



# Modification Of Kaolin Capkala With Benzalkonium Chloride (Bkc) Surfactant And Antibacterial Activity Test Against *Escherichia Coli*



Jeny Clarita <sup>a</sup>, Puji Ardiningsih <sup>a</sup>, Nelly Wahyuni <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Indonesia

\* Corresponding Author: [nellywahyuni@chemistry.untan.ac.id](mailto:nellywahyuni@chemistry.untan.ac.id)

## ABSTRACT

A study was conducted to determine the antibacterial activity of modified benzalkonium chloride (BKC) kaolin Capkala against *Escherichia coli* (*E. coli*) bacteria. Kaolin modification begins by melting kaolin with sodium hydroxide (NaOH) and reacting using a reflux device. Furthermore, the sample was reacted with BKC at a concentration variation of 0,  $2.5 \times 10^{-3}$ ,  $5 \times 10^{-3}$ , and  $2.5 \times 10^{-2}$  M for 6 hours with a stirring speed of 150 rpm. The modified kaolin was characterized using Fourier Transformed Infrared (FTIR), and adsorption tests were performed on Cl<sup>-</sup>. The FTIR spectrum of the modified kaolin showed an absorption peak at  $2926.19 \text{ cm}^{-1}$  C-H symmetrical from CH<sub>2</sub>, which indicated the attachment of surfactant to the kaolin. BKC modified kaolin antibacterial activity test using the halo test method. The adsorption test on Cl<sup>-</sup> and the antibacterial activity test on kaolin and modified kaolin increased with increasing BKC concentration, namely 3545; 3828.6, 3970.4; 4183.1 mg/L and the inhibitory diameter were  $2.1 \pm 0.14$ ,  $3.3 \pm 0.14$ ,  $4.5 \pm 0.14$ , and  $6 \pm 0.14$  mm, respectively. The results showed that BKC can increase the antibacterial activity of kaolin

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## Article History

Received 2021-09-07

Revised 2023-10-23

Accepted 2023-11-03

## Keywords

Antibacterial  
*Escherichia coli*  
Kaolin  
Surfactant  
Benzalkonium chloride

## 1. Pendahuluan

Kaolin merupakan salah satu contoh adsorben yang berasal dari bahan alam berupa mineral non logam, dan banyak ditemukan di provinsi Kalimantan Barat khususnya di kecamatan Capkala kabupaten Bengkayang, yang memiliki potensi kaolin sebesar 180.000.000 ton dengan sebaran luas sekitar 1.800 hektar [1]. Kaolin memiliki gugus hidroksil yang menyebabkan kaolin bermuatan negatif yang berasal dari perbandingan silika dan alumina (Si:Al) yang perbandingannya lebih kecil daripada muatan positifnya. Muatan inilah yang berpotensi untuk mengikat kation yang dipertukarkan dari bahan atau molekul lain, sehingga kaolin banyak dimanfaatkan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi kation [2].

Pemanfaatan kaolin telah dikenal sebagai adsorben, *filler* dalam industri keramik dan kertas, serta bahan pembuatan kosmetik. Kaolin diketahui memiliki aktivitas sebagai antibakteri, namun muatan negatif pada permukaan kaolin menyebabkan kaolin cenderung sulit untuk berinteraksi dengan dinding sel bakteri yang bermuatan negatif, sehingga pemanfaatannya sebagai antibakteri masih belum efektif. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk meningkatkan aktivitas antibakteri kaolin yaitu dengan memodifikasi kaolin menggunakan surfaktan kationik yaitu benzalkonium klorida (BKC). Menurut penelitian Ramli [3], kaolin yang termodifikasi surfaktan kationik *cetylpyridinium bromide* (CPB) dilaporkan mempunyai aktivitas antibakteri yang baik terhadap bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*), di mana pada konsentrasi CPB di bawah konsentrasi kritis misel (KKM) tidak ada aktivitas antibakteri

sedangkan pada konsentrasi CPB di atas KKM terdapat aktivitas antibakterinya dan hasil terbaik yaitu pada konsentrasi CPB 4 mM dengan rata-rata diameter zona hambat 1,51 mm.

