

Biosintesis ZnO Nanopartikel-CTAB dari Ekstrak Air Daun Jambu Biji, Ion Zn²⁺ dan CTAB: Karakterisasi dan Aplikasinya sebagai Antibakteri *Escherichia coli*Ahmad Fatoni^{1*}, Ema Ratna Sari¹, Julia Ningsi¹ dan Nurlisa Hidayati²¹Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Bhakti Pertiwi, Jln. Ariodillah III No. 22 Palembang Sumatera Selatan 30128²Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Sriwijaya, Jln. Palembang-Prabumulih Km. 32 Indralaya Ogan Ilir Sumatera Selatan, Indonesia*Penulis korespondensi: tonistifibp@gmail.comDOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v11.n1.45995>

Abstrak: Biosintesis ZnO nanopartikel-CTAB dilakukan dalam suasana basa dengan interaksi antara ion Zn²⁺, CTAB dan media ekstrak air daun jambu biji. Tujuan dari penelitian ini adalah biosintesis ZnO nanopartikel-CTAB, karakterisasi dan aplikasinya sebagai antibakteri. Karakterisasi produk ini dengan spektrofotometer FTIR dan XRD. Suspensi ZnO nanopartikel-CTAB digunakan sebagai antibakteri *Escherichia coli* dengan metode difusi sumuran. Gugus fungsi Zn-O muncul pada bilangan gelombang 486,06 cm⁻¹ dan ukuran kristalinitas ZnO nanopartikel-CTAB diperkirakan sebesar 10,08 nm. Rata-rata zona hambat ZnO nanopartikel -CTAB terhadap *Escherichia coli* pada setiap konsentrasi adalah 9,10 -10,70 mm.

Kata kunci: ZnO, CTAB, antibakteri

Abstract: The biosynthesis of ZnO nanoparticles-CTAB was prepared in the alkaline solution by interaction of Zn²⁺ ion and CTAB and media of aqueous extract leaves of guava seed. The aims of this study were biosynthesis of ZnO nanoparticles-CTAB, characterization and its application as antibacterial. Characterization of this product with FTIR and XRD spectrophotometer. The suspension of ZnO nanoparticles-CTAB was used as antibacterial of *Escherichia coli* with the well diffusion agar method. The Zn-O group appeared at 486.06 cm⁻¹ and the crystallite size of ZnO nanoparticles-CTAB was estimated at 10.08 nm. The average inhibition zone of ZnO nanoparticles-CTAB to *Escherichia coli* at any concentration was 9.10 -10.70 mm.

Keywords: ZnO, CTAB, antibacterial**PENDAHULUAN**

Nanoteknologi adalah teknologi tentang ilmu material dan material ini memiliki ukuran pada skala nano (antara 1 dan 100 nm). Material berukuran nano dapat dibuat dengan beberapa metode menjadi bentuk nanopartikel (Jan *et al.* 2021). Nanopartikel oksida logam anorganik, seperti ZnO nanopartikel dapat diklasifikasikan sebagai salah satu bentuk nanopartikel. Metode fisika, kimia, biologi, dan hibrid (Weldegebrueal 2020) dapat digunakan untuk sintesis nanopartikel oksida logam anorganik tersebut. Metode secara melalui uap kimia (chemical vapor), pengendapan, menggunakan diblock kopolimer sebagai templat, dan sol-gel adalah diklasifikasikan sebagai metode kimia (Polarz *et al.* 2005; Hu *et al.* 2003; Hulteen *et al.* 1997; Siswanto *et al.* 2017). Metode fisika, seperti hidrotermal superkritis (supercritical hydrothermal), kondensasi gas, laser ablasi (laser ablation), dan gelombang mikro (microwave) (Moghaddam *et al.* 2009; Chang & Tsai 2008; Singh & Gopal, 2007; Khoza *et al.* 2012). Metode biologi seperti menggunakan ekstrak tanaman (Mydeen *et al.* 2020) dan bakteri (Hamza

2020). Metode terakhir adalah sintesis kombinasi tara elektrokimia dan kimia untuk sintesis oksida logam anorganik (Nyffenegger *et al.*, 1998).

