

Evaluasi Antibakteri Kain Kasa Termodifikasi Ag, Kristalin TiO₂/Ag, dan Kitosan/Ag dengan Variasi Urutan Pelapisan terhadap Aktivitas *Escherichia coli*

Sotya Rawiningtyas^{1*}

¹Program Studi Penjaminan Mutu Industri Pangan, Politeknik AKA Bogor
Jalan Pangeran Asogiri No. 283, Tanah Baru, Bogor Utara, Kota Bogor, Jawa Barat 16154

*E-mail: sotyarawiningtyas@gmail.com

(Received : 23 November 2021; Accepted: 12 Agustus 2022; Published: 15 Agustus 2022)

Abstrak

Sterilitas kain kasa sangat berpengaruh terhadap pencegahan kontaminasi silang pada luka terbuka. Salah satu hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sterilitas dan memberikan nilai tambah pada kain kasa adalah dengan pelapisan menggunakan bahan yang memiliki aktivitas antibakteri. Pada penelitian ini telah dilakukan pelapisan kain kasa menggunakan kristalin TiO₂/Ag, diaminperak, dan komposit kitosan/Ag melalui metode *dip coating*-teknik *paddy cure* dengan variasi urutan pelapisan. Sintesis kristalin TiO₂/Ag dilakukan dengan metode sol-gel menggunakan pelarut etanol. Karakterisasi hasil sintesis dilakukan menggunakan FTIR dan XRD. Kain kasa hasil pelapisan dikarakterisasi menggunakan XRD dan diuji antibakterinya menggunakan metode *optical density* terhadap aktivitas *Escherichia coli* pada variasi waktu inkubasi jam ke-3, 6, 9, 12, dan 24. Antibakteri juga dievaluasi terhadap kain kasa yang telah dilakukan pencucian. Hasil uji antibakteri optimum diperoleh pada kain kasa dengan urutan pelapis TiO₂/Ag- kitosan/Ag- Ag yang memiliki daya hambat lebih dari 65% setelah jam ke-6 inkubasi. Kain kasa yang memiliki daya hambat optimum kemudian dicuci dengan surfaktan Tween-80 0, 2 % (v/v) menggunakan *sonic washer* selama 5 menit. Daya hambat setelah 3x pencucian diketahui masih cukup baik yaitu 63, 54% pada jam ke-24.

Kata kunci: Antibakteri; *Escherichia coli*; diaminperak; kain kasa; kitosan; TiO₂

Abstract

*Gauze sterility affected the prevention of cross-contamination in wounds. Coated gauze with antibacterial materials has been increased sterility and provides added value. In this study, gauze was coated using crystalline TiO₂/Ag, diamine silver, and chitosan/Ag composites through the dip-coating method using the paddy cure technique. Synthesis of crystalline TiO₂/Ag was carried out by the sol-gel method using ethanol as solvent. The characterization of the synthesized results was carried out using FTIR and XRD. Meanwhile, the gauze from the coating was characterized using XRD and evaluated for antibacterial using the optical density method against *Escherichia coli* activity at 3, 6, 9, 12, and 24 hours of incubation time. Antibacterial activity was also evaluated on the gauze that had been washed. The optimum antibacterial activity was obtained on gauze with a coating sequence of TiO₂/Ag- Chitosan/Ag-Ag which had inhibition of more than 65% after the 6th hour of incubation. The gauze with optimum inhibition was then washed with 0.2% (v/v) Tween-80 surfactant using a sonic washer for 5 minutes. The antibacterial activity after 3 times of washing was known to be quite good even though it decreased to 63.54% at the 24th hour.*

Keywords: Antibacterial; Ag; chitosan; *Escherichia coli*; gauze; TiO₂

PENDAHULUAN

Kain kasa merupakan salah satu tekstil medis yang memainkan peranan penting dalam perawatan dan mempercepat penyembuhan luka. Namun, beberapa jenis bakteri seperti *Escherichia coli* dapat tumbuh dan bertahan hidup pada material tekstil-tekstil medis termasuk kain kasa. Keberadaan bakteri tersebut dapat menyebabkan resiko kontaminasi silang dan memperbesar resiko infeksi

pada pasien (Sun, *et al.*, 2007). Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan peningkatan sifat antibakteri kain kasa. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat antibakteri kain kasa adalah dengan pelapisan (*coating*) atau penyamakan (*laminating*) menggunakan senyawa yang memiliki aktivitas antibakteri dan memiliki sifat toksisitas yang rendah terhadap sel manusia (Singha, 2012).

