Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry
journal homepage: http://jurnal.untan.ac.id/index.php/IJoPAC

SINTESIS TIO_2-KAOLIN DAN UJI AKTIVITAS FOTOKATALISIS UNTUK ANTIBAKTERI *Escherichia Coli* DAN *Staphylococcus aureus*

Desi Listiani, Ajuk Sapar, and Anthoni Batahan Aritonang

Department of Chemistry, Tanjungpura University, Indonesia

*Corresponding author: toniarios08@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:
Received
28 Serptember 2019
Accepted
4 October 2019
Available online
10 October 2019

Keywords:
TiO_2-kaolinite, sol gel, photocatalysis, antibacteria, *E. coli, S. aureus*

ABSTRACT

Synthesis of TiO_2-kaolinite has been performed using solgel method with titanium tetraisopropoxide (TTIP) as precursor. Synthesis of TiO_2-kaolinite by temperature calcination 450 °C for 2 hours to obtain TiO_2-kaolinite anatase and then the antibacterial photocatalysis activity of *E. coli* and *S. aureus* was performed. Identification of the characteristics TiO_2-kaolinite used XRD, SEM, FTIR, and DR-UV. It was found that TiO_2-kaolinite has been anatase phase structure with the particle size is 19-103 nm, and have a spheric morphology. Infrared spectra indicate a specific group in wave number 921 cm^{-1}. The antibacterial photocatalysis activity test was performed in liquid media and measurements by the Optical Density (OD) is using Spectrophotometer UV-Vis at wavelength of 600 nm. The results photocatalysisis activity of TiO_2-kaolinite for *E.coli,* TiO_2-kaolinite can kill bacteria occured in the 60th minute, while for *S. aureus* TiO_2-kaolin can kill bacteria occured in the 100th minute. Our results clearly that the TiO_2-kaolinite has potential as an antibacterial material in water sterilization.

© 2019 IJoPAC. All rights reserved

1. Pendahuluan

Air merupakan salah satu unsur penting yang diperlukan oleh makhluk hidup. Saat ini, kualitas air bersih menurun akibat adanya pencemaran senyawa organik maupun anorganik dan mengandung mikroorganisme yang dapat merugikan kesehatan manusia. Oleh karena itu diperlukan teknologi pengolahan air bersih yang sederhana. Teknologi konvensional yang biasanya digunakan untuk mengolah air yaitu metode ozonisasi, klorinasi, dan biodegradasi. Namun teknologi tersebut memiliki kekurangan diantaranya menghasilkan residu dalam air yang bersifat karsinogenik[1]. Sehingga, diperlukan teknologi sederhana dan aman untuk mengolah air bersih. Salah satu metode yang sedang berkembang saat ini dalam pengolahan air yaitu fotokatalisis.

Beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai fotokatalisis telah banyak dikembangkan, karena dapat mendekomposisi senyawa organik maupun anorganik. Salah satu material semikonduktor yang digunakan dalam fotokatalisis yaitu titanium dioksida (TiO_2). Titanium dioksida (TiO_2) memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki sifat optik yang baik, biaya murah, dan tidak toksik [2], [3]. Titanium dioksida (TiO_2) merupakan semikonduktor fotokatalisis yang memiliki 3 bentuk kristal yaitu rutile, anatase, dan brookit[4]. Bentuk rutile pada umumnya paling stabil, namun

demikian bentuk anatase memiliki aktivitas fotokatalisis yang lebih tinggi daripada bentuk lainnya dalam mendegradasi berbagai senyawa polutan dan dapat membunuh mikroorganisme dalam air [5], [4].

Mekanisme reaksi fotokatalisis terjadi ketika permukaan TiO_2 diiluminasi dengan cahaya yang berenergi sama atau lebih besar dari celah pita energinya (*band gap*). Akibatnya, elektron di pita valensi (VB) akan membentuk photo electron (e^-) dan tereksitasi ke pita konduksi (CB). Sehingga pada VB akan terbentuk photo hole (h^+) dan pada CB terbentuk e^-. Photo hole (h^+) dan e^- yang terbentuk berdifusi menuju permukaan TiO_2. . Photo hole (h^+) mengoksidasi molekul air (H_2O) atau anion hidroksida (OH^-) membentuk radikal hidroksil (•OH), sedangkan e^- akan menginisiasi reaksi reduksi molekul O_2 teradsorpsi di permukaan membentuk radikal peroksida ($•O_2^-$)[6]. Radikal hidroksil (•OH) mampu membunuh atau inhibisi mikroorganisme seperti bakteri, dan virus[7].

