penambahan ZnO untuk memperkuat aktivitas fotokatalitik pada film komposit berbasis selulosa ini.

2. PERCOBAAN

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu selulosa (Avicel ph 101), polivinil alkohol (PVA), air deionisasi (H_2O), titanium dioksida (TiO_2) (HiMedia), seng oksida (ZnO), media *Nutrient Broth* (NB), media *Plate Count Agar* (PCA), bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*), dan bakteri *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*).

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu gelas kimia (Iwaki), gelas ukur (Pyrex), spatula, batang pengaduk, kaca arloji, neraca analitik (Ohaus AX224), *heating magnetic stirrer* (Velp Scientifica), *magnetic stirrer*, botol semprot, pipet tetes, akrilik, oven (Memmert 30-1060), pipet ukur, cawan petri, kawat ose, tabung reaksi, bunsen, *vortex*, dan inkubator.

2.2 Pembuatan Film Komposit

Metode pembuatan film mengacu pada Azizi-Lalabadi *et al.* [11], dengan beberapa modifikasi. Awalnya, serbuk PVA 0,5 g dilarutkan dengan air deionisasi pada suhu $100^\circ C$ menggunakan *magnetic stirrer*. substrat selulosa 3 g ditambahkan ke dalam larutan PVA, lalu diaduk dengan *magnetic stirrer*. Kemudian, diperoleh suspensi selulosa/PVA yang akan dikompositkan dengan senyawa anorganik berupa oksida logam (TiO_2 , ZnO , atau TiO_2/ZnO) dengan variasi komposisi masing-masing 1% b/b. Hasil suspensi komposit dituang ke akrilik, kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu $45^\circ C$. Film komposit yang sudah kering disimpan dalam wadah tertutup dan dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya.

2.3 Karakterisasi Sampel

X-ray Diffractometer (XRD)

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui fase struktur kristal serta kemurnian sampel. Pengujian kristalinitas

Tabel 1. Formulasi Film Komposit

Kode Sampel	Nama Sampel	TiO ₂ (% b/b)	ZnO (% b/b)
A	Selulosa/PVA	-	-
B	Selulosa/PVA/TiO ₂ 1%	1	-
C	Selulosa/PVA/TiO ₂ /ZnO 1%	0,5	0,5
D	Selulosa/PVA/ZnO 1%	-	1

dilakukan dengan cara membandingkan jarak pada bidang kristal dan intensitas puncak difraksi dengan data standar yang ada. Metode yang digunakan mengacu pada Acharya *et al.* [13] dengan beberapa modifikasi. Data diperoleh dengan menggunakan difraktometer sinar-X melalui sumber radiasi Cu-K α ($\lambda = 1.5406$ nm) dengan tegangan generator sebesar 40 kV, kecepatan pindai 1 $^\circ$ /menit, serta sudut 2 θ awal dan akhir dari 10 $^\circ$ -70 $^\circ$.

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Morfologi permukaan sampel serbuk selulosa, TiO₂, ZnO, dan film komposit diamati dengan menggunakan alat SEM. Pada mulanya, sampel dilapisi (*coating*) dengan emas, lalu sampel dimasukkan ke dalam *specimen chamber*. Selanjutnya, sampel disinari dengan pancaran elektron, sehingga sampel mengeluarkan elektron sekunder yang dapat dideteksi oleh detektor yang diperkuat dengan suatu rangkaian listrik. Kemudian, sampel dipindai dengan perbesaran tertentu untuk memahami morfologi sampel.

