

## AKTIVITAS ANTIBAKTERI NANOKOMPOSIT $TiO_2/Cu$ DAN $TiO_2/CuO$ TERHADAP BAKTERI *Bacillus cereus*

### ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF $TiO_2/Cu$ AND $TiO_2/CuO$ NANOCOMPOSITES AGAINST *Bacillus cereus*

Ine Nuhaeroh\*, Devi Indah Anwar, Lela Lailatul Khumaisah

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi

Jl. R. Syamsudin, SH No.50, Cikole, Kota Sukabumi 43113, Jawa Barat, Indonesia

\*email korespondensi: [inemuhaeroh@gmail.com](mailto:inemuhaeroh@gmail.com)

#### Abstrak

Perkembangan nanoteknologi sebagai nanomaterial telah banyak dimanfaatkan salah satunya dalam bentuk nanokomposit. Nanokomposit banyak diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi logam berat dan dewasa ini banyak penelitian mengenai manfaat nanokomposit sebagai bahan antibakteri. Penelitian ini bertujuan menganalisis aktivitas antibakteri dari nanokomposit  $TiO_2/Cu$  dan  $TiO_2/CuO$  hasil sintesis terhadap *Bacillus cereus*. Metode yang digunakan dalam melakukan sintesis nanokomposit adalah metode impregnasi basah.  $CuSO_4$  merupakan prekursor yang digunakan untuk mensintesis  $TiO_2/Cu$  sedangkan  $TiO_2/CuO$  menggunakan  $CuCl_2$ . Suhu kalsinasi yang digunakan adalah  $600^\circ C$ . Material  $TiO_2/Cu$  yang dihasilkan berukuran 29.01 nm sedangkan  $TiO_2/CuO$  27.64 nm. Uji karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui pembentukan nanokomposit  $TiO_2/Cu$  dan  $TiO_2/CuO$ . Puncak difraksi pada sudut  $2\theta$   $TiO_2$  yaitu  $25.33^\circ$ ,  $CuO$   $38.7^\circ$ ,  $Cu$   $43.6^\circ$  dan menandakan nanokomposit berhasil terbentuk. Hasil pengujian aktivitas antibakteri terhadap *Bacillus cereus* dengan menggunakan metode difusi cakram menunjukkan  $TiO_2/Cu$  memiliki zona hambat bakteri 8.10 mm dan  $TiO_2/CuO$  11.40 mm dan termasuk ke dalam antibakteri kuat sedangkan nanopartikel  $CuO$  merupakan antibakteri sedang dengan nilai sebesar 7.85 mm. Hasil ini menunjukkan nanokomposit memiliki daya hambat bakteri lebih tinggi dibandingkan nanopartikelnya.

Kata kunci: antibakteri, nanokomposit,  $TiO_2$ ,  $Cu$ ,  $CuO$

#### Abstract

The development of nanotechnology as a nanomaterial has been widely used, the ones called nanocomposites. Nanocomposites are widely applied as photocatalysts to degrade heavy metals and nowadays there are many studies of the advantages of nanocomposites as antibacterial materials. This study aimed to analyze the antibacterial activity of the synthesized  $TiO_2/Cu$  and  $TiO_2/CuO$  nanocomposites against *Bacillus cereus*. The method used in the synthesis of nanocomposites is the wet impregnation method.  $CuSO_4$  is the precursor used to synthesize  $TiO_2/Cu$  and  $TiO_2/CuO$  uses  $CuCl_2$ . Calcination temperature used is  $600^\circ C$ . The resulting  $TiO_2/Cu$  material is 29.01 nm and  $TiO_2/CuO$  is 27.64 nm. X-Ray Diffraction (XRD) characterization test was conducted to determine the formation of  $TiO_2/Cu$  and  $TiO_2/CuO$  nanocomposites. The diffraction peaks at  $2\theta$   $TiO_2$  is  $25.33^\circ$ ,  $CuO$   $38.7^\circ$ ,  $Cu$   $43.6^\circ$  and indicated that the nanocomposite was successfully formed. The results of the antibacterial activity test against *Bacillus cereus* using the disk diffusion method showed that  $TiO_2/Cu$  had a bacterial inhibition zone of 8.10 mm and  $TiO_2/CuO$  11.40 mm and was classified as a strong antibacterial and  $CuO$  nanoparticles were moderate antibacterial with a value of 7.85 mm. These results indicate that the nanocomposite has a higher bacterial inhibitory power than the nanoparticles.