Salah satu keterbatasan TiO_2 sebagai fotokatalis dalam media cairan yaitu dalam kemampuan adsorpsi substrat organik maupun bakteri. Hal ini menyebabkan jumlah substrat teradsorpsi masih rendah. Selain itu, pemisahan katalis dari media cairan sulit dilakukan. Sehingga, upaya untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya, dapat dilakukan dengan cara mengimpregnasikan TiO_2 pada permukaan kaolin. Kaolin capkala memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 0,65 mg/g[8]. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai aktivitas fotokatalisis TiO_2 yang diimpregansi pada permukaan kaolin capkala untuk antibakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) dan *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*). Pada penelitian ini TiO_2 disintesis menggunakan metode sol gel karena memiliki kelebihan diantaranya yaitu efektif dalam sintesis partikel TiO_2 berskala nano[6], [9].

2. Material dan Metode

2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian yaitu peralatan gelas seperti batang pengaduk, cawan petri, erlenmeyer, gelas beaker, labu ukur, pipet tetes, pipet volume, peralatan penunjang seperti autoklaf, furnace, hot plate, kawat ose, lampu UV, neraca analitik, oven, pengaduk magnet, penggerus porselin,, saringan 170 mesh, dan sentrifuse. Peralatan analisis seperti DR-UV, FTIR, SEM, Spektrofotometer UV-Vis, dan XRD.

2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian yaitu agar-agar, akuades (H_2O), asam asetat (CH_3COOH), asetil aseton (acac), bakteri *E. coli*, bakteri *S. aureus*, etanol (C_2H_5OH), kaolin desa capkala, natrium klorida (NaCl), pepton, dan titanium isopropoksida (TTIP), dan *yeast extract*.

2.3. Prosedur Kerja

2.3.1. Preparasi Kaolin Capkala

Kaolin dicuci menggunakan akuades hingga pH-nya mencapai pH pencuci dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C. Kemudian digerus dan disaring menggunakan ayakan 170 *mesh* [10]. Hasil yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan XRD dan FTIR.

2.3.2. Sintesis Sol Ti(OH)n

Sol Ti(OH)n dibuat dengan mencampurkan larutan A ke dalam larutan B, dengan tahapan sebagai berikut: Larutan A dibuat dari 2 mL asam asetat dan 2 mL akuades dicampurkan secara bersaan ke dalam 26,5 mL etanol. Larutan B dibuat dari 7,5 mL TTIP dilarutkan dalam 26,5 mL etanol dan dimasukkan ke dalam labu refluks, lalu diaduk dengan pengaduk magnet, kemudian ditambahkan 1 mL asetilaseton. Larutan A diteteskan secara perlahan (2 mL per-menit) ke dalam larutan B dalam perangkat refluks pada kondisi suhu 55 °C selama 2 jam. Kemudian didiamkan selama 10 menit hingga didapatkan sol Ti(OH)n yang stabil hingga beberapa minggu[11].

2.3.3. *Sintesis TiO_2-kaolin*

Sejumlah kaolin diaduk cepat bersama suspensi sol TiO_2 yang dimasukkan secara perlahan. Banyaknya kaolin yang dicampurkan yaitu 10% (b/v) dari volume sol TiO_2. Proses pencampuran ini dilakukan pada suhu 37 °C dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 4 jam, serta proses *aging* selama 16 jam. TiO_2-kaolin yang terbentuk kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70 °C selama 2-4 jam. Kemudian dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 450 °C untuk memperoleh kristal TiO_2 terimpregnasi kaolin dengan fase anatase[12]. Hasil yang diperoleh dianalisis menggunakan XRD, FTIR, dan SEM.