ZnO nanopartikel mempunyai sifat tidak beracun (Siddiqi *et al.* 2018) dan telah dianggap sebagai bahan yang paling banyak digunakan untuk aktivitas antimikroba (Mydeen *et al.* 2020), fotokatalis (Jan *et al.* 2021), aktivitas antikanker (Low *et al.* 2021) dan lain-lain. Hingga sekarang, para peneliti masih ada yang memilih metode biosintesis ZnO nanopartikel dengan metode yang sederhana. Metode sederhana ini disebut green synthesis. Material atau bahan yang digunakan yang tergolong ramah lingkungan merupakan keunggulan dari green synthesis ini (Mydeen, *et al.* 2020).

Daun, sebagai salah satu yang ada dalam tanaman, merupakan bahan yang sangat penting untuk biosintesis nanopartikel oksida logam. Proses ekstraksi daun ini dapat menggunakan pelarut alkohol atau non-alkohol. Pelarut untuk proses ekstraksi merupakan faktor pertama dalam pemilihan pelarut, seperti selektivitas, kelarutan, biaya, dan keamanan. Kesamaan larut (*like dissolves like*) adalah

hukum yang digunakan pada proses ekstraksi. Etanol atau metanol adalah pelarut umum dalam proses ekstraksi (Zhang *et al.* 2018). Pelarut golongan alkohol tersebut dapat digunakan sebagai pelarut dalam proses ekstraksi daun. Ekstrak alkohol dari daun tersebut dapat digunakan sebagai media untuk proses biosintesis ZnO nanopartikel (Fatimah *et al.* 2016; Galedari & Teimouri 2020). Daun mengandung senyawa organik tetapi senyawa organik tersebut memiliki karakteristik yang berbeda yaitu dapat bersifat polar, sedang dan non polar. Karakteristik tersebut dapat dilakukan ekstraksi tanpa pelarut alkohol seperti pelarut air yang telah dilakukan oleh Muhamad *et al.* (2017). Sebagai contoh, senyawa organik seperti senyawa fenolik pada daun jambu biji dapat diekstraksi dengan pelarut air dibandingkan dengan pelarut alkohol (Seo *et al.* 2014). Karbohidrat, flavonoid, alkaloid, glikosida, saponin, tanin, vitamin, dan steroid adalah senyawa organik yang ada dalam ekstrak air daun jambu biji (Joseph *et al.* 2016). Literatur sebelumnya seperti oleh Mydeen, *et al.* (2020) dan Nilavukkarasi *et al.* (2020) menyatakan bahwa pelarut air lebih disukai daripada etanol (alkohol) dalam proses ekstraksi dan air dipilih sebagai pelarut untuk proses ekstraksi daun sehingga diperoleh ekstrak air daun yang dapat digunakan sebagai media untuk biosintesis nanopartikel logam oksida.

CTAB (*Cetyltrimethyl ammonium bromide*) adalah surfaktan kationik dan digunakan sebagai stabilisasi ZnO dan AgO nanopartikel (El-Nahhal *et al.* 2017; Ahmed, *et al.* 2021), dan untuk meningkatkan sifat antibakteri dari nanopartikel Ag, ZnO/Ag, dan MgO (Mahmood *et al.* 2020; Babaahmadi *et al.* 2018; Sharma *et al.* 2020; Wang *et al.* 2021). Struktur kimia CTAB memiliki rantai non-polar dan akan berinteraksi dengan lapisan hidrofobik nanopartikel logam. Di sisi lain, nanopartikel logam akan distabilkan oleh gugus yang bersifat polar dari CTAB tersebut (Guivar *et al.* 2015).

Makalah ini adalah biosintesis ZnO nanopartikel dengan penambahan CTAB. Biosintesis tersebut belum banyak dieksplorasi oleh peneliti lain. Produk ZnO nanopartikel-CTAB yang dihasilkan dikarakterisasi dengan alat FTIR dan XRD serta digunakan sebagai antibakteri dengan metode difusi sumuran.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Seng asetat dihidrat, setiltrimetilamonium bromida (*cetyltrimethylammonium bromide*, CTAB), natrium hidroksida, nutrin agar, dan asam asetat glasial (semua dibeli dari PT. Merck). Aquades dan bakteri *E coli* diperoleh dari Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Bhakti Pertiwi (Laboratorium Mikrobiologi). Daun jambu biji (*Psidium guajava* L) diperoleh dari daerah kota Palembang, Sumatera Selatan.