Keywords: antibacterial, nanocomposites,  $TiO_2$ ,  $Cu$ ,  $CuO$

#### Pendahuluan

Nanoteknologi merupakan studi bahan pada skala nano yang memiliki sifat berbeda daripada bahan pada skala yang lebih besarnya [1]. Nanoteknologi banyak dimanfaatkan pada industri otomotif, elektronik, teknologi pangan, dan nanomaterial [2]. Salah satu pemanfaatan nanoteknologi material adalah nanokomposit. Nanokomposit merupakan komposit yang dibuat dengan material berskala 1 – 100 nm [1]. Sedangkan komposit merupakan material yang terdiri dua/lebih material dengan sifat berbeda.

Secara umum komposit disusun dari dua komponen yaitu penguat (*reinforcement*) dan matriks, matriks merupakan fasa yang dominan pada komposit [2]. Nanokomposit sendiri telah diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi logam berat maupun zat pewarna dan sebagai material campuran pembuatan kemasan pangan [3,4,5,27]. Selain itu, nanokomposit dimanfaatkan sebagai agen antibakteri, diketahui nanokomposit  $Ag/TiO_2$  mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* sebesar 75% [6].

Nanopartikel  $\text{TiO}_2$  memiliki zona hambat sebesar 11 mm pada *Escherichia coli* [7] dan termasuk ke dalam antibakteri kuat, dengan rentang zona hambatnya sebesar 10-20 mm [8]. Selain itu, material nanopartikel yang digabung ke dalam bentuk nanokomposit menunjukkan daya hambat bakteri yang lebih tinggi [9]. Selain logam perak (Ag), para peneliti telah mengkonfirmasi bahwa logam tembaga (Cu) dapat menekan pertumbuhan patogen seperti methicillin resistant dari bakteri *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli*, dan *Legionella pneumophila* [10]. Ion tembaga dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dengan daya hambat 10 mm [11]. Tembaga oksida ( $\text{CuO}$ ) memiliki daya hambat bakteri, terhadap *Escherichia coli* 11 mm yang termasuk ke dalam antibakteri kuat [26].

Pada penelitian lain, diketahui antibiotik yang ditambahkan material  $\text{CuO}$  mampu meningkatkan daya hambat pada bakteri *Bacillus cereus* dengan peningkatan maksimumnya sebesar 51.68% [28]. Tembaga oksida diketahui memiliki daya hambat bakteri, terhadap *Bacillus cereus* sebesar 25.3 mm yang termasuk ke dalam antibakteri sangat kuat [11]. Di sisi lain, tembaga menjadi komoditas logam unggulan Indonesia. Indonesia memiliki 3% cadangan tembaga dunia dengan total 871 juta ton dan menjadi 7 besar negara yang memiliki cadangan tembaga dunia [12].

Sumber daya yang melimpah, harga yang lebih ekonomis, dan potensinya sebagai agen antibakteri mendorong penelitian ini. Potensi pengembangan sebagai nanokomposit  $\text{TiO}_2$  dengan logam tembaga dan oksida logamnya sebagai antibakteri *Bacillus cereus* diharapkan menghambat pertumbuhan *Bacillus cereus* sebagai bakteri yang menyebabkan infeksi sistem pencernaan, non-gastrointestinal, infeksi saluran pernafasan, infeksi nosokomial, infeksi sistem saraf pusat, infeksi saluran kemih, infeksi kulit, endokarditis, dan osteomielitis [13]. Untuk itu penelitian ini bertujuan mensintesis nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dan  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  dan menguji aktivitas anti bakterinya pada *Bacillus cereus*.