Modifikasi kaolin menggunakan surfaktan kationik BKC diharapkan dapat meningkatkan efisiensi kaolin yang semula hanya sebagai adsorben kation dapat juga digunakan sebagai adsorben anion, molekul non polar dan aktivitas antibakterinya. Modifikasi kaolin dengan surfaktan BKC diawali dengan preparasi kaolin yang bertujuan untuk meningkatkan kereaktivitas kaolin sehingga lebih mudah untuk dimodifikasi dengan surfaktan BKC. BKC adalah surfaktan kation yang terdiri dari dua bagian yaitu bagian kepala bermuatan positif dan bersifat hidrofilik sedangkan bagian ekor tidak bermuatan dan bersifat hidrofobik [4]. Di mana kepala surfaktan yang bersifat hidrofilik akan menembus dinding sel bakteri sehingga mengganggu fungsi normalnya dan mengalami kerusakan intraseluler hingga sel bakteri lisis dan mati. Bakteri adalah salah satu mikroorganisme yang tidak mempunyai membran inti sel, mikroorganisme ini termasuk ke dalam jenis prokariot dan berukuran sangat kecil (mikroskopik). Beberapa jenis bakteri dapat menyebabkan terjadinya infeksi dan penyakit, salah satu contohnya yaitu bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*).

Kaolin termodifikasi diuji aktivitas antibakterinya terhadap *E.coli* karena *E.coli* merupakan salah satu contoh bakteri yang umum dan sering ditemukan di kehidupan manusia. *E. coli* merupakan bakteri yang berada di saluran pencernaan bagian bawah dan termasuk jenis bakteri gram negatif serta dapat menjadi patogen jika perkembangannya di dalam tubuh melebihi batas normalnya. Penyakit yang umumnya disebabkan oleh *E.coli* adalah penyakit diare [5]. Keberadaan bakteri *E. coli* sering ditemukan pada air minum maupun sumber air minum [6,7]. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi kaolin Capkala dengan variasi konsentrasi surfaktan BKC dan uji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) menggunakan metode *halo test*.

## 2. Metodologi

### 2.1. Alat dan Bahan

Alat penelitian yang digunakan antara lain alat-alat gelas yang umum digunakan, inkubator, oven OFA-110-8, shaker, spektrofometri inframerah Perkin Elmer FT-IR Model:Frontier S/N: 96772 dan tanur Nabertherm GmbH.

Bahan penelitian yang digunakan antara lain akuades, isolat bakteri *E.coli*, kalium kromat ( $K_2CrO_4$ ) MERCK, kaolin, natrium hidroksida (NaOH) MERCK, natrium klorida (NaCl) MERCK, nutrient agar MERCK, nutrient broth MERCK, perak nitrat ( $AgNO_3$ ) MERCK dan surfaktan Benzalkonium klorida 80% teknis (BKC).

### 2.2. Prosedur Penelitian

#### **Preparasi Kaolin**

Sampel kaolin Capkala dihaluskan dan dicuci menggunakan akuades, kemudian diambil lapisan atasnya dan dikeringkan dengan panas matahari. Kaolin hasil pengeringan kemudian digerus dan disaring dengan ayakan 325 mesh. Kaolin 325 mesh dipanaskan menggunakan tanur pada suhu 600°C selama 4 jam. Selanjutnya kaolin dileburkan dengan NaOH pada perbandingan 1:1 pada suhu 400°C selama 1jam. Hasil peleburan dilarutkan dengan akuades (10 g kaolin / 100mL air) dan didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya, direaksikan secara hidrotermal menggunakan alat refluks selama 6 jam pada suhu 90°C. Hasil yang diperoleh dicuci menggunakan akuades hingga netral dan dioven selama 2 jam pada suhu 120°C [8].

#### **Modifikasi Kaolin dengan Surfaktan**

Kaolin hasil preparasi dicuci menggunakan akuades dan ditambahkan surfaktan benzalkonium klorida dengan variasi konsentrasi  $2,5 \times 10^{-3}$ ;  $5 \times 10^{-3}$  dan  $2,5 \times 10^{-2}$  M dengan perbandingan 1:5 (padatan : cairan) dan dilakukan pengadukan dengan *shaker* pada 150 rpm selama 6 jam. Selanjutnya, endapan dicuci menggunakan akuades dan didiamkan di suhu ruang semalaman. Kemudian padatan dikeringkan pada suhu 250°C [8].