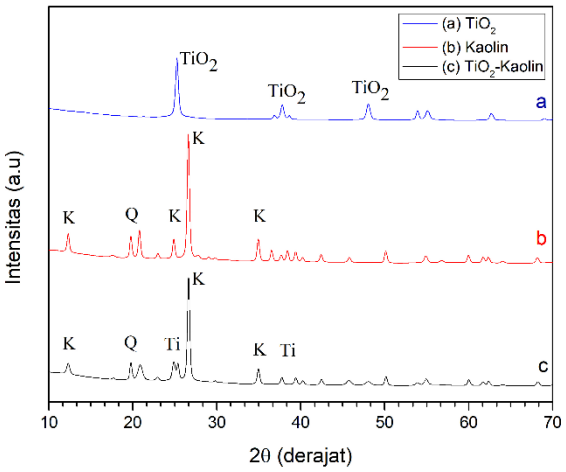
2.3.4. *Uji Aktivitas Fotokatalisis*

Uji aktivitas fotokatalisis menggunakan metode *Optical Density* (OD) dengan alat Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm. Uji aktivitas dilakukan menggunakan reaktor fotokatalisis. Pengukuran dilakukan menggunakan model air persemaian bakteri dengan perbandingan air steril:bakteri (99:1). Sampel yang digunakan untuk uji aktivitas yaitu sebanyak 0,1% dari jumlah air persemaian bakteri. Selanjutnya untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk inhibisi bakteri, sampel larutan diambil sebanyak 3 mL setiap 20 menit selama 120 menit[1]. Uji akivitas fotolisis dan adsorpsi dilakukan sebagai kontrol.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 *Karakterisasi*

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui fasa kristal, ukuran kristal, dan keberhasilan impregnasi TiO_2 pada kaolin. Difraktogram TiO_2, kaolin, dan TiO_2-kaolin dapat dilihat pada Gambar



1.

Gambar 1. Difraktogram sinar-X sampel TiO_2, kaolin, dan TiO_2-kaolin.

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, diketahui bhawa puncak-puncak TiO_2 menunjukkan adanya serapan pada sudut 2θ pada 25,2; 37,76; 48,01; dan 55,05. Semua puncak pada pola difraksi untuk sampel TiO_2 menunjukkan bahwa sampel memiliki fase anatase. Hasil ini bersesuaian dengan data standar TiO_2 degusa (JCPDS No. 21-1272)[13].

Pada difraktogram kaolin capkala, menunjukkan adanya serapan pada sudut 2θ = 20,77 yang merupakan mineral kuarsa. Selain itu difraktogram kaolin menunjukkan adanya mineral kaolin yang

muncul pada sudut 2θ = 12,28; 24,84; dan 26,57. Semua puncak pada pola difraksi untuk sampel kaolin bersesuaian dengan data standar (JCPDS No. 01-075-8897).

Hasil impregnasi TiO_2 pada kaolin dapat dilihat pada Gambar 1, dimana hasil difraktogram menunjukkan adanya puncak-puncak baru pada daerah 2θ. Jika dibandingkan dengan hasil karakterisasi TiO_2, difraktogram TiO_2-kaolin menunjukkan puncak-puncak yang sesuai dengan karakteristik TiO_2. Hal ini membuktikan bahwa impregnasi TiO_2 pada kaolin telah berhasil dilakukan. Hasil karakterisasi menunjukkan TiO_2 yang terimpregnasi pada kaolin pada fase anatase pada sudut 2θ = 25,3; 37,8; dan 55,05. Ukuran kristal partikel dapat diketahui dengan menggunakan persamaan *Scherrer* pada persamaan berikut[14]:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

Keterangan:

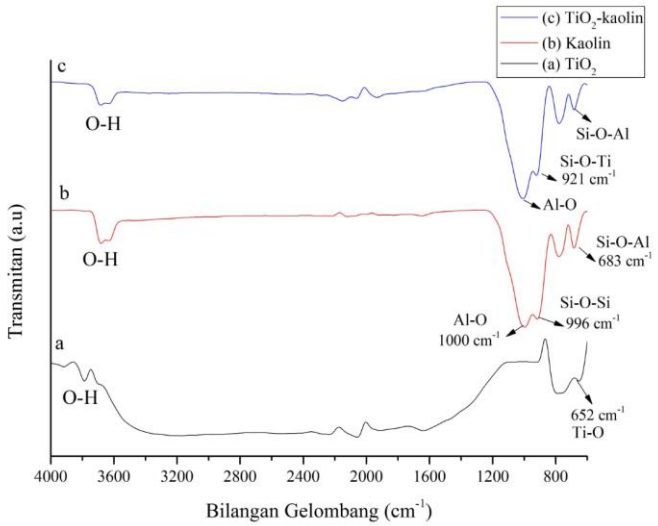
λ = panjang gelombang Cu-Kα

β = FWHM (lebar puncak pada setengah maksimum)

θ = sudut difraksi

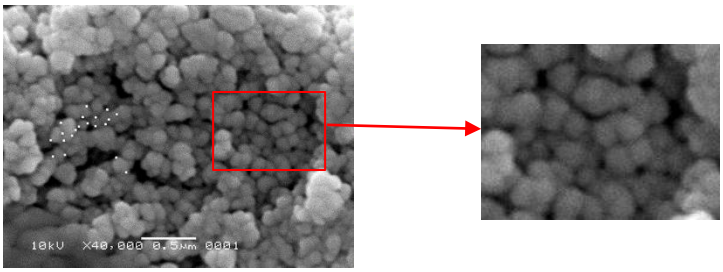
Ukuran kristal yang diperoleh yaitu kaolin 26,69 nm, TiO_2 19,773 nm, dan TiO_2-kaolin 26,552 nm