## Metode Penelitian

Bahan yang dibutuhkan adalah tembaga (II) klorida ( $\text{CuCl}_2$ ), tembaga (II) sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ), titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), natrium klorida ( $\text{NaCl}$ ), etanol, akuades, nutrisi agar, pepton, ekstrak yeast, dan Amoxicillin. Alat yang dibutuhkan diantaranya hot plate, magnetic stirrer, aluminum foil, oven, tanur, pipet tetes, cawan petri, jangka sorong,

vortex, autoklaf, difraksi sinar-X, pH meter, neraca analitik, lidi kapas, jarum ose, dan peralatan gelas.

## Sintesis Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Cu}$

Nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  disintesis menggunakan metode impregnasi. Tembaga (II) sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ) dengan berat 10% dari berat  $\text{TiO}_2$  dilarutkan dalam 50 mL akuades, diaduk menggunakan magnetic stirrer sampai larutan homogen. Proses pengadukan selama 30 menit pada suhu kamar. Setelah itu, 3 g  $\text{TiO}_2$  ditambahkan ke dalam larutan. Selanjutnya, larutan dipanaskan pada  $90^\circ\text{C}$  selama 5 jam sambil diaduk. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$ , kemudian digerus dan dikalsinasi pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 3 jam [14].

## Sintesis Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{CuO}$

Sebanyak 1.34 g tembaga (II) klorida  $\text{CuCl}_2$  dilarutkan dalam 100 mL air deionisasi untuk membentuk konsentrasi 0.1 M. Larutan  $\text{NaOH}$  diteteskan perlahan sambil diaduk sampai pH mencapai 14. Endapan hitam yang diperoleh, dicuci menggunakan akuades dan etanol. Endapan yang telah melalui proses pencucian dikeringkan pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 16 jam, lalu dikalsinasi pada  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam [15]. Sebanyak 0.9 g  $\text{CuO}$  yang telah terbentuk dimasukkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan 100 mL akuades, diaduk dengan stirrer pada 600 rpm selama 30 menit (larutan 1). Pada wadah lain, 1.8 g  $\text{TiO}_2$  ditambahkan dengan akuades 100 mL. Selanjutnya ke dalam larutan  $\text{TiO}_2$ , dimasukkan larutan 1 dan diaduk kembali dengan kecepatan yang sama selama 30 menit. Larutan campuran dipanaskan pada  $160^\circ\text{C}$  selama 12 jam. Campuran kemudian disaring dan dicuci dengan etanol. Produk kemudian dikeringkan pada  $80^\circ\text{C}$  selama 5 jam. Hasil dari produk kering digerus, kemudian dikalsinasi pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 3 jam [16].

## Karakterisasi Difraksi Sinar-X Nanokomposit

Analisis XRD dilakukan dengan radiasi  $\text{Cu-K}\alpha$  (1,5418) pada difraktometer D/max-3B dengan rentang pindai  $20-80^\circ$  ( $2\theta$ ). Untuk ukuran kristalit nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  dan  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dihitung berdasarkan pengukuran difraksi sinar-X. Ukuran kristalit dihitung dengan data lebar penuh pada setengah maksimum atau full width at half maximum (FWHM) di mana puncaknya dapat dihitung menggunakan rumus Scherrer [15].

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) diketahui bahwa  $D$  merupakan ukuran partikel (nm),  $\lambda$  merupakan panjang gelombang radiasi (nm),  $K$  merupakan faktor bentuk dari kristal dengan konstanta (0.9),  $\beta$  merupakan integrasi luas puncak refleksi / FWHM (rad), dan  $\theta$  merupakan sudut difraksi (derajat).

### Uji Aktivitas Antibakteri

Alat yang digunakan dilakukan sterilisasi terlebih dahulu. Isolat murni *B. cereus* diambil dari media subkultur sebanyak 1 ose dengan jarum ose, lalu digoreskan pada medium miring nutrisi agar dan diinkubasi 14-18 jam pada suhu 37°C. Biakan bakteri kemudian disuspensikan ke dalam air garam NaCl 0.9% yang telah steril dengan mengambil 1 ose koloni *B. cereus* dari subkultur, lalu dihomogenasi menggunakan vortex. Untuk membuat medium Luria Bertani Agar (LBA) dilakukan dengan menimbang NaCl 3 g, pepton 5 g, yeast ekstrak 3 g, nutrisi agar sebanyak 7.5 g yang dilarutkan ke dalam akuades sampai 500 ml dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*.