#### **Uji Adsorpsi Kaolin Termodifikasi BKC terhadap *Cl***

Kaolin termodifikasi BKC ditimbang sebanyak 0,2 g ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan larutan NaCl sebanyak 25 mL. Selanjutnya, dilakukan pengadukan selama 6 jam menggunakan *rotary shaker* dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu, dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh dititrasikan untuk menentukan kadar Cl<sup>-</sup> yang mengacu pada SNI. Filtrat dipipet sebanyak 20 mL dan ditambahkan 3 tetes larutan indikator K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> 5%. Setelah itu, dititrasikan menggunakan larutan baku AgNO<sub>3</sub> sampai titik akhir titrasi yang ditandai dengan terbentuknya endapan merah kecoklatan dari Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> dan dicatat volume AgNO<sub>3</sub> yang digunakan. Selanjutnya dilakukan titrasi terhadap blanko dengan metode yang sama. Kadar Cl<sup>-</sup> yang teradsorpsi dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Kadar Cl}^- \text{ mg/L} = \frac{(A-B) \times N \times 35,450}{V} \quad (1)$$

Keterangan :

A= Volume larutan baku AgNO<sub>3</sub> untuk titrasi sampel (mL)

B= Volume larutan baku AgNO<sub>3</sub> untuk titrasi blanko (mL)

N= Normalitas larutan baku AgNO<sub>3</sub> (mgrek/L)

V= Volume sampel

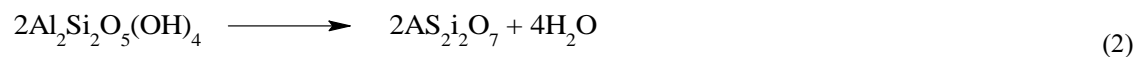
### Uji aktivitas antibakteri kaolin termodifikasi BKC

Satu ose isolat bakteri *E.coli* hasil peremajaan disuspensikan dengan 10 ml larutan Nutrien broth (NB) dan dishaker selama 24 jam pada 150 rpm. Selanjutnya sebanyak 0,2 mL suspensi bakteri diinokulasikan pada media agar (NA) yang telah memadat, kemudian sampel kaolin termodifikasi BKC sebanyak 0,2 g diletakkan di tengah media agar dan diinkubasi selama 24 jam, dan diamati apakah terbentuk zona hambat atau zona bening di sekitaran sampel kaolin termodifikasi BKC. Prosedur yang sama dilakukan pada kaolin yang tidak dimodifikasi [9,10].

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Preparasi Kaolin

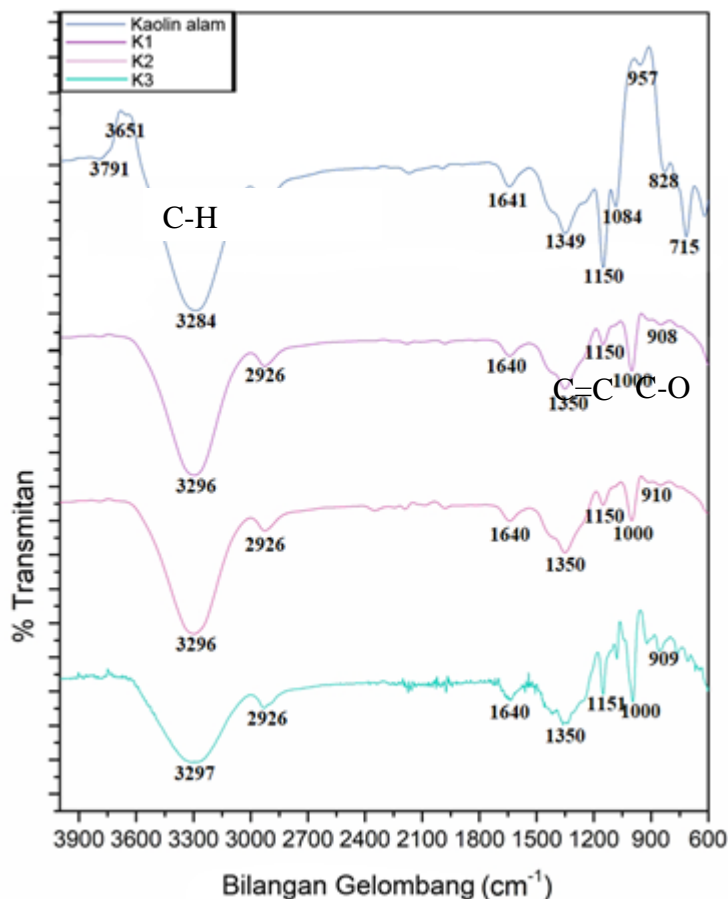
Preparasi kaolin bertujuan untuk menghilangkan kotoran-kotoran pada permukaan kaolin serta memperoleh kaolin yang memiliki karakter lebih baik sehingga dapat dimodifikasi dengan surfaktan. Preparasi kaolin termodifikasi surfaktan BKC diawali dengan proses kalsinasi kaolin pada suhu 600°C menyebabkan kaolin mengalami dehidrasi yaitu pelepasan molekul air pada struktur kaolin membentuk metakaolin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>. Metakaolin adalah bentuk dehidroksi dari mineral kaolinit tanah. Berdasarkan penelitian Wahyuni [11], hasil analisis kaolin dan metakaolin menggunakan termogravimetri (TGA) menunjukkan bahwa kaolin alam ke metakaolin mengalami dehidroksilasi yaitu sebesar 12,62%. Dehidroksilasi menunjukkan bahwa terjadi reorganisasi dan difusi gugus hidroksil pada permukaan kaolin. Metakaolin lebih reaktif daripada kaolin karena adanya gangguan struktural berupa deformasi silika dan alumina. Reaksi kaolin menjadi metakaolin dapat dilihat dari persamaan reaksi (1). NaOH berperan sebagai mineralizer, yaitu suatu senyawa yang dapat mempercepat proses kristalisasi dengan mengaktifkan Si dan Al pada metakaolin menjadi fase mineral yang mudah larut [12-14].