Preparasi Sampel

Preparasi Ekstrak Air Daun Jambu Biji

Ekstrak air dalam jambu biji dapat dibuat dengan prosedur dari peneliti sebelumnya (Nithyaa *et al.* 2019) dengan sedikit modifikasi. Daun jambu biji yang telah dibersihkan dan segar (dipotong kecil-kecil, 50 g) ditambahkan ke dalam gelas kimia 500 ml yang berisi aquadest (250 mL). Campuran dipanaskan pada suhu 90°C selama 30 menit, setelah dingin pada suhu kamar, campuran dipisahkan antara filtrat dan residu. Filtrat yang digunakan sebagai media untuk proses biosintesis.

Biosintesis ZnO Nanopartikel-CTAB

Biosintesis ZnO nanopartikel-CTAB dengan prosedur dari peneliti sebelumnya (Nithyaa & Kalyanasundharam 2019) dengan sedikit modifikasi. Ekstrak air jambu biji (150 mL) ditambahkan ke dalam larutan seng asetat dihidrat (50 ml, 0,1 M) pada labu erlenmeyer 250 mL. CTAB (0,728 g) ditambahkan ke dalam campuran ini, kemudian dipanaskan di atas *hot plate* (60°C) dan diaduk terus menerus menggunakan pengaduk magnet (30 menit). Setelah didinginkan pada suhu kamar, larutan NaOH (0,1 M) ditambahkan pada campuran tersebut dengan pengadukan terus menerus hingga pH 8. Campuran didiamkan selama satu malam hingga muncul endapan. Residu (endapan) dipisahkan dan dicuci dengan aquades (15 ml). Endapan (ZnO nanopartikel-CTAB) yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C hingga kering. Prosedur yang sama digunakan untuk biosintesis nanopartikel ZnO tanpa CTAB.

Karakterisasi

Karakterisasi gugus fungsional dengan spektrofotometer FTIR yaitu gugus fungsi dari CTAB, ZnO nanopartikel, dan ZnO nanopartikel-CTAB. Masing-masing dicampur dengan *pellet* KBr, dan dikarakterisasi dengan Spektrofotometer FTIR (Shimadzu Prestige-21). Bilangan gelombang yang digunakan antara 4500–500 cm⁻¹. Karakterisasi struktur fisik (dengan XRD) meliputi CTAB, ZnO nanopartikel dan ZnO nanopartikel-CTAB, masing-masing dievaluasi dengan difraksi sinar-X (Shimadzu 6000) dan untuk menghitung ukuran kristalinitasnya. Kondisi operasional difraksi sinar-X adalah tabung sinar-X Cu K α pada 1.5406 Å, 30 kV, dan 10 mA dengan kecepatan/lama waktu pindai 10.000 derajat. menit⁻¹ dan kisaran 2 θ dari 0°–80°.

Studi Antibakteri ZnO Nanopartikel-CTAB dan ZnO Nanopartikel terhadap bakteri *E coli*

Metode difusi sumuran digunakan untuk studi antibakteri ini. Persiapan suspensi inokulum *Escherichia coli* diadopsi dari literatur sebelumnya (Isnaeni *et al.* 2020). Prosedur penyiapan nutrien agar

sebagai lapisan pertama dan suspensi inokulum *Escherichia coli* ditempatkan sebagai lapisan kedua mengacu pada prosedur sebelumnya (Fatoni *et al.* 2021^{a,b}). Sumur dibuat dengan cara dibuat lubang dengan diameter 6 mm. Suspensi ZnO nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel pada setiap masing-masing konsentrasi dimasukkan ke dalam masing-masing sumur. Cawan petri diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Diameter zona hambat pertumbuhan bakteri diukur setelah 24 jam. Studi antibakteri ini disiapkan dengan tiga cawan petri sebagai tiga (3) kali perulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biosintesis ZnO Nanopartikel-CTAB dan ZnO Nanopartikel