2.4 Metode Angka Lempeng Total (ALT)

Uji aktivitas antibakteri mengacu pada metode Chiaoprakobkij *et al.* [14], dengan beberapa modifikasi. Sampel film komposit dipotong dengan ukuran yang seragam. Semua sampel film masing-masing diletakkan di atas media agar NB, kemudian permukaan film komposit ditetesi suspensi bakteri *E. coli* dan *S. aureus*, lalu diinkubasi (24 jam). Setelah selesai inkubasi, selanjutnya sampel film masing-masing diinkubasi pada pelarut 1/500 media NB, dihomogenkan

menggunakan *vortex*, dan dilakukan pengenceran berseri (10⁻³). Kemudian, sebanyak 1 mL larutan hasil pengenceran 10⁻³ diambil dan ditebar pada media agar PCA. Media agar dituang secara aseptis ke dalam cawan petri yang berisi suspensi film komposit, kemudian diinkubasi (24 jam). Setelah inkubasi selesai, jumlah koloni bakteri pada setiap cawan petri dihitung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Variasi Film Komposit

Modifikasi selulosa dilakukan sebagai pemanfaatan polimer alam yang melimpah untuk kebutuhan bidang medis atau kesehatan. Film komposit selulosa dipreparasi dengan menggunakan PVA. Penambahan PVA untuk meningkatkan elastisitas dan membantu proses pelarutan selulosa. Sifat PVA mudah larut dalam air dan mampu mensintesis komposit dengan bahan yang ringan serta fleksibel. Oleh karena itu, PVA banyak dipilih untuk aplikasi dalam teknologi polimer, farmasi, dan biomedis [10]. Suspensi selulosa/PVA dikeringkan pada suhu 45 $^\circ$ C di dalam oven untuk memperoleh lapisan film komposit yang utuh. Selain itu, dilakukan penambahan agen antibakteri berupa senyawa oksida logam, yaitu TiO₂ dan ZnO. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dengan penambahan variasi massa oksida logam TiO₂ dan ZnO terhadap selulosa (Tabel 1), diharapkan mampu mencegah pertumbuhan bakteri patogen pada komposit [12].

Pengeringan dapat dianggap selesai ketika larutan pada wadah cetakan sudah berubah menjadi film tipis dan dapat dikelupas (Gambar 1). Pengamatan pada variasi film komposit dilakukan, dan data

yang diperoleh tertera pada Tabel 2. Selanjutnya, film komposit yang diperoleh dengan berbagai formulasi tersebut, masing-masing akan diuji karakteristik dan aktivitas antibakterinya.

Tabel 2. Pengamatan pada Variasi Film Komposit 1% (b/b)

Formulasi Film Komposit (1% b/b)	Pengamatan
Selulosa/PVA; Selulosa/PVA/TiO ₂ ; Selulosa/PVA/TiO ₂ / ZnO; dan Selulosa/PVA/ZnO	Warna: putih Bentuk: film tipis Tekstur: permukaan kasar



Gambar 1. Film komposit setelah pengeringan

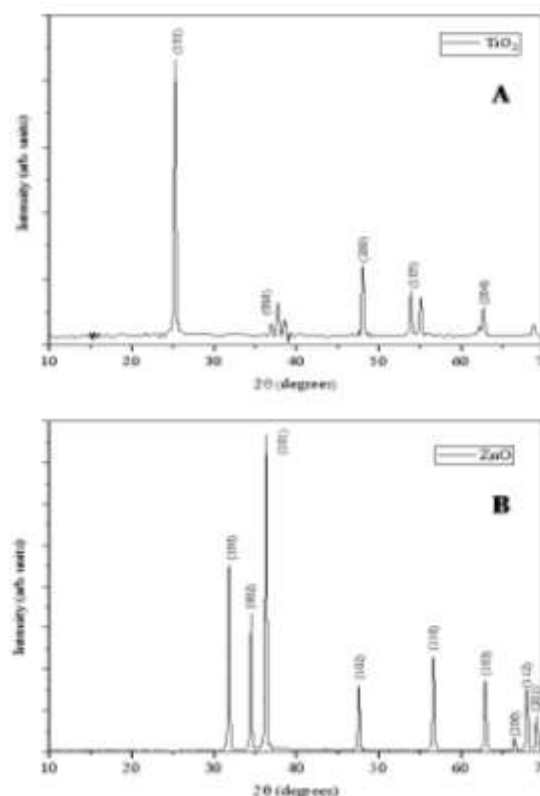
3.2 Karakterisasi Sampel

X-ray Diffractometer (XRD)