### 3.2. Modifikasi Kaolin dengan Surfaktan

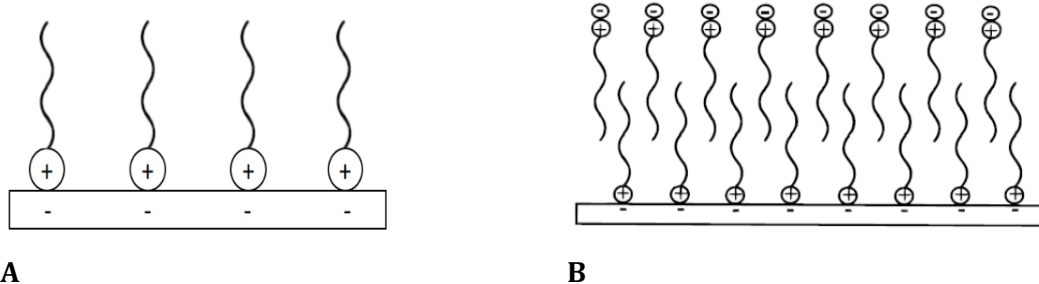
Modifikasi kaolin dengan surfaktan bertujuan untuk mengikat atau mengadsorpsi surfaktan pada permukaan kaolin. Adsorpsi surfaktan pada permukaan kaolin terjadi karena adanya reaksi antara muatan positif pada surfaktan dengan muatan negatif pada permukaan kaolin alam. Kaolin termodifikasi dikarakterisasi menggunakan FTIR dan spektrumnya dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terlihat kaolin alam dan kaolin termodifikasi memiliki perbedaan puncak serapan. Pada kaolin alam, muncul puncak pada bilangan gelombang 3791 cm<sup>-1</sup> dan 3651cm<sup>-1</sup> yang merupakan gugus OH dari H<sub>2</sub>O pada lembar oktahedral kaolin alam. Selain itu, puncak serapan pada 715 cm<sup>-1</sup> kaolin alam mengindikasikan adanya gugus vibrasi

regangan Si-O kaolin alam [15]. Hasil dari preparasi kaolin alam pada penelitian ini tidak terbentuk zeolit sintetis yang dapat dilihat pada hasil karakterisasi FTIR Gambar 3.1 (K1); (K2); (K3) yang tidak menunjukkan karakteristik dari zeolit sintetis. Menurut Haditya [16], spektrum FTIR dari zeolit terletak pada pita serapan 1200-400  $\text{cm}^{-1}$ , seperti puncak serapan 472  $\text{cm}^{-1}$  yang mengindikasikan adanya vibrasi tekuk dari ikatan T-O (T = Si/Al) yang merupakan karakteristik dari zeolit sintetis. Sedangkan hasil karakterisasi FTIR kaolin pada penelitian ini tidak menunjukkan daerah serapan dari zeolit sintetis.



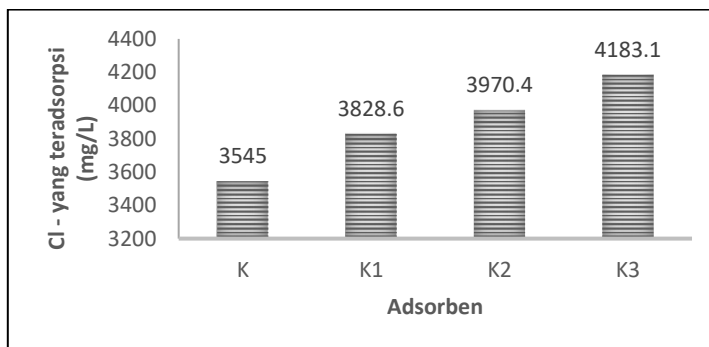
**Gambar 1.** Spektrum IR kaolin alam dan kaolin termodifikasi dengan variasi konsentrasi BKC (K1)  $2,5 \times 10^{-3}$  M (K2)  $5 \times 10^{-3}$  M dan (K3)  $2,5 \times 10^{-2}$  M