Setelah itu, dimasukkan ke dalam autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C. Medium LBA yang sudah steril dituang ke dalam cawan petri, lalu dibiarkan memadat dan dingin. Lidi kapas yang sudah disterilkan dicelupkan pada suspensi *B. cereus* dan dioleskan pada permukaan medium LBA. Untuk kontrol positif digunakan Amoxicillin [17]. Konsentrasi nanokomposit yang digunakan adalah 45 mg/ml [18]. Lalu cakram sampel nanokomposit dengan diameter 6 mm ditempatkan pada cawan petri. Selanjutnya inkubasi pada 37°C selama 24 jam dan diukur diameter daerah jernih sekitar kertas cakram (zona hambat) menggunakan jangka sorong [17].

### Hasil dan Pembahasan

Sintesis  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi basah. Metode impregnasi yang digunakan menunjukkan  $\text{TiO}_2$  yang dihasilkan berada pada fase anatase. Penyisipan logam Cu dengan menggunakan metode impregnasi tidak mengubah struktur anatase dari  $\text{TiO}_2$ , hal ini dapat dikarenakan ion  $\text{Cu}^{2+}$  mampu menggantikan Ti pada  $\text{TiO}_2$  karena jari-jari ion dari  $\text{Cu}^{2+}$  hampir sama dengan  $\text{Ti}^{4+}$ , di mana jari-jari ion dari  $\text{Cu}^{2+}$  sebesar 0.73 Å dan  $\text{Ti}^{4+}$  sebesar 0.74 Å [14].

Proses kalsinasi pada sintesis  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dilakukan pada suhu 600°C, proses kalsinasi berpengaruh terhadap morfologi produk sintesis, di mana fase anatase pada  $\text{TiO}_2$  cenderung dihasilkan pada suhu kalsinasi 500°C-600°C dan fase rutil dihasilkan pada suhu kalsinasi 700°C [19]. Suhu kalsinasi pada fase anatase menghambat pertumbuhan bakteri gram positif lebih tinggi [20]. Sedangkan untuk sintesis  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  dilakukan pembentukan CuO dengan metode presipitasi. Prekursornya adalah  $\text{CuCl}_2$  yang kemudian dilarutkan dalam akuades. Selanjutnya, menambahkan perlahan NaOH sebagai anti-solvent untuk membentuk endapan  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Ketika NaOH ditambahkan ke dalam larutan  $\text{CuCl}_2$  terjadi perubahan warna, karena tembaga klorida ( $\text{CuCl}_2$ ) bereaksi dengan NaOH yang kemudian menghasilkan endapan tembaga hidroksida ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) dan natrium klorida (NaCl), dengan persamaan reaksi berikut [22]

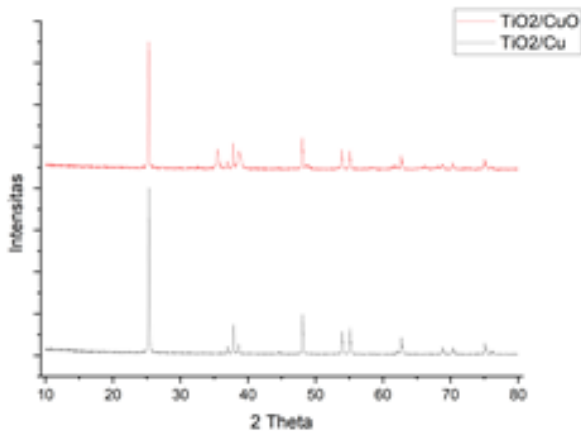


Tembaga klorida larut dalam air dan terdisosiasi menjadi ion  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Cl}^-$  sedangkan NaOH terdisosiasi menjadi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{OH}^-$ . Selanjutnya, larutan berwarna coklat tua yang mengindikasikan telah terbentuknya senyawa tembaga oksida. Endapan coklat yang dihasilkan kemudian dikeringkan dan dikalsinasi pada suhu 500°C [16]. Produk hasil kalsinasi selanjutnya dilarutkan dalam akuades dan dicampurkan dengan larutan  $\text{TiO}_2$ . Berikut ini adalah persamaan reaksi yang terjadi dalam melakukan sintesis  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  [23].