Berdasarkan penelitian Siegfried (2007), persenyawaan perak, TiO₂, kitosan, dan kompositnya dapat berperan sebagai agen antibakteri yang memiliki toksisitas rendah pada manusia. Komposit kitosan/Ag memiliki daya hambat terhadap *E.coli* sebesar 14 mm dalam bentuk larutan dan 10 mm dalam bentuk lapis tipis. Sementara itu, komposit kitosan/Ag yang dilapiskan pada nylon dengan metode pelumuran (*smear*) menghasilkan zona hambat sebesar 2,0 mm (Cao, *et al.*, 2010). Penggunaan komposit kitosan-TiO₂ sebagai agen antibakteri pada kain kasa dengan menggunakan metode pelapisan sonikasi menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Escherichia coli*, dengan daya hambat optimum 55,66 % pada komposisi kitosan: TiO₂ sebesar 80:20 (Amrulia, 2012). Salah satu alasan penambahan Ag adalah untuk mengoptimalkan aktivitas antibakteri TiO₂ pada kondisi tanpa penyinaran UV (Sun, *et al.*, 2008). Sementara itu, Kedziora, *et al.*, (2012) menyebutkan bahwa kristalinitas TiO₂/Ag mempengaruhi daya antibakterinya. *Minimum Inhibitory Concentration (MIC)* terhadap *Escherichia coli* dari serbuk TiO₂/Ag amorf lebih besar daripada TiO₂/Ag kristalin. Penelitian tersebut menguji daya hambat komposit TiO₂/Ag tanpa pelapisan.

Penelitian lain menyebutkan bahwa perak yang dilapiskan pada kain katun memiliki zona hambat terhadap bakteri *Escherichia coli* sebesar 1,5 mm (sebelum pencucian) dan 0,5 mm (sesudah pencucian) menggunakan metode pelapisan *padding* dengan konsentrasi Ag 5 gr/L (Zgondek, *et al.*, 2008), zona hambat sebesar 18 mm menggunakan metode pelapisan *padding* dengan konsentrasi Ag 25 gr/L (Wasif dan Laga, 2009), dan zona hambat sebesar 1,0 mm menggunakan metode pelapisan *chemisorptions* dengan konsentrasi Ag sebesar 0,072 mmol/gr (Kostic, *et al.*, 2008). Selain memiliki ketahanan biologis, tekstil medis harus memiliki ketahanan fisik dan mekanik yang baik.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya Ag, kristalin TiO₂/Ag, dan komposit kitosan/Ag berpotensi untuk digunakan sebagai agen antibakteri pada kain kasa. Sejauh ini, belum ada penelitian mengenai aplikasi ketiga senyawa tersebut secara bersamaan, evaluasi terhadap aktivitas antibakterinya, dan pengaruh pencucian terhadap ketahanan sifat antibakteri kain kasa.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ultrasonic vibrator bandelin* (Sonorec digitec DT 100H), *autoclave* (Tomy ES-315 Steam sterilizer), *Rotary incubator* (Infors HT Ecotron), Spektrofotometer UV-Vis Double beam (Perkin Elmer lambda 25), *Biosafety laminar airflow* (ESCO

Class II BSC), micropipet (Brand), *Blue tip* (Brand) 1000 µL., jarum ose, spektrofotometer infra merah (Prestige Shimadzu 8201 PC), XDR (Bruker D8 Advance), Oven (ESCO Iotherm), *stirrer*, neraca analit, *hot plate-stirrer*, dan alat-alat gelas.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kain kasa steril, kitosan/Ag dengan DD kitosan 95,15% (Samiyatun, 2010), titanium (IV) isoprosida (AR grade; 97%, Aldrich), garam perak nitrat (AgNO₃), etanol emsure (C₂H₅OH; 96%, Merck), asam asetat glasial (CH₃COOH; 100%, Merck), asam akrilat (Merck), surfaktan Tween 80 n-nonionik, *Demineralize water* (Aqua DM), ammonium hidroksida (AR grade; 25%, Merck), metanol emsure (CH₃OH; 98%, Merck), media *triphone soya broth* (TSB, Sigma Aldrich 30 gr/L), Mac conkey agar (MC, Sigma Aldrich 51,5 gr/L), bakteri *Escherichia coli* ATCC 35218, spiritus, kapas, kertas saring, karet gelang, dan aluminium foil.

Sintesis Perak Klorida dan Diaminperak

Sintesis kristal AgCl menggunakan AgNO₃ sesuai dengan penelitian Kedziora *et al.*, 2012. Kristal AgCl dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD (Kumar, *et al.*, 2000). Diaminperak sebagai prekursor Ag disintesis dengan cara menambahkan larutan ammonium hidroksida (NH₄OH; 25%) ke dalam 1 gr perak klorida kemudian diaduk hingga semua AgCl terlarut dan ditepatkan dengan labu ukur 100 mL. Untuk keperluan karakterisasi, larutan diaminperak dikeringkan pada suhu 80 °C selama 6 jam hingga diperoleh kristal diaminperak. Kristal diaminperak kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD.