Biosintesis ini dilakukan dalam media (kondisi) basa. Hasil penelitian sebelumnya (Ibrahim 2015) menyatakan bahwa dalam medium asam, biomolekul (yang terkandung dalam ekstrak air daun jambu biji) tidak aktif, tetapi dalam medium basa (pH > 8), kemampuan biomolekul tersebut dalam ekstrak air dapat mengubah muatan listrik biomolekul sebagai *capping* dan *stabilizing agent* (Khalil *et al.* 2014). Mekanisme reaksi biosintesis ini telah dijelaskan oleh literatur sebelumnya (Júnior, *et al.* 2017). Ion Zn²⁺ sebagai prekursor dalam media ekstrak air daun jambu biji akan membentuk Zn(OH)₂ dan selanjutnya akan membentuk senyawa kompleks [Zn(OH)₄]²⁻ dalam media (suasana) basa. Senyawa kompleks ini akan diubah menjadi Zn(OH)₂ dan akhirnya menjadi ZnO. Sebaliknya, muatan positif kompleks CTA⁺ dan [Zn(OH)₄]²⁻ membentuk senyawa kompleks CTA⁺-[Zn(OH)₄]²⁻. ZnO, H₂O dan ion CTA⁺ akan terbentuk dari kompleks ini. Dokumentasi foto ZnO nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel terlihat pada Gambar 1.



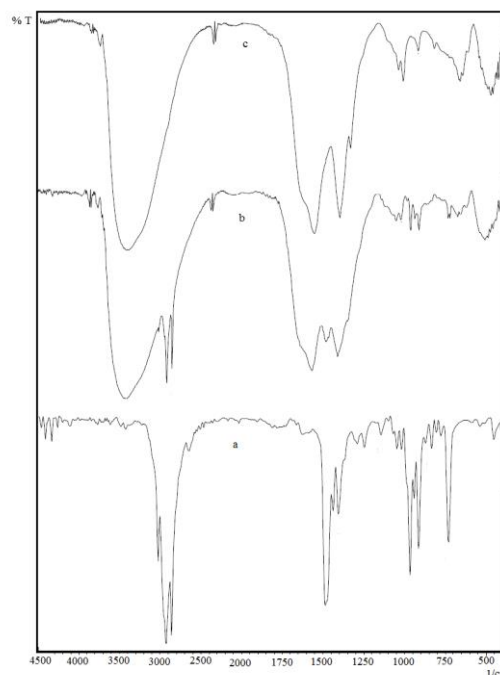
Gambar 1. (a) Gambar ZnO nanopartikel-CTAB (b) ZnO nanopartikel.

Analisa Gugus Fungsi

Interpretasi gugus fungsi dari spektra FTIR CTAB, ZnO nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel ditampilkan pada Gambar 2. Hasil analisis dalam spektrum ini dirangkum dalam Tabel 1.

Spektra FTIR CTAB (Gambar 2a) diinterpretasikan sebagai berikut (Guivar *et al.* 2015; Viana *et al.* 2012 dan Wahyuni *et al.* 2018) bahwa pita serapan pada bilangan gelombang 2918,30 dan