Campuran kemudian dikeringkan pada suhu 80°C selama 5 jam dan dikalsinasi pada suhu 600°C selama 3 jam, hal ini bertujuan agar nanokomposit terbentuk dalam bentuk nanorods [18]. Karakterisasi dilakukan pada nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dan  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ . Hasilnya tersaji dalam difaktogram pada Gambar 1. Intensitas pada difaktogram terlihat untuk  $\text{TiO}_2$  dari kedua nanokomposit terlihat pada intensitas  $2\theta$  sebesar 25.33°, hal ini sesuai dengan pembandingan standar dari *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) druntuk intensitas  $2\theta$   $\text{TiO}_2$  sebesar 25.33° [24]. Untuk CuO yang dikalsinasi pada suhu 500°C terkonfirmasi bahwa puncak intensitasnya berada pada 35.47°; 38.9° dan 48.74° [15]. Pada uji XRD terbukti bahwa CuO pada nanokomposit telah terbentuk dengan ditandai intensitas  $2\theta$  terlihat pada 35.5°; 38.7° dan 48.7°.

Sedangkan untuk intensitas 2θ Cu dapat terlihat pada 43.6° [25], dan hasil difaktogram untuk intensitas 2θ Cu yang diujikan menunjukkan nilai sebesar 44.6°. Namun, intensitas yang dihasilkan untuk Cu pada penelitian ini cukup rendah kemungkinan karena konsentrasi dari Cu yang digunakan terlalu sedikit.



**Gambar 1.** Difaktogram nanokomposit TiO<sub>2</sub>/Cu dan TiO<sub>2</sub>/CuO

Pada perhitungan rumus debye-scherrer menunjukkan untuk ukuran kristal dari TiO<sub>2</sub>/Cu sebesar 27.64 nm, sedangkan TiO<sub>2</sub>/CuO sebesar 29.01 nm. Sehingga, diketahui keduanya berada pada skala nanometer yaitu 1-100 nm. Uji aktivitas antibakteri dengan bakteri *Bacillus cereus* terhadap nanokomposit TiO<sub>2</sub>/Cu dan TiO<sub>2</sub>/CuO dengan kontrol positif Amoxicillin tersaji pada Tabel 1. Dari hasil pengujian diperoleh data pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CuO memiliki daya hambat pada bakteri sebesar 11.40 mm dan termasuk ke dalam antibakteri kuat, sedangkan pada TiO<sub>2</sub>/Cu memiliki daya hambat bakteri sebesar 8.1 dan termasuk ke dalam antibakteri sedang. Hasil ini menyimpulkan bahwa TiO<sub>2</sub>/CuO memiliki daya hambat bakteri yang lebih baik dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub>/Cu.

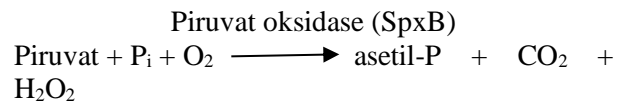
**Tabel 1.** Zona hambat pertumbuhan bakteri *Bacillus cereus*

Sampel	Daya Penghambatan (mm)
TiO <sub>2</sub> /Cu	8.10
TiO <sub>2</sub> /CuO	11.40
CuO	7.85
Kontrol Positif	30.6

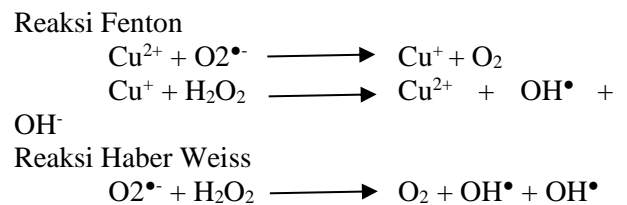
Toksisitas dari Cu terjadi melalui beberapa mekanisme di antaranya kerusakan dinding dan membran sel, radikal bebas dari spesi oksigen reaktif (ROS) dan perubahan struktur konformasi

asam nukleat. Reaksi redoks pada ion Cu<sup>2+</sup> mampu mengkatalisis produksi dari radikal hidroksil yang reaktif menyebabkan terjadinya stres oksidatif [21]. Cu<sup>2+</sup> mampu beraksi dengan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) yang diproduksi bakteri melalui proses oksidasi piruvat. Produksi hidrogen peroksida melibatkan piruvat oksidase (spxB).