Sintesis Kristal TiO₂/Ag

Sebanyak 5 ml asam asetat glasial ditambahkan ke dalam 100 mL Etanol tetes demi tetes sambil distirer selama 10 menit. Ke dalam campuran tersebut ditambahkan 6 ml titanium (IV) isopropoksida dan distirer selama 60 menit. Setelah itu, ditambahkan 20 ml larutan Diaminperak. Campuran larutan distirer hingga terbentuk gel. Gel yang terbentuk kemudian disentrifuse dengan kecepatan 2000 rpm selama 40 menit. Gel yang terpisah dari filtrat dicuci dengan menggunakan methanol dan aquades kemudian dikeringkan pada suhu 80 °C selama 5 jam dan dikalsinasi selama 2 jam pada suhu 400 °C. Kristal yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD (Gupta, *et al.*, 2008; Kedziora, *et al.*, 2012).

Sebanyak 1 gram kristal TiO₂/Ag ditambah dengan 97,5 ml akua- demineralisasi, dua belas tetes Surfaktan Tween-80 nonionik, dan 1 ml asam akrilat. Campuran disonikasi selama 30 menit dan distirer selama 60 jam hingga terbentuk emulsi (Kedziora, *et al.*, 2012).

Pelapisan Kristal TiO₂/Ag, Kitosan/Ag, dan Diaminperak (Ag) pada Kain Kasa

Sebelum dilakukan pelapisan, kain kasa berukuran 6 x 8 cm² dicelupkan pada tiga jenis larutan yaitu diaminperak, emulsi TiO₂/Ag kristal, dan kitosan/Ag dalam asam asetat 1 % (b/v) dengan urutan pencelupan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Masing-masing pencelupan dilakukan pengeringan pada suhu kamar dan disetrika selama 1 menit pada suhu ± 100 °C. Kain kasa hasil pencelupan kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD.

Tabel 1. Urutan Pencelupan Kain Kasa

Kode	Urutan Pencelupan
A0	Kain kasa-Ag
K0	Kain kasa-Kitosan/Ag
T0	Kain kasa- TiO ₂ /Ag
AKT1	Kain kasa-Kitosan/Ag-Kristal TiO ₂ /Ag-Ag
AKT2	Kain kasa- Kristal TiO ₂ /Ag-Kitosan/Ag-Ag
AKT3	Kain kasa-Kitosan/Ag-Ag-Kristal TiO ₂ /Ag
AKT4	Kain kasa-Ag-Kitosan/Ag-Kristal TiO ₂ /Ag
AKT5	Kain kasa- Kristal TiO ₂ /Ag-Ag-Kitosan/Ag
AKT6	Kain kasa-Ag-Kristal TiO ₂ /Ag-Kitosan/Ag

Pencucian kain kasa hasil pencelupan

Kain kasa berukuran 6 x 8 cm² disetrika pada suhu ± 100 °C selama satu menit kemudian dicuci dengan surfaktan Tween-80 0,2 % (v/v) selama 5 menit (Pramita, 2011) dan dibilas menggunakan akuades selama 5 menit menggunakan *Sonic washer*. Setelah itu, kain dikeringkan pada suhu kamar dan disetrika pada suhu ± 100 °C selama satu menit.

Uji Antibakteri Kain Kasa

Uji antibakteri kain kasa dilakukan menggunakan metode *optical density* (Au, dkk., 2012). Kain kasa hasil pelapisan dimasukkan ke dalam 25 mL media TSB 3% (b/v) steril (Goldman dan Green, 2009). Setelah itu, ditambahkan inokulum

bakteri *Escherichia coli* hasil inkubasi selama 24 jam sebanyak 0,5 mL (Amrulia, 2012). Pembuatan kultur kerja dilakukan secara aseptis. Kultur kerja diinkubasi pada *rotary incubator* suhu 37 °C, 100 rpm (Pal *et al.*, 2007). Pengukuran absorbansi sampel dilakukan pada jam ke-3, 6, 9, 12, dan 24 menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 600 nm (Pal, *et al.*, 2007; Musil, *et al.*, 2009). Pengujian dilakukan secara duplo. Dari data tersebut, dihitung prosentase daya hambat (inhibisi) kain kasa terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*.

$$I (\%) = \frac{(A_t - A_0) - (B_t - B_0)}{A_t - A_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

A₀ = OD kontrol jam ke-nol

A_t = OD bakteri kontrol jam ke-t

B₀ = OD bakteri sampel jam ke-nol

B_t = OD bakteri sampel jam ke-t.