Spektrum serapan infra merah TiO_2 menunjukkan bahwa terdapat serapan pada bilangan gelombang 652 cm^{-1} dan 805 cm^{-1} yang merupakan vibrasi khas dari Ti-O-Ti[15]. Sedangkan pada spektrum serapan infra merah kaolin capkala , terdapat serapan pada bilangan gelombang 683 cm^{-1} yang merupakan vibrasi Si-O-Al, serapan bilangan gelombang 996 cm^{-1} yang merupakan vibrasi khas dari Si-O-Si, dan serapan bilangan gelombang 1000 cm^{-1} yang merupakan vibrasi khas dari Al-O. Setelah dilakukan impregnasi TiO_2 pada kaolin, terdapat serapan baru pada bilangan gelombang 921 cm^{-1} yang merupakan vibrasi Si-O-Ti[16], hal ini menandakan bahwa proses impregnasi TiO_2 pada permukaan kaolin telah berhasil dilakukan. Selain itu, pada setiap spektrum serapan infra merah sampel, terdapat serapan pada bilangan gelombang sekitar 3800 cm^{-1} yang merupakan vibrasi O-H terkait dengan adanya ikatan (Ti-OH). Spektrum serapan infra merah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektra IR TiO_2, kaolin capkala, dan TiO_2-kaolin.

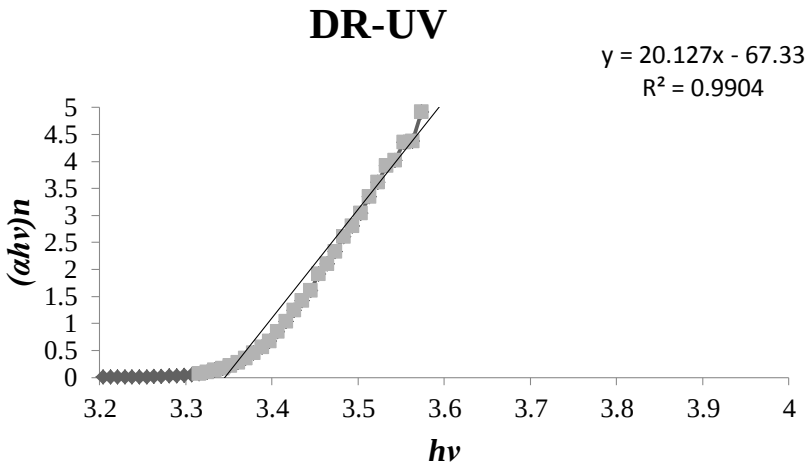
Untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan dan ukuran partikel TiO_2-kaolin, dilakukan karakterisasi menggunakan SEM. Untuk mengetahui ukuran partikel, dilakukan pengolahan data menggunakan aplikasi ImageJ. Bentuk morfologi TiO_2-kaolin dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Foto SEM TiO_2-kaolin

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bulir-bulir kecil yang diduga merupakan TiO_2 yang menempel atau menutupi permukaan kaolin capkala. Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan aplikasi ImageJ, diperoleh ukuran partikel berkisar antara 19-103 nm. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan menggunakan persamaan *Scharrer* yaitu 19,773 nm.

A nalisis DR-UV digunakan untuk mengetahui nilai energi *band gap* sampel TiO_2 yang telah disintesis. Dalam menentukan nilai energi *band gap* dapat menggunakan metode plot grafik Tauc, sehingga diperoleh nilai energi *band gap* TiO_2 yaitu 3,34 eV. Nilai energi *band gap* tersebut menunjukkan bahwa TiO_2 memiliki fase kristal anatese, yang bersesuaian dengan hasil karakterisasi XRD yang menyatakan bahwa TiO_2 memiliki fase kristal anatse. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang mengatakan nilai energi *band gap* TiO_2 yaitu 3,3 eV[17].