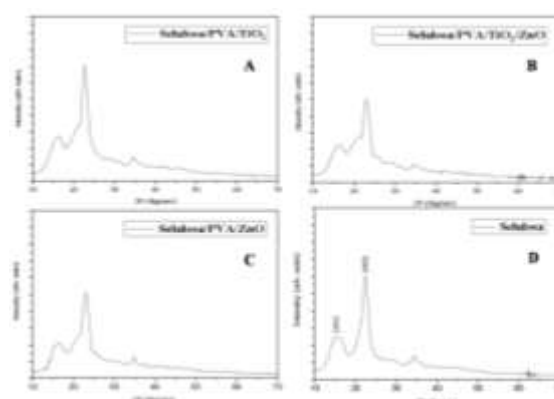
Pola XRD (Gambar 2A) yang menunjukkan fase anatase dari senyawa TiO₂ berada pada puncak 25°, 38°, 48°, 54° dan 62° [15, 16]. Senyawa ZnO (Gambar 2B) ditunjukkan oleh puncak pada posisi 32°, 34°, 36°, 47°, 56°, 63°, 66°, 68° dan 69°, yang mana menandakan fase kristal wurtzite [17].

Hasil XRD menunjukkan pengaruh dari pencampuran senyawa berupa oksida logam pada film komposit. Difraktogram dari film komposit selulosa/PVA/TiO₂, selulosa/PVA/TiO₂/ZnO, serta selulosa/PVA/ZnO masing-masing sampel tersebut ditunjukkan pada Gambar 3. Pola XRD dari selulosa pada intensitas maksimum (002) yang ditunjukkan antara 22° dan 24° (Gambar 3D) dengan intensitas minimumnya (101) pada 18° [18]. Puncak

yang terlihat melebar pada pola difraktogram (Gambar 3A, B, dan C) tersebut menandakan adanya kandungan kristal oksida logam yang terkompisitkan dengan selulosa dalam film komposit.



Gambar 2. Pola XRD serbuk TiO₂ (A) dan ZnO (B)



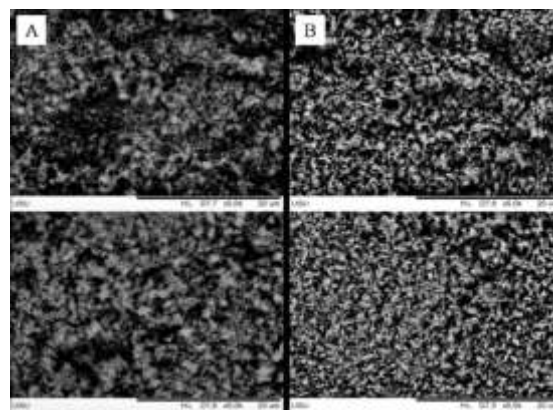
Gambar 3. Hasil XRD pada film komposit selulosa/PVA/TiO₂ 1% (A), selulosa/PVA/TiO₂/ZnO 1% (B), selulosa/PVA/ZnO 1% (C), dan selulosa murni (D)

Scanning Electron Microscopy (SEM)