Signifikansi berbagai keragaman (variabel) dari kelompok data antibakteri antar sampel kain kasa diprediksi menggunakan uji analisis variansi (Anava) dengan metode Duncan. Berdasarkan uji Anava metode Duncan diketahui kelompok-kelompok yang berbeda signifikan atau tidak berbeda signifikan dengan cara membandingkan varians dari kedua kelompok data. Data populasi dikatakan berbeda secara signifikan apabila F hitung > F_(α,df1,df2) tabel.

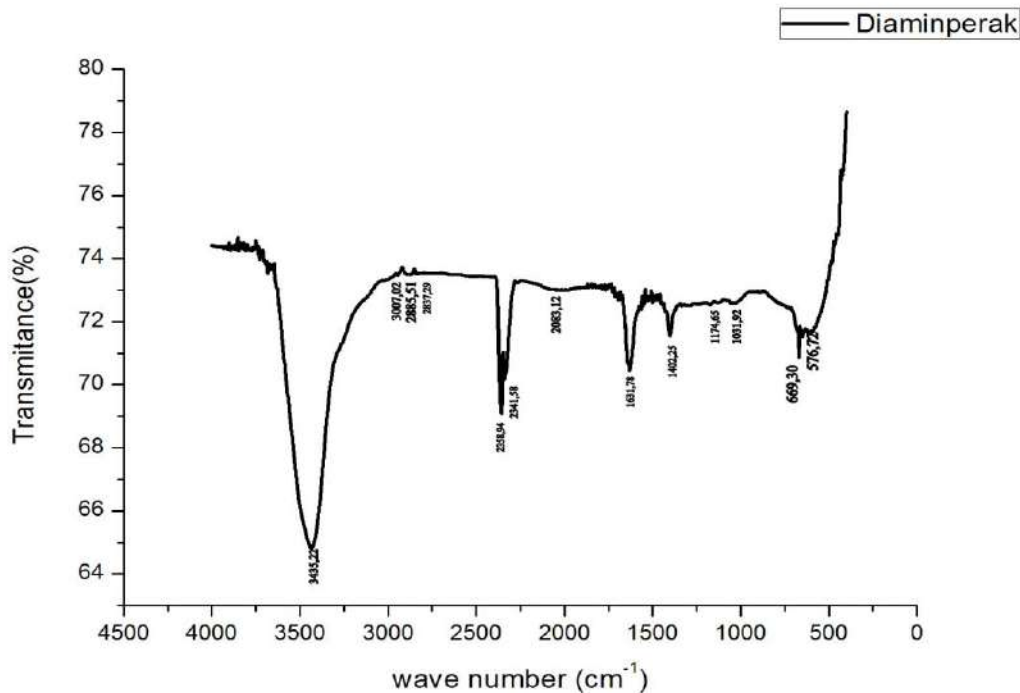
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Perak Klorida dan Pembuatan Diaminperak

Diaminperak sebagai prekursor Ag dalam komposit TiO₂/Ag dan sebagai bahan antibakteri yang dilapiskan pada kain kasa disintesis melalui dua tahap yaitu sintesis perak klorida (AgCl) dari perak nitrat (AgNO₃) dan sintesis diaminperak dari AgCl.

Perubahan persenyawaan perak selama sintesis diaminperak diamati melalui analisis data spektroskopi FTIR untuk mengetahui perubahan gugus fungsi dan XRD untuk mengetahui perubahan kristalinitas.

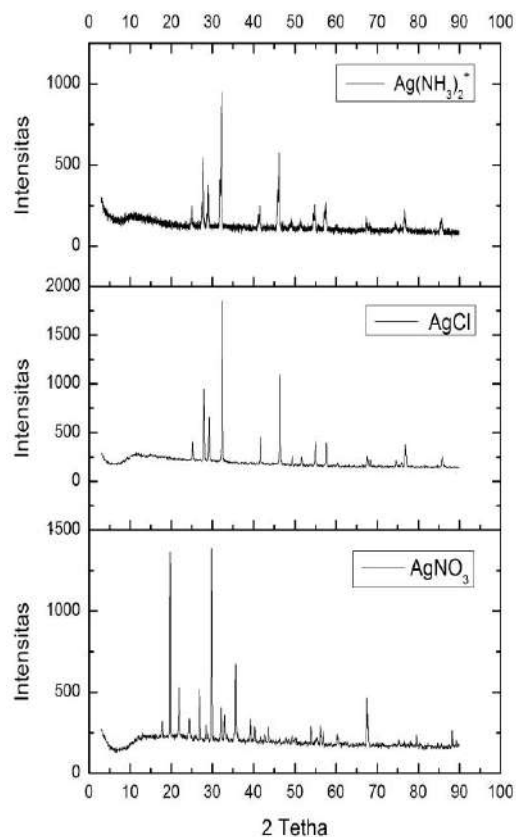
Larutan diaminperak diuapkan pada suhu 80 °C membentuk lempengan kristal berwarna putih bening diaminperak yang selanjutnya dikarakterisasi dengan FTIR. Karakter spektra IR diaminperak pada Gambar 1.