Gambar 4. Grafik analisis DR-UV TiO_2 hasil sintesis

3.2 Uji Aktivitas

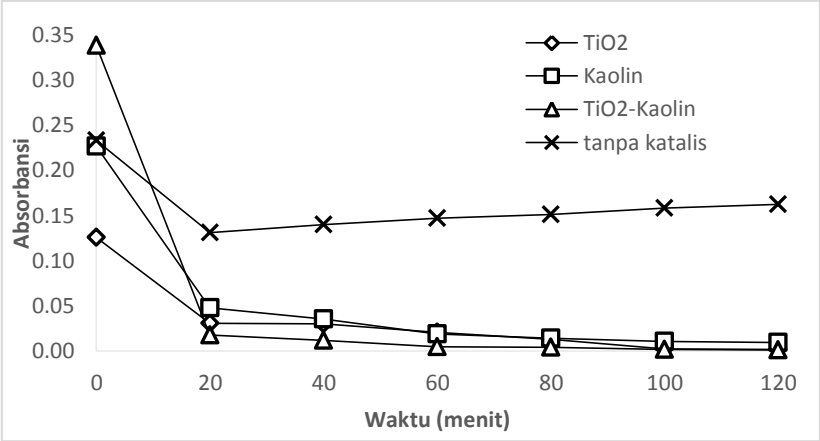
Uji aktivitas dilakukan di dalam reaktor fotokatalisis dengan sisten *batch* yang dilengkapi dengan pengaduk magnet dan pendingin untuk menjaga suhu di dalam reaktor. Di dalam reaktor dilengkapi dengan 5 buah lampu UV *black light* 25 watt, seperti pada Gambar 5. Pada penelitian ini dilakukan uji aktivitas TiO_2, kaolin, dan TiO_2-kaolin terhadap bakteri gram negatif (*E. coli*) dan bakteri gram positif (*S. aureus*).



Gambar 5. Reaktor uji aktivitas fotokatalisis.

3.2.1 *Bakteri E. coli*

Besarnya daya hambat sinar UV (fotolisis), TiO_2, kaolin, dan TiO_2-kaolin yang diiluminasi sinar UV (fotokatalisis) dapat dilihat pada Gambar 6.



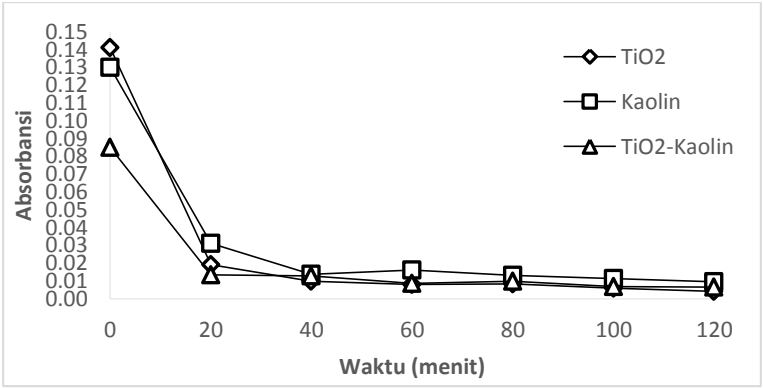
Gambar 6. Kurva hubungan absorbansi terhadap waktu dalam aktivitas fotokatalisis dan fotolisis terhadap inhibisi bakteri *E. coli*.

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada aktivitas fotolisis (tanpa katalis) terjadi penurunan absorbansi pada menit ke-20. Namun, pada menit ke-40 hingga menit ke-120 mengalami peningkatan absorbansi. Hal ini membuktikan bahwa sinar UV tidak dapat membunuh bakteri *E.coli*, tetapi hanya dapat menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli*.

Pada aktivitas fotokatalisis TiO_2, kaolin, dan TiO_2-kaolin terjadi penurunan absorbansi pada menit ke-20 hingga menit ke-120. Pada fotokatalis TiO_2, dapat membunuh bakteri *E. coli* pada menit ke-100, sedangkan pada fotokatalis TiO_2-kaolin dapat membunuh bakteri *E. coli* pada menit ke-60. Hasil uji aktivitas fotokatalis TiO_2-kaolin lebih baik dari pada fotokatalis TiO_2 dan kaolin. Hal ini dikarenakan material TiO_2 yang terimpregnasi pada kaolin memiliki fungsi ganda yaitu sebagai adsorben serta sebagai fotokatalis[18]. Kaolin tidak dapat membunuh bakteri, tetapi hanya dapat menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli*. Sehingga, dapat diasumsikan bahwa uji aktivitas

menggunakan kaolin dengan iluminasi sinar UV, bakteri *E. coli* hanya teradsorpsi pada permukaan kaolin.