Pada Gambar 1 (K1); (K2); (K3) terlihat adanya puncak pada 2926  $\text{cm}^{-1}$  yang dapat diindikasikan sebagai daerah vibrasi dari C-H pada  $-\text{CH}_2-$  dari molekul surfaktan BKC, sehingga dapat diperkirakan bahwa surfaktan BKC telah menempel pada permukaan kaolin melalui pertukaran ion dengan  $\text{Na}^+$  [15]. Spektrum IR kaolin termodifikasi surfaktan pada variasi konsentrasi tidak menunjukkan perbedaan intensitas transmittan yang signifikan pada bilangan gelombang 2926  $\text{cm}^{-1}$  yang artinya jumlah surfaktan yang terikat pada kaolin secara kualitatif tidak jauh berbeda. Hasil penelitian ini sedikit berbeda dengan yang diperoleh oleh Wahyuni [8], dimana jumlah surfaktan yang terikat pada kaolin dapat teridentifikasi dengan perbedaan intensitas transmittan dari puncak khas BKC. Menurut Taffarel dan Rubio [17], variasi konsentrasi surfaktan mempengaruhi bentuk agregat. Dimana pada konsentrasi surfaktan di bawah KKM akan terbentuk monolayer, di mana kation pada bagian kepala surfaktan yang bersifat hidrofilik dapat dipertukarkan dengan kation penyeimbang dari kaolin alam sehingga akan terbentuk monolayer pada permukaan kaolin termodifikasi. Pada konsentrasi surfaktan di atas KKM akan membentuk bilayer, di mana ekor surfaktan yang bersifat hidrofobik saling terhubung untuk membentuk bilayer melalui interaksi ekor-ekor sesuai dengan konsep *like dissolve likes* dari dua molekul surfaktan sehingga terbentuk sisi aktif bermuatan positif yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi anion.



**Gambar 2.** Mekanisme pembentukan monolayer (a), mekanisme pembentukan bilayer (b)

Pada bentuk bilayer surfaktan yang terikat lebih banyak jika dibandingkan bentuk monolayer, sehingga semakin besar konsentrasi surfaktan maka semakin banyak sisi positif yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi anion. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil uji adsorpsi kaolin termodifikasi BKC terhadap  $\text{Cl}^-$  yang dapat dilihat pada **Gambar 3** yang menunjukkan bahwa adsorpsi  $\text{Cl}^-$  oleh kaolin termodifikasi meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi surfaktan yang digunakan untuk memodifikasi kaolin. Adsorpsi terjadi karena adanya gaya elektrostatis dimana muatan-muatan positif pada permukaan kaolin termodifikasi akan berinteraksi dengan muatan negatif dari  $\text{Cl}^-$ . Hal ini sesuai dengan Li [18] yang melaporkan bahwa adsorpsi ion bromida memperoleh hasil maksimum pada konsentrasi surfaktan di atas KKM dan adsorpsi dilakukan oleh surfaktan yang berbentuk bilayer pada permukaan zeolit. Adsorpsi dipengaruhi oleh jumlah dan bentuk agregat surfaktan yang terbentuk [19,20].