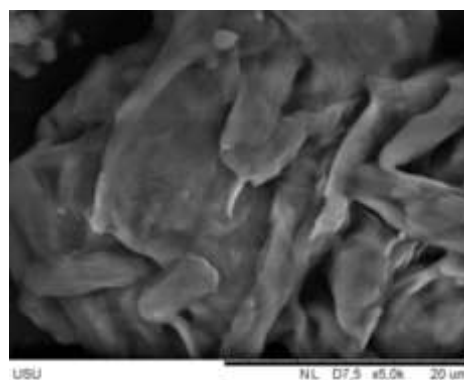
Morfologi permukaan dari sampel serbuk material dan film komposit ditampilkan dengan menggunakan SEM. Penampakan hasil karakterisasi SEM pada serbuk TiO_2 (Gambar 4A) dan ZnO (Gambar 4B), menunjukkan bentuk bintik atau bercak. Jika dilakukan perbesaran lebih lanjut maka morfologi akan terlihat agregat dengan bentuk menyerupai *spherical*, yang mana partikel menyerupai bola [12, 17]. Hasil analisis SEM pada serbuk TiO_2 (Gambar 4A) terlihat bintik atau bercak yang lebih halus dan kecil daripada serbuk ZnO (Gambar 4B). Partikel TiO_2 dan ZnO berukuran < 200 nm nampak terbentuk agregat. Adanya pengumpulan atau agregasi merupakan penyatuan yang diakibatkan pengaruh interaksi antar partikel, membentuk bulat (*spherical*) dalam suatu tempat.

Serbuk selulosa yang digunakan dalam pembuatan film juga dikarakterisasi dengan SEM. Hasilnya, menunjukkan bahwa partikel selulosa (Avicel pH 101) berukuran $> 10 \mu\text{m}$ (Gambar 5). Selulosa berukuran lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran dari oksida logam TiO_2 maupun ZnO . Citra hasil SEM dari selulosa berbentuk tidak beraturan, tekstur permukaan tidak rata dan tepian yang tumpul. Permukaan kasar dari film komposit yang diperoleh, menampakkan agregat (Gambar 5). Hasil analisis SEM pada sampel film komposit selulosa. Hasil analisis SEM pada sampel film komposit selulosa/PVA/ TiO_2 , yang mana partikel TiO_2 (Gambar 6A) tampak sangat halus dengan ukurannya yang lebih kecil daripada ZnO dalam film komposit selulosa/PVA/ ZnO (Gambar 6C). Citra SEM yang membentuk rongga-rongga (berukuran $> 6 \mu\text{m}$) pada semua variasi film komposit (Gambar 6A, B, dan C), menunjukkan bahwa bahan yang terkandung secara keseluruhan tidak tercampur homogen (suspensi). Sejumlah besar bercak-bercak yang terlihat pada citra SEM menandakan adanya oksida logam pada film komposit yang diuji (Gambar 6).

Citra SEM film komposit selulosa/PVA/ TiO_2 / ZnO (Gambar 6B) terdapat bercak putih halus dan tebal yang cukup jelas. Gambar 6B menyerupai citra SEM pada variasi film komposit selulosa/PVA/ ZnO (Gambar 6C). Citra SEM pada variasi film komposit selulosa/PVA/ TiO_2 (Gambar 6A) lebih terlihat halus dan samar, perlu pengamatan dengan perbesaran yang lebih tinggi untuk melihat morfologi oksida logam secara lebih jelas.