Sebagai kontrol atau pembanding, dilakukan uji aktivitas adsorpsi untuk mengetahui pengaruh sinar UV terhadap inhibisi bakteri *E.coli*. Besarnya daya hambat TiO_2, kaolin, dan TiO_2-kaolin tanpa iluminasi sinar UV dapat dilihat pada Gambar 7.

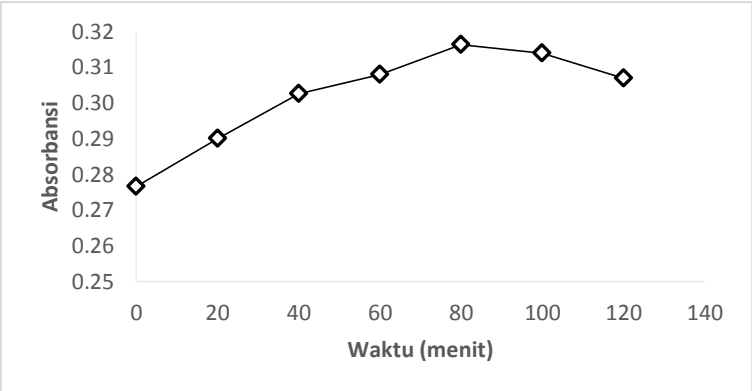


Gambar 7. Kurva hubungan absorbansi terhadap waktu dalam aktivitas adsorpsi terhadap inhibisi bakteri *E. coli*.

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada aktivitas adsorpsi (tanpa bantuan iluminasi sinar UV) terjadi penurunan absorbansi pada menit ke-20 hingga menit ke-120. Titanium dioksida (TiO_2) memiliki daya inhibisi yang lebih baik daripada kaolin, dan TiO_2-kaolin. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7 dimana TiO_2 memiliki nilai absorbansi pada menit ke-0 paling tinggi dan nilai absorbansi paling rendah pada menit ke-20 hingga menit ke-120. Berdasarkan Gambar 6 dan 7, dapat disimpulkan bahwa fotokatalis TiO_2-kaolin memiliki aktivitas yang baik dalam menghambat bakteri *E.coli* ketika fotokatalis dikenai sinar UV.

3.2.1 Bakteri S. aureus

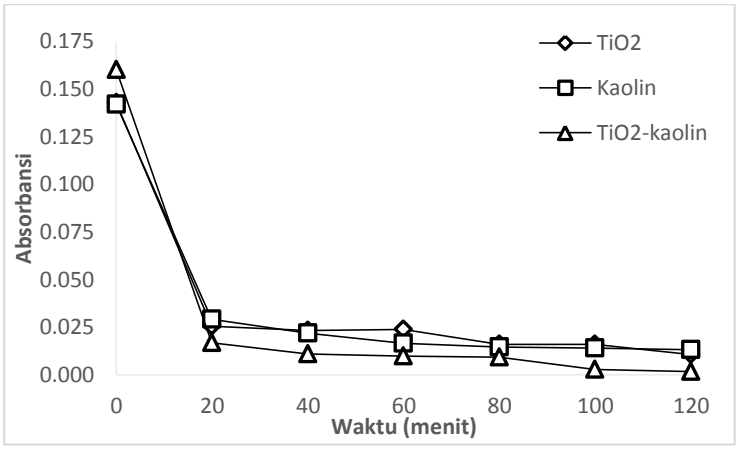
Besarnya daya hambat sinar UV (fotolisis) dapat dilihat pada Gambar 7, dan TiO_2, kaolin, TiO_2-kaolin yang diiluminasi sinar UV (fotokatalisis) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Kurva hubungan absorbansi terhadap waktu dalam aktivitas fotolisis terhadap inhibisi bakteri *S. aureus*.

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada aktivitas fotolisis (tanpa katalis) terjadi peningkatan absorbansi hingga menit ke-80. Namun, pada menit ke-100 hingga menit ke-120 mengalami penurunan absorbansi. Hal ini menunjukkan sinar UV menghambat pertumbuhan bakteri *S. aureus*

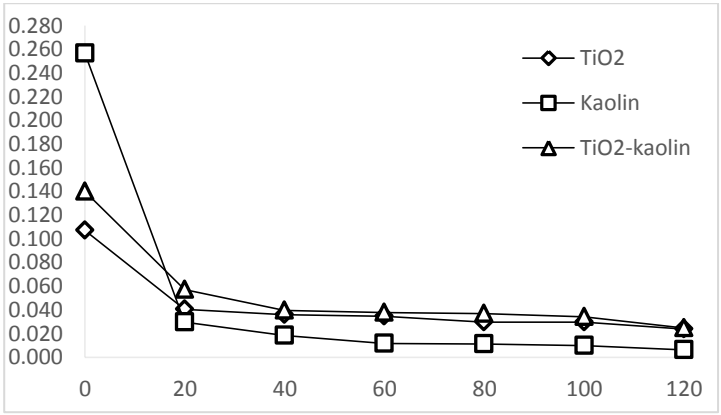
pada menit ke-100. Jika dibandingkan dengan aktivitas fotolisis bakteri *E. coli*, waktu yang dibutuhkan sinar UV untuk menghambat pertumbuhan bakteri *S. sureus* lebih lama daripada bakteri *E. coli*.