2848,86 cm⁻¹ untuk vibrasi ulur -CH₂ asimetris dan simetris. Pita pada bilangan gelombang 1481,33 dan 1400,32 cm⁻¹ masing-masing untuk vibrasi tekuk N-CH₃ asimetris dan simetris. Vibrasi ulur dan tekuk dari gugus fungsi N-CH₃ masing-masing muncul pada bilangan gelombang 3014,74 dan 1400,32 cm⁻¹. Pita serapan pada bilangan gelombang 908,47 cm⁻¹ untuk vibrasi ulur C-N. Gambar 2b merupakan spektra FTIR ZnO nanopartikel-CTAB dan memiliki puncak antara 509,21-3419,79 cm⁻¹. Puncak pada bilangan gelombang 3419,79 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur gugus -O-H (Matinise *et al.* 2017). Puncak pada bilangan gelombang 1566,20 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur gugus fungsi C-O-C (Raj & Lawrence, 2018). Spektra FTIR ZnO nanopartikel-CTAB mengandung semua gugus struktur CTAB seperti vibrasi ulur gugus C-H (asimetris dan simetris), gugus fungsi N-CH₃ (asimetris dan simetris), dan gugus C-N. Hasil ini menunjukkan gugus fungsi CTAB teramati pada spektrum ZnO nanopartikel-CTAB. Vibrasi ulur gugus fungsi Zn-O muncul pada bilangan gelombang 509,21 cm⁻¹, menurut Nithyaa & Kalyanasundharam (2019) dinyatakan bahwa logam-oksigen terletak pada daerah bilangan gelombang antara 400-600 cm⁻¹. Hasil ini menunjukkan bahwa ZnO nanopartikel-CTAB mengandung gugus fungsi Zn-O. Gambar 2c memiliki perbedaan dengan spektra FTIR ZnO nanopartikel-CTAB. Gugus fungsi CTAB tidak ada pada spektra FTIR ZnO nanopartikel, tetapi muncul pita serapan pada bilangan gelombang 486,06 cm⁻¹. Pita serapan ini adalah vibrasi ulur dari gugus fungsi Zn-O (Nithyaa & Kalyanasundharam 2019; Matinise *et al.* 2017).

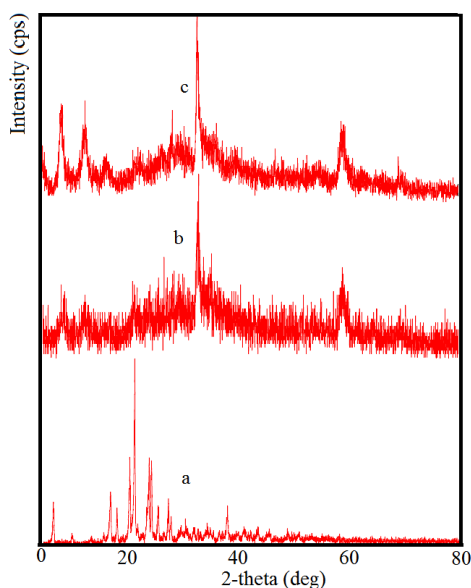


Gambar 2. (a) Spektrum FTIR CTAB (b) ZnO nanopartikel-CTAB (c) ZnO nanopartikel

Tabel 1. Interpretasi gugus fungsional CTAB, ZnO nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel

| No | Gugus fungsi | Bilangan gelombang (cm ⁻¹) | | |
|----|-------------------------------------|--|-----------------------|------------------|
| | | CTAB | ZnO nanopartikel-CTAB | ZnO nanopartikel |
| 1 | O-H / N-H | - | 3419,79 | 3421,72 |
| 2 | C-O-C | - | 1566,20 | 1566,20 |
| 3 | C-H <i>asymmetric</i> | 2918,30 | 2916,37 | - |
| 4 | C-H <i>symmetric</i> | 2848,86 | 2848,86 | - |
| 5 | N-CH ₃ <i>asymmetric</i> | 1481,33 | 1481,33 | - |
| 6 | N-CH ₃ <i>symmetric</i> | 1400,32 | 1409,96 | - |
| 7 | N-CH ₃ | 3014,74 | - | - |
| 8 | C-N | 908,47 | 910,40 | - |
| 9 | Zn-O | - | 509,21 | 486,06 |

Hasil analisis struktur fisik dari CTAB, ZnO nanopartikel-CTAB, dan ZnO nanopartikel dapat dilihat pada Gambar 3. Difraktogram CTAB memiliki puncak dengan intensitas yang lebih tinggi dan CTAB ini berbentuk kristal (de Araújo *et al.* 2018). Difraktogram dari ZnO nanopartikel-CTAB memiliki $2\theta = 8,6^\circ, 12,6^\circ, 30,0^\circ, 32,91^\circ$ dan $59,05^\circ$ (Gambar 3b). Puncaknya tajam pada $2\theta = 32,91^\circ$ dan $59,05^\circ$. $2\theta = 8,58^\circ, 12,80^\circ$ dan $32,92^\circ$ adalah puncak utama dalam difraktogram ZnO nanopartikel (Gambar 3c). Puncak tajam pada $2\theta = 32,91^\circ$ (untuk ZnO nanopartikel-CTAB) dan $32,92^\circ$ (untuk ZnO nanopartikel) menunjukkan adanya ZnO (Shubha *et al.* 2019). Difraktogram ZnO nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel memiliki kesamaan puncak difraksi dan puncak difraksi ini lebih intens sehingga diklasifikasikan ke dalam bentuk kristalin (*crystalline nature*) (Osman & Mustafa 2015).