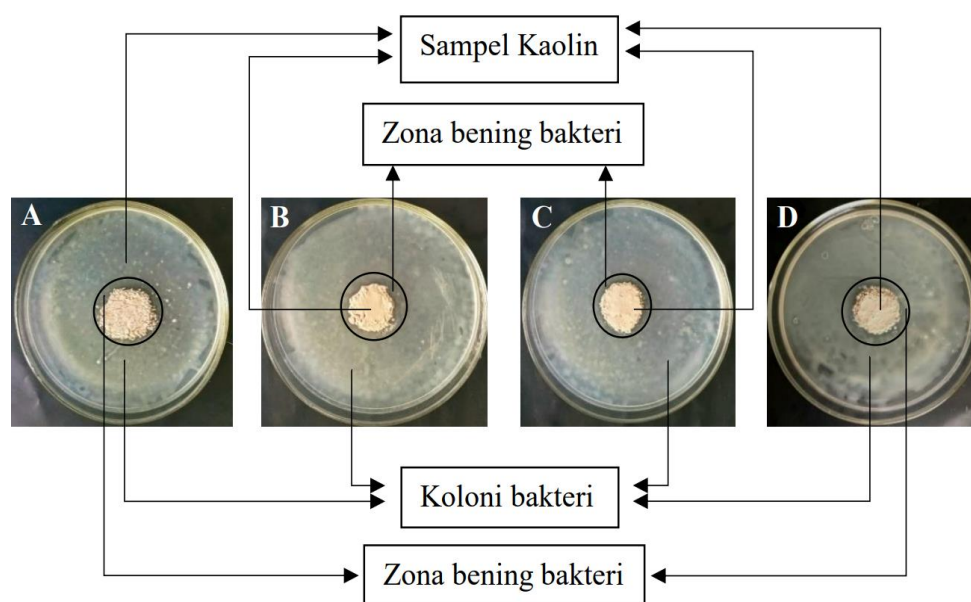
**Gambar 3.** Adsorpsi  $\text{Cl}^-$  pada kaolin termodifikasi dengan variasi konsentrasi surfaktan.

Keterangan:

- a. K : kaolin alam
- b. K1 : kaolin termodifikasi surfaktan  $2,5 \times 10^{-3}$  M
- c. K2 : kaolin termodifikasi surfaktan  $5 \times 10^{-3}$  M
- d. K3 : kaolin termodifikasi surfaktan  $2,5 \times 10^{-2}$  M

### 3.3. Uji Aktivitas Antibakteri

Uji aktivitas antibakteri kaolin termodifikasi bertujuan untuk melihat ada tidaknya aktivitas antibakteri pada kaolin termodifikasi BKC. Uji aktivitas antibakteri kaolin termodifikasi dan kaolin murni dilakukan terhadap bakteri *E.coli* dengan menggunakan metode *halo test*, yang merujuk pada penelitian [9,16,21]. Metode *halo test* adalah salah satu metode uji aktivitas antibakteri secara kualitatif dan dikhususkan untuk sampel padatan yang tidak dapat larut seperti kaolin [10]. Hasil uji aktivitas antibakteri kaolin termodifikasi dapat dilihat pada **Gambar 4** dan diameter zona bening yang terbentuk dapat dilihat pada **Tabel 1**.



**Gambar 4.** Hasil uji antibakteri kaolin alam dan kaolin termodifikasi BKC (A) hasil uji antibakteri terhadap kaolin murni; (B) hasil uji antibakteri terhadap kaolin termodifikasi surfaktan konsentrasi  $2,5 \times 10^{-3}$  M; (C) hasil uji antibakteri terhadap kaolin termodifikasi surfaktan konsentrasi  $5 \times 10^{-3}$  M dan (D) hasil uji antibakteri terhadap kaolin termodifikasi surfaktan konsentrasi  $2,5 \times 10^{-2}$  M

Hasil pada Gambar 4 menunjukkan bahwa, kaolin alam memiliki diameter zona bening yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kaolin yang telah dimodifikasi, hal ini dikarenakan kaolin memiliki gugus hidroksil yang menyebabkan kaolin memiliki muatan negatif sehingga lebih sulit untuk berinteraksi dengan bakteri yang juga memiliki muatan negatif pada bagian intraselulernya [22]. Aktivitas antibakteri dari kaolin ini terjadi karena adanya tarikan elektrostatis, tarikan ini dapat terjadi karena adanya interaksi antara dinding sel bakteri yang bermuatan negatif dengan kation pada permukaan kaolin. Daya tarik pada permukaan ini menyebabkan terganggunya penyerapan nutrisi metabolik bakteri dan menyebabkan sel bakteri lisis dan mati [16,23]. Hasil uji aktivitas antibakteri pada kaolin termodifikasi meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi surfaktan BKC, hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh He [21] dan Ramli [3], menyatakan bahwa dengan bertambahnya jumlah surfaktan untuk modifikasi kaolin akan menghasilkan zona hambat yang lebih besar. Aktivitas antibakteri pada kaolin termodifikasi BKC terjadi ketika pada permukaan kaolin yang sudah mengikat surfaktan, kepala surfaktan yang bersifat hidrofilik akan menembus dinding sel bakteri sehingga mengganggu fungsi normalnya dan mengalami kerusakan intraseluler hingga sel bakteri lisis dan mati [24].