Gambar 8. Kurva hubungan absorbansi terhadap waktu dalam aktivitas fotokatalisis terhadap inhibisi bakteri *S. aureus*.

Pada aktivitas fotokatalisis TiO_2, kaolin, dan TiO_2-kaolin terjadi penurunan absorbansi hingga menit ke-20 dan berlanjut hingga menit ke-120. Pada fotokatalis TiO_2-kaolin dapat membunuh bakteri *S. aureus* pada menit ke-100. Sedangkan pada fotokatalis TiO_2 dan katalis kaolin hanya dapat menghambat pertumbuhan bakteri *S. aureus*. Hasil uji aktivitas fotokatalis TiO_2-kaolin lebih baik dari pada fotokatalis TiO_2 dan kaolin. Jika dibandingkan dengan hasil uji aktivitas fotokatalisis bateri *E.coli*, fotokatalis TiO_2, TiO_2-kaolin, dan kaolin menunjukkan aktivitas yang baik dalam menghambat dan membunuh bakteri *E.coli* daripada bakteri *S. aureus*. Hal ini dikarenakan bakteri gram positif yaitu *S. aureus* memiliki dinding sel yang terdiri dari banyak lapisan peptidoglikan, serta mengandung asam teikoat yang terdiri dari alkohol dan fosfat. Sedangkan bakteri gram negatif (*E.coli*) memiliki dinding sel yang mengandung satu atau beberapa lapisan peptidoglikan dan membran luar, dan tidak mengandung asam teikoat sehingga dinding sel bakteri *E. coli* lebih mudah rusak[19].

Sebagai kontrol atau pembanding, dilakukan uji aktivitas adsorpsi untuk mengetahui pengaruh sinar UV terhadap inhibisi bakteri *S. aureus*. Besarnya daya hambat TiO_2, kaolin, dan TiO_2-kaolin tanpa iluminasi sinar UV dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Kurva hubungan absorbansi terhadap waktu dalam aktivitas adsorpsi inhibisi bakteri *S. aureus*.

Gambar 9 menunjukkan bahwa pada aktivitas adsorpsi (tanpa bantuan iluminasi sinar UV) terjadi penurunan absorbansi pada menit ke-20 hingga menit ke-120. Kaolin memiliki daya adsorpsi yang lebih baik daripada TiO_2, dan TiO_2-kaolin. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9 dimana kaolin memiliki nilai absorbansi pada menit ke-0 paling tinggi dan nilai absorbansi paling rendah pada menit ke-20 hingga menit ke-120. Kecilnya daya hambat atau daya adsorpsi pada TiO_2 diakibatkan karena TiO_2 tidak aktif membentuk •OH pada keadaan gelap, sehingga tidak dapat merusak dinding sel bakteri.

Rusaknya dinding sel pada bakteri dapat menghambat pertumbuhan bakteri bahkan dapat menyebabkan kematian pada bakteri. Inhibisi pertumbuhan bakteri oleh fotokatalisis terjadi akibat adanya kontak antara dinding sel dengan •OH, kemudian •OH akan mengoksidasi membran sitoplasma. Kerusakan pada membran plasma akan meningkatkan permeabilitas sel, sehingga isi di dalam sel akan keluar yang mengakibatkan kematian pada sel bakteri[20].

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa bentuk morfologi fotokatalis TiO_2-kaolin yaitu bulat (*spheric*), memiliki struktur fasa anatase dengan ukuran partikel 19-103 nm. Selain itu, fotokatalis TiO_2-kaolin mampu menjadi penghambat pertumbuhan bakteri atau sebagai zat antibakteri *E.coli* dan *S. aureus*. Pada bakteri *E,coli*, fotokatalis TiO_2-kaolin dapat membunuh bakteri pada menit ke-60, sedangkan pada bakteri *S.aureus* fotokatalis TiO_2-kaolin dapat membunuh bakteri pada menit ke-100.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberi arahan dalam penyelesaikan penelitian.