SpxB adalah dekarboksilase yang mengkatalisis konversi piruvat, fosfat anorganik (Pi) dan oksigen molekular (O<sub>2</sub>) menjadi hidrogen peroksida, karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan asetil fosfat [29]. Persamaan reaksinya sebagai berikut: [30].

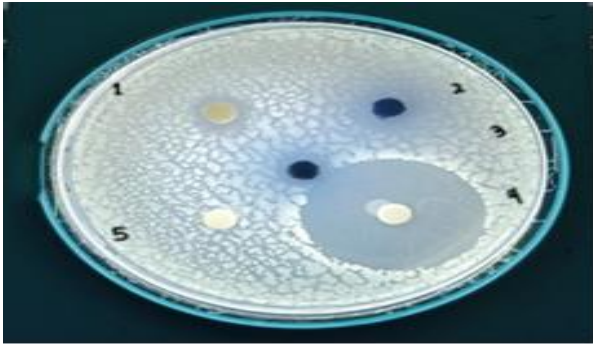


Hidrogen peroksida di dalam sel mengalami proses membentuk radikal bebas yang lebih reaktif yaitu *hydroxyl radical* melalui rekasi fenton dengan menggunakan kofaktor logam zat besi atau tembaga. Pada reaksi fenton, Cu<sup>+</sup> mampu membentuk OH• dengan reaksi berikut ini: [31]



Reaksi Fenton dan Haber Weiss memiliki keterkaitan, di mana reaksi fenton terjadi antara logam seperti tembaga dengan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) menghasilkan Cu<sup>+</sup>, radikal hidroksil (OH<sup>+</sup>), dan ion hidroksil (OH•). Ion hidroksil bereaksi dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk menghasilkan superoksida (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), ion hidrogen, dan air. Reaksi Haber Weiss terjadi antara superoksida dengan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) yang menghasilkan radikal hidroksil, ion hidroksil, dan oksigen (O<sub>2</sub>) [32].

Siklus redoks antara Cu<sup>2+</sup> dan Cu<sup>+</sup> ini dapat mengkatalisis produksi radikal hidroksil (OH•) yang sangat reaktif dan dapat merusak DNA bakteri, yang selanjutnya dapat merusak DNA bakteri. Radikal hidroksil ini atau OH• diketahui dapat menghasilkan produk oksidasi melalui adisi pada basa nukleat [21]. Zona hambat pada nanopartikel CuO yang terlihat pada Gambar 2 diketahui sebesar 7.85 mm, lebih kecil jika dibandingkan nanokomposit TiO<sub>2</sub>/Cu dan TiO<sub>2</sub>/CuO.



**Gambar 2.** Hasil uji antibakteri (1) sampel  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$ , (2) sampel  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ , (3) sampel  $\text{CuO}$ , (4) kontrol positif/Amoxillin (5) kontrol negatif aquades

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan perbedaan nilai zona hambat pertumbuhan bakteri yaitu ukuran partikel, morfologi, dan konsentrasi saat melakukan pengujian [6]. Di mana ukuran partikel yang lebih kecil menunjukkan nilai zona hambat bakteri yang lebih tinggi [18]. Hal ini dapat dibuktikan dengan ukuran partikel dari  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  yang memiliki ukuran paling kecil sehingga memiliki zona hambat paling tinggi.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dan  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  dapat terbentuk, dan diketahui dari puncak intensitas  $2\theta$  untuk  $\text{TiO}_2$  sebesar  $25.33^\circ$ , untuk  $\text{Cu}$  sebesar  $44.6^\circ$  dan untuk  $\text{CuO}$  diketahui sebesar  $35.5^\circ$ ;  $38.7^\circ$ , dan  $48.7^\circ$ . Untuk ukuran nanokomposit berhasil terbentuk dalam skala nano, untuk nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  sebesar 29.01 nm dan untuk nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sebesar 27.64 nm. Pada pengujian antibakteri di dapatkan nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  memiliki daya hambat bakteri sebesar 8.1 mm, nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  sebesar 11.40 mm, dan nanopartikel  $\text{CuO}$  sebesar 7.85 mm dengan aktivitas antibakteri paling kuat yaitu pada nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ .

### Daftar Pustaka

- [1] Prasetyo, K. W. (2020). Aplikasi nanoteknologi dalam industri hasil hutan. *Akar*, 2(1), 15-26.
- [2] Hutabarat, L. G. (2017). Pembuatan nanokomposit poly (vinyl) alcohol–multiwalled carbon nanotubes sebagai film transparan konduktif metode casting. [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara.
- [3] Rahmatullah, M., & Putro, S. S. (2016). Sintesa dan karakterisasi partikel nanokomposit ZnO-silika sebagai fotokatalis dengan metode sonikasi. *Jurnal Institut Teknologi Surabaya*, 1(1), 19-28.
- [4] Hardian, A., Putri, R. H., Budiman, S., & Syarif, D. G. (2021). Sintesis keramik komposit  $\text{ZrO}_2\text{-ZnFe}_2\text{O}_4$  sebagai fotokatalis magnetik untuk degradasi metilen biru. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1), 43-53.
- [5] Fajriati, I., Mudasir, M., & Wahyuni, E. T. (2016). Sintesis nanokomposit  $\text{TiO}_2$ -kitosan sebagai fotokatalis untuk fotodegradasi zat warna dan fotoreduksi logam berat [Disertasi]. Universitas Gadjah Mada.
- [6] Metryka, O., Wasilkowski, D., & Mrozik, A. (2021). Insight into the antibacterial activity of selected metal nanoparticles and alterations within the antioxidant defence system in *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* and *Staphylococcus epidermidis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 118-125.
- [7] Ahmad, R., & Sardar, M. (2013).  $\text{TiO}_2$  nanoparticles as an antibacterial agent against *E. coli*. *International Journal of Innovative Research Science, Engineering and Technology*, 2(1), 3569-3574.
- [8] Rastina, R., Sudarwanto, M., & Wientarsih, I. (2015). Aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun kari (*Murraya koenigii*) terhadap *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan *Pseudomonas sp.* *Jurnal Kedokteran Hewan-Indonesian*, 9(2), 96-107.
- [9] Ali, T., Ahmed, A., Alam, U., Uddin, I., Tripathi, P., & Muneer, M. (2018). Enhanced photocatalytic and antibacterial activities of Ag-doped  $\text{TiO}_2$  nanoparticles under visible light. *Materials Chemistry and Physics*, 212(1), 325-335.
- [10] Konieczny, J., & Rdzawski, Z. (2012). Antibacterial properties of copper and its alloys. *Archives of Materials Science and Engineering*, 56(2), 53-60.
- [11] Benli, B., & Yalın, C. (2017). The influence of silver and copper ions on the antibacterial activity and local electrical properties of single sepiolite fiber: A conductive atomic force microscopy (C-AFM) study. *Applied Clay Science*, 146(1), 449-456.
- [12] Kementerian ESDM RI. (2020). *Booklet Tambang Tembaga 2020*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