**Gambar 3.** (a) Difraktogram CTAB (b) ZnO nanopartikel-CTAB dan (c) ZnO nanopartikel

Ukuran kristalinitas dari ZnO nanopartikel dan ZnO nanopartikel-CTAB dihitung dengan menggunakan rumus Debye Scherrer (Vijayakumar *et al.* 2018).

$$D = (0.9.\lambda / \beta.\cos \theta) \quad \dots (1)$$

Di mana D adalah ukuran kristalinitas, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, β adalah lebar penuh pada setengah maksimum (*FWHM*) dan θ adalah sudut Bragg. Ukuran kristalinitas ZnO nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel diperkirakan masing-masing sebesar 10,08 dan 10,05 nm.

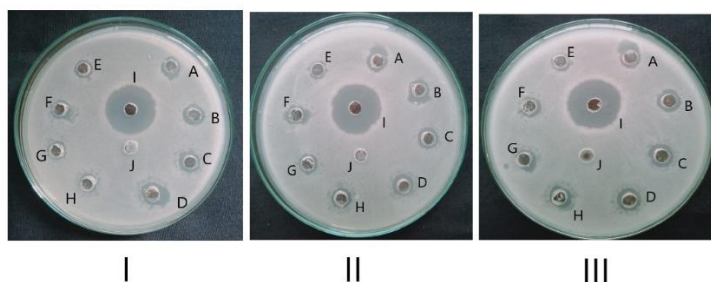
Aplikasi ZnO Nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel sebagai Antibakteri

Aktivitas antibakteri ZnO nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel dievaluasi seperti pada Gambar 4 dengan tiga kali perulangan (3 cawan petri) dan perhitungan diameter zona hambatnya ditabulasikan pada tabel 2.

Rata-rata zona hambat ZnO nanopartikel-CTAB di setiap cawan petri terhadap bakteri *Escherichia coli* lebih tinggi dibandingkan ZnO nanopartikel. Berdasarkan rata-rata zona hambat tersebut maka terdapat pengaruh CTAB terhadap nanopartikel ZnO. Ada tiga mekanisme untuk menjelaskan aktivitas antimikroba dari ZnO nanopartikel. Pertama, terdapat pori pada dinding luar sel bakteri dan ZnO nanopartikel dapat berpindah ke pori tersebut (El Fawala *et al.* 2020). Kedua, spesies oksigen reaktif (ROS) dari ZnO nanopartikel dan ion Zn^{2+} berperan mengganggu sintesis protein (Rahman *et al.* 2018) dan ketiga, mitokondria sel bakteri dapat dihancurkan dengan ukuran nanopartikel logam sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri (Nilavukkarasi *et al.*, 2020). Sifat dari senyawa CTAB adalah memiliki efek sebagai antibakteri (Khanmirzaee *et al.*, 2018) dan kombinasi antara ZnO nanopartikel dan CTAB

Tabel 2. Perhitungan diameter zona hambat

| No. | Cawan petri | Diameter zona hambat (mm) | | | | | | | | | |
|-----------|-------------|---|----------|----------|-----------|------------------------------------|----------|----------|-----------|--|-------------------------------------|
| | | Konsentrasi ZnO nanopartikel-CTAB (ppm) | | | | Konsentrasi ZnO nanopartikel (ppm) | | | | Larutan kloramfenikol (ppm, kontrol positif) | Larutan Na-CMC (kontrol negatif, J) |
| | | 2500 (A) | 5000 (B) | 7500 (C) | 10000 (D) | 2500 (E) | 5000 (F) | 7500 (G) | 10000 (H) | 1000 (I) | - |
| I | | 9,20 | 9,30 | 9,60 | 10,70 | 8,00 | 8,60 | 9,40 | 9,90 | 21,30 | - |
| II | | 8,80 | 9,20 | 9,30 | 10,20 | 7,70 | 8,30 | 8,60 | 9,00 | 20,4 | - |
| III | | 9,30 | 10,2 | 10,6 | 11,20 | 7,80 | 8,50 | 8,90 | 9,40 | 21,1 | - |
| Rata-rata | ± | 9,10± | 9,50± | 9,80± | 10,70± | 7,80± | 8,50± | 8,90± | 9,40± | 21,1 ± 0,47 | - |
| SD | | 0,10 | 0,40 | 0,50 | 0,40 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,30 | | |