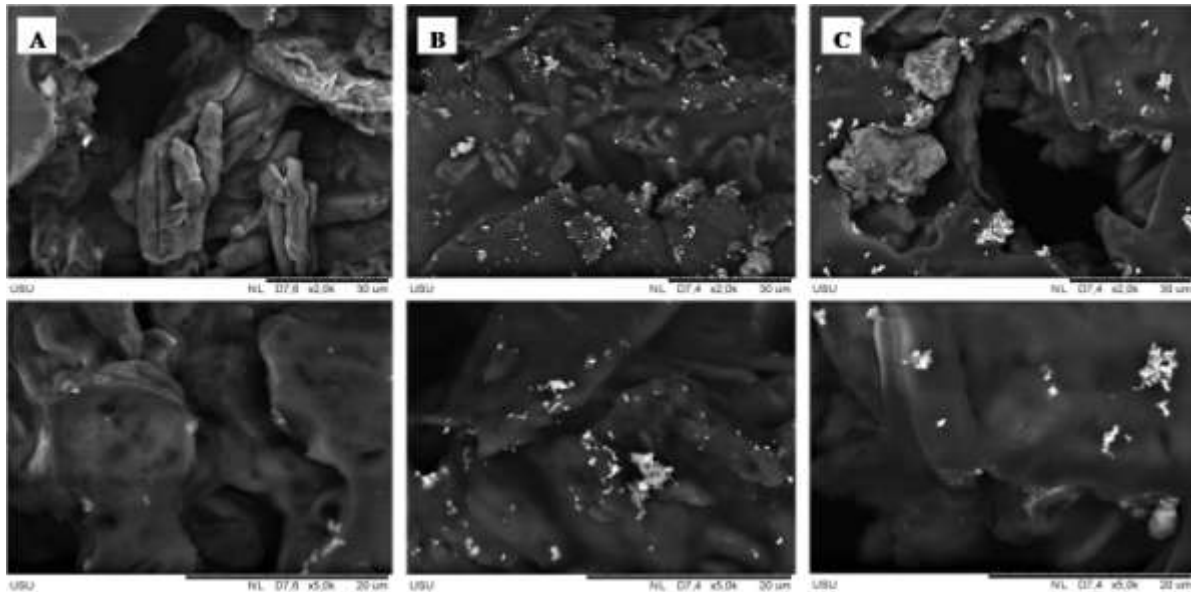
Gambar 4. Hasil karakterisasi SEM pada serbuk TiO_2 (A) dan serbuk ZnO (B)



Gambar 5. Citra SEM pada serbuk selulosa murni

3.3 Aktivitas Antibakteri Film Komposit

Modifikasi film komposit dilakukan dengan menambahkan variasi senyawa oksida logam TiO_2 serta ZnO dengan komposisi 1% b/b terhadap selulosa. Oksida logam TiO_2 dan ZnO dengan sifat fotokatalitiknya berperan sebagai agen

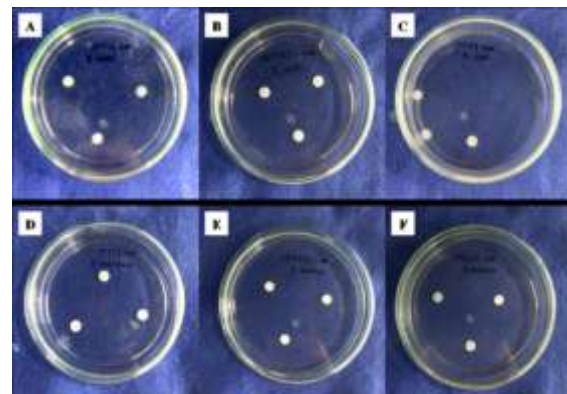


Gambar 6. Citra SEM film komposit selulosa/PVA/TiO₂ 1% (A), selulosa/PVA/TiO₂/ZnO 1% (B), dan selulosa/PVA/ZnO 1% (C)

antibakteri pada film komposit berbasis selulosa ini. Analisis aktivitas antibakteri dari semua film komposit diuji terhadap bakteri Gram-negatif *E. coli* dan Gram-positif *S. aureus* (Gambar 7). Metode ini dilakukan dengan meneteskan suspensi bakteri pada permukaan masing-masing sampel film yang telah diletakkan pada media agar di dalam cawan petri steril. Kemudian, seluruh sampel tersebut ditempatkan dalam inkubator dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37-40°C. Setelah diinkubasi, permukaan sampel dibilas dengan pengenceran berseri (10⁻³) untuk memperoleh jumlah bakteri yang bertahan di permukaan sampel (Gambar 8), yang mana kode sampel dapat dilihat pada Tabel 1. Setelah 24 jam inkubasi, jumlah bakteri yang bertahan hidup pada permukaan sampel film dihitung dengan menggunakan metode penghitungan koloni plat agar standar.