**Tabel 1.** Nilai rata-rata diameter zona hambat kaolin alam dan kaolin termodifikasi BKC terhadap bakteri E.coli

No	Sampel	Rata-rata diameter zona bening $\pm$ SD (mm)
A.	Kaolin alam	$2,1 \pm 0,14^a$
B.	Kaolin termodifikasi BKC $2,5 \times 10^{-3}$ M	$3,3 \pm 0,14^b$
C.	Kaolin termodifikasi BKC $5 \times 10^{-3}$ M	$4,5 \pm 0,14^c$
D.	Kaolin termodifikasi BKC $2,5 \times 10^{-2}$ M	$6 \pm 0,14^d$

Keterangan: (<sup>a-d</sup>) menyatakan berbeda signifikan ( $p < 0,05$ )

#### 4. Conclusion

Berdasarkan hasil karakterisasi dengan FTIR dapat disimpulkan bahwa surfaktan BKC telah menempel pada permukaan kaolin dengan adanya puncak pada bilangan gelombang  $2926 \text{ cm}^{-1}$

yang dapat dilihat pada gambar 1, diindikasikan sebagai gugus CH dari BKC. Konsentrasi optimum untuk adsorpsi Cl<sup>-</sup> dan aktivitas antibakteri yaitu pada konsentrasi  $2,5 \times 10^{-2}$  M, dengan Cl<sup>-</sup> yang teradsorpsi sebesar  $2,5 \times 10^{-2}$  M dan diameter zona hambat sebesar  $6 \pm 0,14$  mm

### References

- [1] S. K. Zulfikar, and D. Turdjaja, "Eksplorasi Umum Endapan Ballclay di Kabupaten Bengkayang Provinsi Kalimantan Barat," *Proceeding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan PSG Tahun 2007*, vol. 2 pp. 6-12, 2007.
- [2] A. Putra, N. Lestari, and H. Meilina, "Penyerapan Ion Timbal dalam Air dengan Menggunakan Kaolin Termodifikasi-Surfaktan sebagai Media Penyerapan," *Jurnal Biopropal Industri*, vol. 6, no. 2, pp. 81-87, 2015.
- [3] N. I. Ramli, N. A. N. N. Malek, S. A. M. Hanim, M. M. Salim, N. S. S. M. Saad, and S. Hamdan, "Zeta Potential Analysis: Effect of CPB-Kaolinite to the Growth of Bacteria" in *Proc. of 2nd International Science Postgraduate Conference (ISPC2014)*, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia, 2014, pp. 1-8. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/83531738.pdf>
- [4] N. A. Falk, "Surfactants as antimicrobials: A brief overview of microbial interfacial chemistry and surfactant antimicrobial activity," *Journal of Surfactants and Detergents*, vol. 22, no. 5, pp. 1119-1127, 2019. doi:10.1002/jsde.12293
- [5] L. Febrina, I. D. Riris, and S. Silaban, "Uji Aktivitas Antibakteri Terhadap *Escherichia coli* dan Antioksidan dari Ekstrak Air Tumbuhan Binara (*Artemisia vulgaris L.*)," *Jurnal Pendidikan Kimia*, vol. 9, no. 2, pp. 311-317, 2017.
- [6] I. N. K. Besung, I. P. Y. P. Putra, and I. G. K. Suarjana, "Total Bakteri pada Air Minum di Peternakan Ayam Pedaging Desa Mengesta Kecamatan Penebel Kabupaten Tabanan," *Buletin Veteriner Udayana*, vol. 9, no. 2, pp. 145-149, 2017
- [7] E. H. Lusandika, I. G. K. Suarjana, and I. K. Suada, "Kualitas Air Peternakan Ayam Broiler Ditinjau dari Jumlah Bakteri *Coliform* dan *Escherichia coli*," *Buletin Veteriner Udayana*, vol.9, no. 1, pp. 81-86, 2017
- [8] N. Wahyuni, "Modifikasi Kaolin dengan Surfaktan Benzalkonium Klorida dan Karakterisasinya Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah," *Sains dan Terapan Kimia*, vol. 4, no. 1, pp. 1-14, 2010
- [9] T. Ishida, "Bacteriolyses of bacterial cell walls by Cu(ii) and zn(ii) ions based on antibacterial results of dilution medium method and halo antibacterial test," *Journal of Advanced Research in Biotechnology*, vol. 2, no. 2, pp. 1-12, 2017. doi:10.15226/2475-4714/2/2/00120
- [10] J. Zhang, Q. Tang, W. Chen, H. Sun, Q. Ou, and Y. Wen "An improved halo method for evaluating the antibacterial activity of leather," *Leather and Footwear Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 229-236, 2020. doi:10.24264/lfj.20.3.2
- [11] N. Wahyuni, G. Zissis, and Z. Mouloungui, "Characterization of acid sites on modified kaolinite by FTIR spectra of pyridine adsorbed," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2026, no. 1, 2018. doi:10.1063/1.5065002
- [12] T. W. Manurung, Sunardi and U. Irawati "Kajian Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Karakter Zeolit Sintetik dari Kaolin Lokal dari Kalimantan Selatan," *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, vol. 5, no. 1, pp. 76-83, 2011.
- [13] A. Setiadi, Jumaeri, and N. Widiarti, "Sintesis Zeolit dengan Kandungan Si/Al Rendah dari Kaolin Menggunakan Metode Peleburan dan Hidrotermal," *Indonesian Journal of Chemical Science*, Vol. 5, no. 3, pp.164-168, 2016.
- [14] L. Trivana, S. Sugiarti, and E. Rohaeti, "Synthesis of zeolite and composite of zeolite/TiO<sub>2</sub> from kaolin and its application to adsorption-photodegradation of Methylene Blue," *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 11, no. 2, pp. 147-162, 2016. doi:10.20961/alchemy.11.2.722.147-162
- [15] P. H. Syaifie, A. Taufiq, I. Solihat, and G. A. P. K. Wardhani, "Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Zeolit Berbahan Dasar Kaolin dan Abu Sekam Padi untuk Adsorpsi Logam Tembaga dan Krom dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam," *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, vol. 9, no. 1, pp. 17-24, 2019. doi: 10.37209/jtbtt.v9i1.129