Daftar Pustaka

[1] Naimah S, Ermawati R. (2011). Efek Fotokatalis Nano TiO_2 Terhadap Mekanisme Antimikroba *E. coli* dan *Salmonella*. *Jurnal Riset Industri*, 5 (2).

[2] Ma S, Zhan S, Jia Y, Zhou Q. (2015). Superior Antibacterial Activity of Fe_3O_4-TiO_2 Nanosheets under Solar Light. *ACS Appl Mater Interfaces*, 7: 21875-21883.

[3] Shabani A, Nabiyouni G, Saffari J, Ghanbari D. (2016). Photo-catalyst Fe_3O_4-TiO_2 Nanocomposite: Green Synthesis and Investigation of Magnetic Nanoparticles Coated on Cotton. *J Mater Sci: Mater Electron*.

[4] Dedkova K, Matejova, Lang J, Peikertova P, Kutlakova KM, Neuwirthova L, Frydrysek K, Kukutschova J. (2014). Antibacterial Activity of Kaolinite/NanoTiO_2 Composite in Relation to Irradiation Time. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 135: 17 – 22.

[5] Listianti L, Taufiq A, Hidayat A, Sunaryono S . (2018). Investigasi Struktur dan Energi Band Gap Partikel Nano TiO_2 Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol Gel. *Journal of Physical Science and Engineering*, 3 (1).

[6] Linsebigler AL. (1995). Photocatalytic on TiO2 Surface: Principle Mechanism and Selected Results. *Chem Rev*, 95: 735-758.

[7] Foster H A, Ditta I B, Varghese S. (2011). Photocatalytic using Titanium Dioxide: Spectrum and Mechanism of Antimicrobial Activity. *Appl Microbiol Biotechnol*, 90: 1847-1868.

[8] Wahyuni N, Silalahi I H, Angelina D. (2019). Isoterm Adsorpsi Fenol oleh Lempung Alam. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 7: 29-37.

[9] Sucahya T N, Permatasari N, Nandiyanto A B D. (2016). Review: Fotokatalis untuk Pengolahan Limbah Cair, *Jurnal Integrasi Proses*, 6 (1).
[10] Kesuma R F, Sitorus B, Adhityawarman. (2013). Karakterisasi Pori Adsorben Berbahan Baku Kaolin Capkala dan Zeolit Dealuminasi. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 19-23.
[11] Yang J, Bai H, Lian J. (2008). Visible-light Photocatalysis in Nitrogen-Carbon-Doped TiO_2 Film Obtained by Heating TiO_2 Gel Film in an Ionized N_2 gas. *Thin Solid Films*, 516: 1736-17429.
[12] Kutlakova K M, Tokarsky J, Kovar P, Votjeskova S, Kuvarova A, Smatena B, Kukutschova J, Capkova P, Matejka V. (2011). Preparation and Characterization of Photoactive Composite Kaolinite/TiO_2. *Journal of Hazardous Materials*, 188: 212-220.
[13] Aritonang A B, Krisnandi Y K, Gunlazuardi J. (2018). Modification of TiO_2 Nanotube Arrays with N Doping and Ag Decorating for Enhanced Visible Light Photoelectrocatalytic Degradation of Methylene Blue. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 8: 234-241.
[14] Abdullah M, Khairurrijal. (2010). Karakterisasi Nanomaterial: Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data. Cv Rezek Putera Bandung, Bandung.
[15] Aritonang A B, Surahman H, Krisnandi Y K, Gunlazuardi J. (2017). Photo-electro-catalytic Performance of Highly Ordered Nitrogen Doped TiO_2 Nanotubes Array Photoanode. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
[16] Wang C, Shi H, Zhang P, Li Y. (2011). Synthesis and Characterization of Kaolinite/TiO2 Nano-photocatalysts. *Applied Clay Science*. 53: 646-649.
[17] Tjahjanto R T, Gunlazuardi J. (2001). Preparasi Lapis Tipis TiO2 sebagai Fotokatalis: Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis. *Makara Jurnal Penelitian Indonesia*, 5: 81-90.
[18] Fatimah I, Wijaya K. (2005). Sintesis TiO_2/Zeolit sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka secara Adsorpsi-Fotodegradasi. *TEKNOIN*, 10: 257-267.
[19] Radji M. (2011). *Mikrobiologi*. Buku Kedokteran ECG, Jakarta.
[20] Song H Y, Ko K K, Oh I, Lee B T. (2006). Fabrication of Silver Nanoparticles and Their Antimicrobial Mechanisms. *European Cell and Materials*, 11:58.