Gambar 1. FTIR Diaminperak

Spektra IR tersebut menunjukkan perubahan serapan yang signifikan. Hal ini mengindikasikan perubahan senyawa dari AgCl menjadi diaminperak yang ditandai dengan munculnya serapan medium pada bilangan gelombang $3435,22\text{ cm}^{-1}$ dan $1402,25\text{ cm}^{-1}$ adalah serapan gugus N-H amina *stretching* (Stuart, 2004). Adanya gugus amin diperkuat dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang $1631,78\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan serapan N-H *bending*. Serapan Ag pada Diaminperak ditunjukkan oleh serapan pada bilangan gelombang $669,3-576,72\text{ cm}^{-1}$ (Tripathi *et al.*, 2011).

Sintesis diaminperak dari AgCl juga dianalisis menggunakan XRD (Gambar 2.). Meskipun data IR memperlihatkan perubahan spektra yang mengindikasikan terjadinya transformasi dari AgCl menjadi diaminperak perbandingan difraktogram antara AgCl dan diaminperak tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Perubahan hanya terjadi pada intensitas. Intensitas *peak* pada diaminperak lebih rendah dibandingkan dengan intensitas *peak* AgCl. Penurunan intensitas diaminperak menunjukkan bahwa kisi kristal diaminperak lebih tidak teratur dibandingkan dengan kisi kristal AgCl. Sementara itu, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada pergeseran 2θ difraktogram Diaminperak. Hal tersebut kemungkinan karena gugus amin merupakan ligan netral sehingga tidak merubah jarak dan bentuk kisi kristal.



Gambar 2. XRD senyawa perak

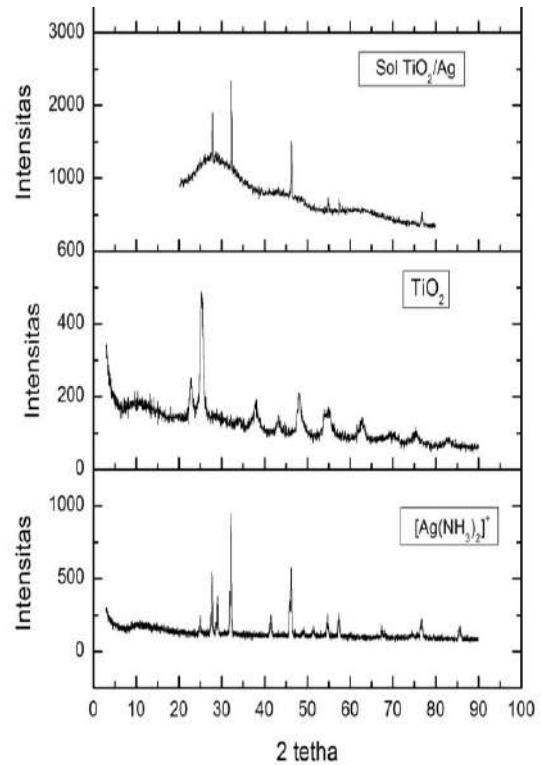
Sintesis Gel TiO₂/Ag

Komposit TiO₂/Ag disintesis dengan metode sol-gel di dalam etanol *solution*. Menurut Gupta *et al.* (2008), TiO₂ hasil sintesis dari prekursor Titanium (IV) isopropoksida dan penghidrolisis asam asetat glasial dalam etanol *solution* memiliki distribusi ukuran partikel yang seragam dan proses aglomerasi yang lebih cepat (5-6 jam pada temperatur ruang). Penambahan prekursor diamminperak dilakukan setelah terbentuk sol TiO₂. Hasilnya diperoleh ukuran aglomerat sol TiO₂ yang lebih besar yang terlihat dari intensitas peak TiO₂ pada difraktogram TiO₂/Ag lebih tinggi dibandingkan dengan peak TiO₂ saja. Hal tersebut disebabkan karena adanya ammonium hidroksida yang merupakan salah satu katalis dalam tahapan hidrolisis TiO₂ (Kedziora *et al.*, 2012). Sol gel TiO₂/Ag selanjutnya dikeringkan pada suhu 80 °C untuk membentuk xerogel.

Difraktogram TiO₂ (Gambar 3.) menunjukkan bahwa intensitas tipe anatase lebih dominan dibandingkan dengan intensitas tipe rutil. Dari perbandingan intensitas tersebut diperoleh presentase anatase dalam TiO₂ hasil sintesis adalah sebesar 73,22% dan presentase tipe rutil sebesar 24,78%.