- 
- [16] E. B. Haditya, Jumaeri, and T. Sulistyanyingsih, "Penggunaan Zeolit A Termodifikasi HDTMA sebagai Slow Release Urea Fertilizer," *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 9, no. 1, pp. 31-36, 2020.
- [17] S. R. Taffarel and J. Rubio, "Adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate from aqueous solution using a modified natural zeolite with CTAB," *Minerals Engineering*, vol. 23, no. 10, pp. 771-779, 2010. doi:[10.1016/j.mineng.2010.05.018](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.05.018)
- [18] Z. Li, "Removal of cationic surfactants from water using clinoptilolite zeolite," *From Zeolites to Porous MOF Materials - The 40th Anniversary of International Zeolite Conference, Proceedings of the 15th International Zeolite Conference*, vol. 170, pp. 2098-2103, 2007. doi:[10.1016/s0167-2991\(07\)81105-0](https://doi.org/10.1016/s0167-2991(07)81105-0)
- [19] S. Y. Lee and S. J. Kim, "Adsorption of naphthalene by HDTMA modified kaolinite and Halloysite," *Applied Clay Science*, vol. 22, no. 1-2, pp. 55-63, 2002. doi:[10.1016/s0169-1317\(02\)00113-8](https://doi.org/10.1016/s0169-1317(02)00113-8)
- [20] A. Putra, R. Syahyadi, and S. M. Utami, "Penurunan Kadar Logam Dan Senyawa Organik Pada Air Gambut Menggunakan Adsorben Modifikasi Kaolin Surfakatan," in *Proceeding Seminar Nasional*. Politeknik Negeri Lhokseumawe, Bandar Aceh, 2018, vol. 2, No. 1. [Online] Available: <http://ejournal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/view/757>
- [21] H. He, D. Yang, P. Yuan, W. Shen, and R. L. Frost, "A novel organoclay with antibacterial activity prepared from montmorillonite and Chlorhexidini Acetas," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 297, no. 1, pp. 235-243, 2006. doi:[10.1016/j.jcis.2005.10.031](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.10.031)
- [22] M. E. Parolo, L. G. Fernández, I. Zajonkovsky, M. P. Sánchez, and M. Baschini, "Antibacterial Activity of Materials Synthesized from Clay Minerals," *Science Against Microbial Pathogens: Communicating Current Research and Technological Advances*, vol. 1 pp. 144-151, 2011. [Online]. Available: <http://davidlu.net/144-151.pdf?G=736&ln=jp>
- [23] F. B. Karel, A. S. Kopalal, and E. Kaynak, "Development of silver ion doped antibacterial clays and investigation of their antibacterial activity," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2015, pp. 1-6, 2015. doi:[10.1155/2015/409078](https://doi.org/10.1155/2015/409078)
- [24] G. Özdemir, S. Yapar, and M. H. Limoncu, "Preparation of cetylpyridinium montmorillonite for antibacterial applications," *Applied Clay Science*, vol. 72, pp. 201-205, 2013. doi:[10.1016/j.clay.2013.01.010](https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.01.010)