Film komposit dengan kandungan oksida logam memiliki aktivitas antibakteri yang substansial terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. Pengaruh agen antibakteri pada film komposit terhadap jumlah koloni bakteri *E. coli* dan *S. aureus* ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil dari uji aktivitas antibakteri, terlihat bahwa hampir

keseluruhan sampel film komposit memiliki efek penghambatan yang lebih besar terhadap bakteri Gram-positif (*S. aureus*) daripada bakteri Gram-negatif (*E. coli*).



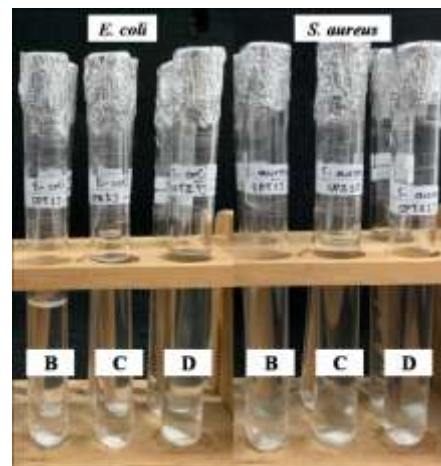
Gambar 7. Uji ALT sampel film komposit selulosa/PVA/TiO₂ 1% (A dan D), selulosa/PVA/TiO₂/ZnO 1% (B dan E), dan selulosa/PVA/ZnO 1% (C dan F) terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*

Film yang mengandung oksida logam dapat dikategorikan sebagai senyawa antibakteri pasif karena tidak melepaskan agen antibakteri ke lingkungan, namun mampu menghambat pertumbuhan bakteri. Pengujian mencakup bakteri Gram-positif dan Gram-negatif dikarenakan kedua spesi

ini memiliki tingkat ketahanan yang berbeda terhadap agen antibakteri atau semacamnya. Pengaruh dari aktivitas antibakteri ini memungkinkan disebabkan oleh perbedaan dari struktur membran sel bakteri. Pada bakteri Gram-positif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tebal. Sebaliknya, bakteri Gram-negatif memiliki dinding sel yang terdiri dari lapisan tipis peptidoglikan yang dikelilingi oleh membran luar [14, 19-21]. Bakteri Gram-positif dengan lapisan luar peptidoglikan yang tebal dapat lebih mudah dibunuh, karena lapisan tersebut mampu menyerap antibakteri, antibiotik, ataupun produk pembersih lainnya [20]. Membran luar yang dimiliki bakteri Gram-negatif mengandung lipopolisakarida, protein, dan fosfolipid [19-21]. Struktur khas dari membran luar bakteri Gram-negatif yang berlapis-lapis dapat mencegah beberapa agen antibakteri masuk ke dalam sel [14, 20]. Bakteri Gram-negatif lebih terlindungi dari serangan fisik tertentu karena tidak menyerap bahan atau materi asing yang mengelilinginya. Meskipun memiliki lapisan peptidoglikan yang tipis, adanya membran yang berlapis-lapis memungkinkan bakteri Gram-negatif untuk mengontrol, mengasingkan atau bahkan menghilangkan ancaman pada membran sebelum mencapai bagian dalam sel itu sendiri. Oleh karena itu, dalam menghambat aktivitas antibakteri harus dipastikan teknik yang digunakan mampu menembus lapisan peptidoglikan yang tebal dari bakteri Gram-positif, serta dapat menembus banyak lapisan pada membran bakteri Gram-negatif [20].

Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari senyawa oksida logam TiO_2 dan ZnO terhadap aktivitas antibakteri, meskipun kedua senyawa tersebut terkompositkan dalam matriks selulosa. Senyawa oksida logam mampu mengganggu integritas dinding sel bakteri, dapat menyebabkan lisis, dan kematian pada sel [14, 19]. Aktivitas antibakteri dari oksida logam pada bakteri Gram-positif terlihat lebih efektif daripada

bakteri Gram-negatif. Bakteri Gram-positif menyebabkan masalah kesehatan yang luar biasa dan menjadi fokus dari banyak upaya pemusnahan. Sementara itu, bakteri Gram-negatif memiliki resistensi tinggi yang tentunya dapat mengancam kesehatan. Perkembangan teknologi baru dibutuhkan dalam membunuh bakteri, baik Gram-positif maupun Gram-negatif. Sangatlah penting untuk membuat fasilitas medis yang lebih aman dan sehat bagi semua orang [20]. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan mekanisme dari aktivitas antibakteri pada film komposit yang mengandung senyawa oksida logam TiO_2 serta ZnO sebagai agen antibakteri.



Gambar 8. Pengenceran berseri (10^{-3}) terhadap film komposit, dengan kode sampel B, C, dan D

Tabel 3. Hasil Analisis Jumlah Koloni Bakteri dengan Metode ALT

Uji	Bakteri	Kode Sampel	Jumlah Koloni (CFU/ mL) 10^{-3}
ALT Film	<i>S. aureus</i>	B	1×10^{-3}
		C	0
		D	0
	<i>E. coli</i>	B	1×10^{-3}
		C	4×10^{-3}
		D	1×10^{-3}

4. KESIMPULAN

Preparasi film komposit polimer alam berbasis selulosa telah dilakukan dan memungkinkan jika dikembangkan serta

disempurnakan untuk penerapan dalam kehidupan sehari-hari, khususnya pada bidang medis atau kesehatan. Hasil yang telah diperoleh menunjukkan bahwa, selulosa berhasil diformulasikan menjadi film komposit dengan bantuan PVA sebagai pemlastis (selulosa/PVA). Modifikasi polimer dengan variasi senyawa oksida logam sebagai agen antibakteri, yaitu selulosa/PVA/TiO₂ 1%, selulosa/PVA/TiO₂/ZnO 1%, dan selulosa/PVA/ZnO 1% juga telah berhasil dilakukan serta dipadukan menjadi film komposit. Berdasarkan hasil uji aktivitas antibakteri yang diperoleh pada percobaan ini, ditunjukkan bahwa adanya pengaruh dari senyawa TiO₂ dan ZnO yang divariasikan dalam sampel film komposit selulosa/PVA. Senyawa oksida logam yang berperan sebagai agen antibakteri, mampu menghambat laju pertumbuhan bakteri. Hasil film komposit yang telah diperoleh dapat dikembangkan serta disempurnakan pada penelitian lebih lanjut dan diterapkan pada keperluan bidang medis atau kesehatan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (Ditjen Dikti) yang telah membantu pendanaan penelitian melalui Program Talenta Inovasi Indonesia 2021.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Darajati, S. Pratiwi, E. Herwinda, A. D. Radiansyah, V. S. Nalang, B. Nooryanto,. *Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan (IBSAP) 2015-2020*, 2016
- [2] D. Trache, A. F. Tarchoun, M. Derradji, T. S. Hamidon, N. Masruchin, N. Brosse, Hussin, M.H., "Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Applications," *Frontiers in Chemistry*, 8, 2020
- [3] Y. Li, J. Tian, C. Yang, and B. Hsiao, 2018. "Nanocomposite Film Containing Fibrous Cellulose Scaffold and Ag/TiO₂ Nanoparticles and Its Antibacterial Activity," *Polymers*, vol. 10, p. 1052,
- [4] K. L. T. Carrillo and T. Kobayashi, "Natural Material Source of Bagasse Cellulose and Their Application to Hydrogel Films," pp. 19-43, 2017.
- [5] A. A. Septevani, D. Burhani, and S. Sudiarmanto, "Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit," *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol. 40, p. 71, 2018.
- [6] G. Zhao, X. Lyu, J. Lee, X. Cui, and W.-N. Chen, "Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application," *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 21, p. 100345, 2019.
- [7] Y. Wang, L. Zhang, J. Zhou, and A. Lu, "Flexible and Transparent Cellulose-Based Ionic Film as a Humidity Sensor," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 12, pp. 7631-7638, 2020.
- [8] A. M. Babker, S. Sotnik, and V. Lyashenko, "Polymeric Materials in Medicine," *Scholars Journal of Applied Medical Sciences*, 2018.
- [9] T. Poosub, W. Chanikarn, I. Wirawan, S. Sunantha, and K. Chanin, "Effect of TiO₂ and ZnO on Thin Film Properties of PET/PBS Blend for Food Packaging Applications," *Energy Procedia*, vol. 56, pp. 102-111, 2014.
- [10] S. Ramesh, H. S. Kim, and J.-H. Kim, "Cellulose-Polyvinyl Alcohol-Nano-TiO₂ Hybrid Nanocomposite: Thermal, Optical, and Antimicrobial Properties against Pathogenic Bacteria," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 57, pp. 669-681, 2017.
- [11] M. Azizi-Lalabadi, A.-S. Mahmood, D. Baharak, E. Ali, and M. David Julian, "Nanocomposite films consisting of functional nanoparticles (TiO₂ and ZnO) embedded in 4A-Zeolite and mixed polymer matrices (gelatin and polyvinyl alcohol),"