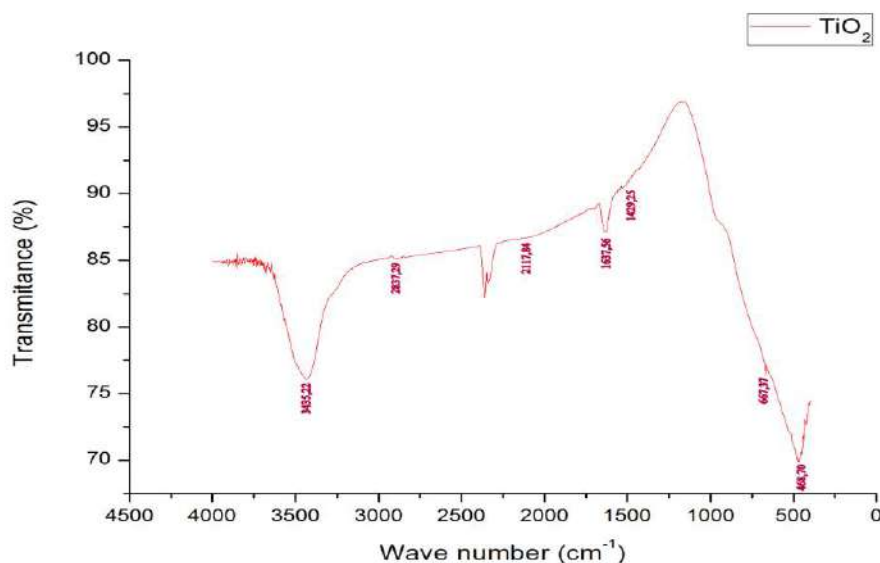
Karakterisasi XRD komposit TiO₂/Ag gel menunjukkan munculnya peak baru yang merupakan peak senyawa diamminperak. Hasil analisis difraktogram komposit TiO₂/Ag gel menunjukkan bahwa TiO₂ dalam komposit TiO₂/Ag gel berada pada fasa amorf. Hal tersebut terlihat dari intensitas peak yang rendah dan melebar pada 2θ TiO₂.

Komposisi TiO₂ dan Ag dalam komposit TiO₂/Ag gel tidak dapat ditentukan melalui data XRD karena TiO₂/Ag gel berada pada fase amorf.



Gambar 3. XRD TiO₂/Ag

Gambar 4. Memperlihatkan spektra IR komposit kristal TiO₂/Ag. Serapan Ti-O terlihat pada bilangan gelombang 3425,58 cm⁻¹ yang merupakan serapan Ti-OH *stretching* dan 1631,78 cm⁻¹ yang merupakan serapan Ti-OH *bending*. Serapan oksida logam dari Ti-O dan Ag-O terlihat pada bilangan gelombang 673,16 – 430,13 cm⁻¹. Secara umum letak bilangan gelombang serapan oksida logam dipengaruhi oleh jenis logam dan komposisi senyawa organik di dalamnya (Skoog, 1971).



Gambar 4. FTIR TiO₂/Ag

Pelapisan Kristal TiO₂/Ag, Kitosan/Ag, dan Diaminperak (Ag) pada Kain Kasa

Diaminperak, komposit TiO₂/Ag, dan komposit Kitosan/Ag dilapiskan pada kain kasa steril menggunakan metode pelapisan *dip coating* dengan lama pencelupan 5 menit. Urutan pencelupan antara diaminperak, komposit TiO₂/Ag, dan komposit kitosan/Ag divariasikan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Setiap pencelupan dilakukan pemantapan (*padding*) dengan disetrika untuk memperkuat interaksi yang terjadi antara selulosa kain kasa dan senyawa antibakteri. Kain kasa hasil pelapisan tidak mengalami perubahan yang mencolok baik pada warna maupun bentuk. Perubahan hanya terjadi pada kekakuan/ fleksibilitas kain kasa. Kain kasa hasil pelapisan memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kain kasa tanpa perlakuan dengan kata lain fleksibilitas kain kasa hasil pelapisan menurun.



Gambar 5. Kain kasa hasil pelapisan

Uji Antibakteri Kain Kasa

Uji aktivitas antibakteri kain kasa terhadap bakteri *Eschericia coli* dilakukan menggunakan metode *optical density* untuk menentukan urutan pencelupan yang memiliki daya hambat paling besar. Selain itu, uji antibakteri juga dilakukan untuk mengetahui efek pencucian (*laundering*) terhadap daya tahan antibakteri kain kasa. *Optical density* (OD) sampel diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Au *et al.*, 2012) dengan panjang gelombang 600 nm (Pal *et al.*, 2007) pada jam ke-0, 3, 6, 9, 12, dan 24.