- [13] Bottone, E. J. (2010). *Bacillus cereus*, a volatile human pathogen. *Clinical Microbiology Reviews*, 23(2), 382-398.
- [14] Isa, L. (2020). Synthesis and characterization of structural nanocomposite titanium dioxide copper-doped using the impregnation method. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 5(1), 21-30.
- [15] Phiwdang, K., Suphankij, S., Mekprasart, W., & Pecharapa, W. (2013). Synthesis of CuO nanoparticles by precipitation method using different precursors. *Energy Procedia*, 34(1), 740-745.
- [16] Manjunath, K., Souza, V. S., Ramakrishnappa, T., Nagaraju, G., Scholten, J. D., & Dupont, J. (2016). Heterojunction CuO-TiO<sub>2</sub> nanocomposite synthesis for significant photocatalytic hydrogen production. *Materials Research Express*, 3(11), 1-9.
- [17] Korlis, B. D., & Manurung, H. (2015). Uji senyawa metabolit sekunder dan antibakteri ekstrak etanol buah Belangla (*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.) terhadap bakteri *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli*. In *Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA UNMUL (Vol. 2015, pp. 8-11)*.
- [18] Naqvi, Q. U. A., Kanwal, A., Qaseem, S., Naeem, M., Ali, S. R., Shaffique, M., & Maqbool, M. (2019). Size-dependent inhibition of bacterial growth by chemically engineered spherical ZnO nanoparticles. *Journal of Biological Physics*, 45(2), 147-159.
- [19] Mathew, S., Ganguly, P., Rhatigan, S., Kumaravel, V., Byrne, C., Hinder, S. J., & Pillai, S. C. (2018). Cu-doped TiO<sub>2</sub>: visible light assisted photocatalytic antimicrobial activity. *Applied Sciences*, 8(11), 2067-2075.
- [20] Desiati, R. D., Taspika, M., & Sugiarti, E. (2019). Effect of calcination temperature on the antibacterial activity of TiO<sub>2</sub>/Ag nanocomposite. *Materials Research Express*, 6(9), 1-9.
- [21] Borkow, G., & Gabbay, J. (2005). Copper as a biocidal tool. *Current Medicinal Chemistry*, 12(18), 2163-2175.
- [22] Lestari, M. W., Saputro, S. H., & Wahyuni, S. (2013). Sintesis dan karakterisasi nanokatalis CuO/TiO<sub>2</sub> yang diaplikasikan pada proses degradasi limbah fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(2), 19-28.
- [23] Anandan, S., & Yang, S. (2007). Emergent methods to synthesize and characterize semiconductor CuO nanoparticles with various morphologies—an overview. *Journal of Experimental Nanoscience*, 2(1-2), 23-56.
- [24] Bungan, G. K., Aritonang, H. F., & Wuntu, A. D. (2021). Pembuatan nanokomposit kitosan/TiO<sub>2</sub>/Ag dan analisis aktivitasnya sebagai antibakteri. *Chemistry Progress*, 14(1), 187-196.
- [25] Theivasanthi, T., & Alagar, M. (2010). X-ray diffraction studies of copper nanopowder. *Archive of Physics Research*, 1(1), 112-117.
- [26] Garcia, C. V., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2018). Metal oxide-based nanocomposites in food packaging: Applications, migration, and regulations. *Trends in Food Science & Technology*, 82(1), 21-31.
- [27] Sharma, D., Thakur, N., Vashisth, J., & Bisht, G. S. (2018). Antibacterial evaluation of cuprous oxide nanoparticles synthesized using leaf extract of *Callistemon viminalis*. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 52(1), 449-455.
- [28] Selvarani, M. (2018). Investigation of the synergistic antibacterial action of copper nanoparticles on certain antibiotics against human pathogens. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 10(1), 83-86.
- [29] Nisa, K. (2020). Analisis asam laktat, hidrogen peroksida, dan aktivitas antibakteri asam laktat transmisi air susu ibu [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- [30] Pericone, C. D., Park, S., Imlay, J. A., & Weiser, J. N. (2003). Factors contributing hydrogen peroxide resistance in *Streptococcus pneumoniae* include pyruvate oxidase (SpxB) and avoidance of toxic effects of Fenton reaction. *Journal of Bacteriology*, 185(23), 6815-6825.
- [31] Cuypers, A., Plusquin, M., Remans, T., Jozefczak, M., Keunen, E., Gielen, H., & Smeets, K. (2010). Cadmium stress: An oxidative challenge. *Biometals*, 23(5), 927-940.
- [32] Dwi, E. N. (2018). Hubungan antara pemberian aluminium dengan gambaran histopatologi hati tikus wistar jantan. [Skripsi]. Universitas Jember.