- Food Research International*, vol. 137, p. 109716, 2020.
- [12] M. Azizi-Lalabadi, A. Ehsani, B. Divband, and M. Alizadeh-Sani, "Antimicrobial activity of Titanium dioxide and Zinc oxide nanoparticles supported in 4A zeolite and evaluation the morphological characteristic," *Scientific Reports*, vol. 9, 2019.
- [13] S. Acharya, Y. Hu, H. Moussa, and N. Abidi, "Preparation and characterization of transparent cellulose films using an improved cellulose dissolution process," *Journal of Applied Polymer Science*, 2017.
- [14] N. Chiaoprakobkij, T. Suwanmajo, N. Sanchavanakit, and M. Phisalaphong, "Curcumin-Loaded Bacterial Cellulose/Alginate/Gelatin as A Multifunctional Biopolymer Composite Film," *Molecules*, vol. 25, p. 3800, 2020.
- [15] W. M. Yusmamana and J. Gunlazuardi, "The Role of Citric Acid Modifiers Addition in The Preparation of TiO₂ Nanoparticles with The Solvothermal Method," 2020.
- [16] S. Wahyuningsih, A. H. Ramelan, R. M. I. Munifa, L. N. M. Z. Saputri, and U. Chasanah, "Synthesis of TiO₂ nanorods from titania and titanyl sulfate produced from ilmenite dissolution by hydrothermal method," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 776, p. 012044, 2016.
- [17] M. Amini and M. Ashrafi, "Photocatalytic degradation of some organic dyes under solar light irradiation using TiO₂ and ZnO nanoparticles," *ano. Chem. Res*, vol. 1, pp. 79-86, 2016.
- [18] T. Ennaert, B. Op de Beeck, J. Vanneste, A. T. Smit, W. J.J. Huijgen, A. Vanhulsel, *et al.*, "The importance of pretreatment and feedstock purity in the reductive splitting of (ligno)cellulose by metal supported USY zeolite," *The Royal Society of Chemistry* 2015.
- [19] P. Ganguly, C. Byrne, A. Breen, and S. C. Pillai, "Antimicrobial activity of photocatalysts: Fundamentals, mechanisms, kinetics and recent advances," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 225, pp. 51-75, 2018.
- [20] E. Mitchell. (2020, 12 Desember 2021). *Gram Positive vs Gram Negative Bacteria and The Fight Against HAIs*. Available: <http://blog.eoscu.com/blog/gram-positive-vs-gram-positive>
- [21] Z. Breijyeh, J. Buthaina, and R. Karaman, "Resistance of Gram-Negative Bacteria to Current Antibacterial Agents and Approaches to Resolve It," *Molecules*, vol. 25, p. 1340, 2020.