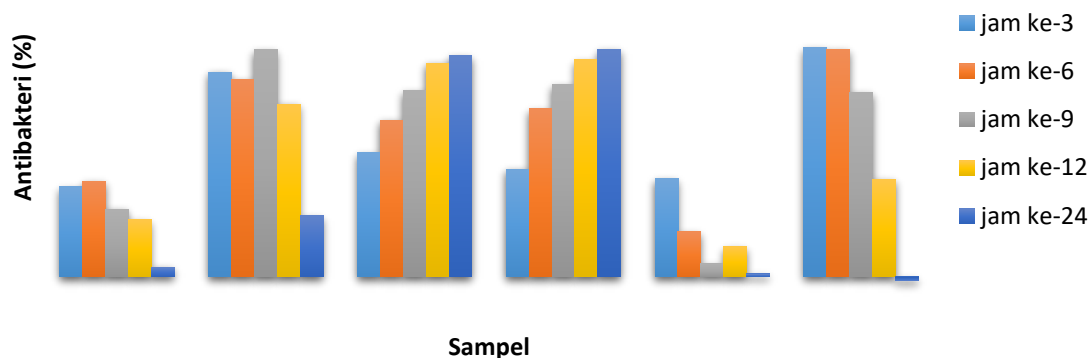
Kekeruhan sampel yang terukur dari metode *optical density* sebanding dengan jumlah bakteri. Semakin tinggi OD sampel maka semakin banyak bakteri yang berada pada sampel. Sebaliknya, jika OD rendah maka bakteri yang berada pada sampel semakin sedikit.

Perak dalam komposit kitosan/Ag dapat meng-inaktivasi enzim *chitosanase*. Enzim *chitosanase* diproduksi oleh bakteri untuk meningkatkan resistensinya terhadap aktivitas antibakteri kitosan. Ketika berinteraksi dengan kitosan, enzim *chitosanase* akan menyebabkan *endohydrolysis* ikatan β 1,4-D glukosamin dan mengurangi kemampuan antibakteri kitosan (Gao *et al.*, 2008).

Kain kasa terlapisi Ag, kitosan/Ag, dan TiO₂/Ag kristal dengan variasi urutan pencelupan menghasilkan sifat antibakteri optimum pada kain kasa K4 yaitu dengan daya hambat lebih dari 65% setelah jam ke-6. Kain kasa K6 memiliki daya hambat lebih dari 70% pada jam ke-3, 6, dan 9. Namun, daya hambat kain kasa K6 mengalami penurunan pada jam ke-12 dan 24 yang disebabkan karena efek antibakteri dari TiO₂/Ag kristal yang semakin berkurang.

Hasil uji antibakteri menunjukkan bahwa proses pelapisan memengaruhi daya antibakteri kain kasa. Kain kasa memiliki daya antibakteri optimum ketika Ag dilapiskan pada urutan terakhir dengan kata lain lapisan Ag berada pada sisi terluar kain kasa. Uji antibakteri dilakukan tanpa menggunakan sinar UV.

Penentuan metode urutan pelapisan yang memberikan sifat antibakteri paling baik pada kain kasa dilakukan menggunakan analisis variansi/ Anava metode Duncan dengan tingkat kepercayaan 95%. Variansi hitung (F hitung) dari uji Anava sebesar 7,953 untuk kain kasa terlapisi komposit kristal. Sementara itu, nilai variansi tabel (F tabel) sebesar 1,847. Perbandingan nilai variansi dapat diketahui bahwa F hitung > F_(0,05;29;30) tabel sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antar variasi urutan pelapisan. Berbagai kelompok yang dibandingkan, sampel kain kasa terlapisi kitosan/Ag, komposit TiO₂/Ag kristal, dan Ag memiliki sifat antibakteri paling baik pada kain kasa K4. Setelah diperoleh kain kasa dengan urutan pelapisan yang memiliki aktivitas antibakteri paling tinggi, maka dilakukan pencucian terhadap variasi kain kasa tersebut. Aktivitas bakteri kain kasa setelah pencucian masih cukup baik yaitu sebesar 63,54% pada jam ke-24.



Gambar 6. Presentase daya hambat sampel kain kasa terlapisi kristal sebelum pencucian terhadap bakteri *Escherichia coli* pada jam ke- 3,6,9,12, dan 24.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa urutan pelapisan berpengaruh pada aktivitas antibakteri kain kasa terhadap bakteri *E.coli* dimana kain kasa dengan urutan pelapisan K4 memiliki aktivitas antibakteri tertinggi yaitu sebesar 65% setelah jam ke-6. Selain itu, aktivitas antibakteri kain kasa tidak terpengaruh secara signifikan oleh pencucian. Hal ini terlihat dari aktivitas antibakteri kain kasa setelah pencucian masih tinggi yaitu sebesar 63,54 % pada jam ke-24.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrulia, W. (2012). *Uji Aktivitas Antibakteri Kitosan-TiO₂ pada Tekstil Terhadap Escherichia coli*, FMIPA UNS; Surakarta
- Au, Hang Thi, Lan Ngoc Pham, Thu Ha Thi Vu, dan Jun Seo Park. (2012). Fabrication of An Antibacterial Non-Woven Mat of a Poly (lactic acid)/ Chitosan Blend by Electrospinning, *Macromolecular Research* 20(1). 51-58. <https://doi.org/10.1007/s13233-012-0010-9>
- Cao, X. L., Cheng, C., Ma, Y. L., Zhao, C. S. (2010). Preparation of Silver Nanoparticles With Antimicrobial Activities and The Researches of Their Biocompatibilities. *J Mater Sci: Mater Med* 21. 2861–2868. <https://doi.org/10.1007/s10856-010-4133-2>
- Gao X.-A., Ju, W. T., Jung, W. J., & Park, R. D. (2008). Purification and Characterization of Chitosanase from *Bacillus cereus* D-11, *Carbohydr. Polym* 72. 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.025>

- Goldman, E. & Green, L. H., (Ed.). (2009). *Practical Handbook of Microbiology Second Edition*, CRC Taylor and Francis: Boca Raton
- Gupta, K. K., Jassal, J., & Agrawal, A.K. (2008). Sol-Gel Derived Titanium Dioxide Finishing of Cotton Fabric for Self Cleaning, *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, Vol. 33, hal. 443-450
- Kedziora, A., Streck, W., Kepinski, L., Bugla-Ploskonska, G. & Doroszkiewicz, W. (2012). Synthesis and Antibacterial Activity of Novel Titanium Dioxide Doped with Silver, *Journal Sol-Gel Science Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10971-012-2688-8>
- Kostić, M., Radić, N., Obradović, B. M., Dimitrijević, S., Kuraica M. M., & Škundrić, P. (2008). Antimicrobial Textile Prepared by Silver Deposition on Dielectric Barrier Discharge Treated Cotton/Polyester Fabric, *CI&CEQ*. 14. 4. 219–221. <https://doi.org/10.2298/CICEQ0804219K>
- Kumar, P. M., Badrinarayanan S., & Sastry, M. (2000). Nanocrystalline TiO₂ Studied by Optical, FTIR and X-ray Photoelectron Spectroscopy: Correlation to Presence of Surface States, *Journal of Thin Solid Films*, Vol. 358, Hal. 122-130
- Pal, S., Tak, Y.K., & Song, J.M. (2007). Does Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Depend in the Shape of the Nanoparticles A Study of the Gram-Negative Bacterium *Escherichia coli*, *Journal of Applied Environmental Microbiology*, Vol. 73, No. 6, Hal. 1712-1720
- Pramita, D. (2011). *Daya Hambat Lapisan SiO₂ dan Komposit Kitosan/Ag pada Kain Katun Terhadap Aktivitas Bakteri Staphylococcus aureus*, FMIPA UNS; Surakarta

- Singha, K. (2012). A Review on Coating & Lamination in Textiles: Processes and Applications, *American Journal of Polymer Science*, Vol. 2, No. 3, Hal. 39-49
- Skoog, D. A. (1971). *Principle of Instrumental Analysis Fifth Edition*, USA; Saunder College Publishing
- Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy; Fundamentals and Applications*, John Wiley and Son
- Sun, G., Badrossamay, M., & Wang, D. (2007). Integrated Production of Functional Fibers and Nonwoven Fabrics, *National Textile Center Project: M06-CD04*
- Sun, S-Q., Sun, B., Zhang, W., & Wang, D. (2008). Preparation and Antibacterial Activity of Ag-TiO₂ Composite Film by Liquid Phase Deposition (LPD) Methods, *Bulletin of Material Science*, Vol. 31, No. 1, Hal. 61-66
- Tripathi, S., Mehrotra, G. K., & Dutta, P.K. (2011). Chitosan-Silver-Oxide Nanocomposite Film; Preparation and Antimicrobial Activity, *Bulletin of Material Science*, Vol. 34, No. 1, Hal. 29-35
- Wasif, A.I. & Laga, S.K. (2009). Use of Nano Silver as an Antimicrobial Agent for Cotton, *AUTEX Research Journal*, Vol. 9, No. 1
- Zgondek, E. M., Bacciarelli, A., Rybicki, E., Szykowska, M. I., & Kołodziejczyk, M. (2008). Antibacterial Properties of Silver-Finished Textiles, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 16, No. 5 (70), Hal. 101-107