Gambar 4. Aktifitas antibakteri dari ZnO nanopartikel-CTAB (A-D), ZnO nanopartikel (E-H), larutan kloramfenikol (I), dan larutan Na-CMC (J).

dapat menghambat pertumbuhan bakteri, hal ini dikarenakan muatan positif ZnO nanopartikel-CTAB dapat berinteraksi dengan dinding sel bakteri yang bermuatan negatif (Jang *et al.* 2015).

KESIMPULAN

Ion Zn²⁺, ekstrak air daun jambu biji, natrium hidroksida, dan CTAB merupakan bahan-bahan dalam proses biosintesis ZnO nanopartikel dan ZnO nanopartikel-CTAB. ZnO nanopartikel-CTAB mengandung gugus fungsi Zn-O dan CTAB. Struktur fisik ZnO nanopartikel-CTAB dan ZnO nanopartikel adalah kristalin. Diameter zona hambat yang dihasilkan dari ZnO nanopartikel-CTAB lebih tinggi dibandingkan ZnO nanopartikel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Bhakti Pertiwi (STIFI Bhakti Pertiwi) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, F., Al-Omar, S.Y., Albalawi, F., Arshi, N., Dwivedi, S., Kumar, S., Shaalan, N.M. &

Ahmad, N. (2021). Microwave mediated fast synthesis of silver nanoparticles and investigation of their antibacterial activities for gram-positive and gram-negative microorganisms. *Crystals*. **11**(6): 666.

Babaahmadi, V., Montazer, M., Ghanbarafjeh, M. & Samadi, N. (2018). Simultaneous in situ synthesis of nanosilver and dyeing of poliamide 6 Fabric. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*. **43**: 488-494.

Chang, H & Tsai, M.H. (2008). Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles having prism shape by a novel gas condensation process., *Reviews on Advanced Materials Science*. **18**: 734-743

de Araújo, M. J.G., Barbosa, R.C., Fook, M.V.L., Canedo, E. L., Silva, S.M.L., Medeiros, E.S. & Leite, I.F. (2018). HDPE/Chitosan blends modified with organobentonite synthesized with quaternary ammonium salt impregnated chitosan. *Materials*. **11**: 291.

El Fawala, G., Honga, H., Songa, X., Wua, J., Suna, M., Hea, C., Moa, X., Jiang Y. & Wang, H. (2020). Fabrication of antimicrobial films based

- on hydroxyethylcellulose and ZnO for food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*. **23**: 100462.
- El-Nahhal, I. M., Elmanama, A.A., El Ashgar, N.M., Amara, N., Selmane, M. & Chehimi, M.M. (2017). Stabilization of nano-structured ZnO particles onto the surface of cotton fibers using different surfactants and their antimicrobial activity. *Ultrasonics Sonochemistry*. **38**: 478–487.
- Fatimah, I., Pradita, R.Y. & Nurfalinda, A. (2016). Plant extract mediated of ZnO nanoparticles by using ethanol extract of mimosa pudica leaves and coffee powder. *Procedia Engineering*. **148**: 43–48.
- Fatoni, A., Sriwijaya, R.A., Habiba, U. & Hidayati, N. (2021^a). CuO nanoparticles: biosynthesis, characterization and in vitro study. *Science and Technology Indonesia*. **6(1)**: 25–29.
- Fatoni, A., Afrizal, M. A., Rasyad, A. A., & Hidayati, N. (2021^b). ZnO nanoparticles and its interaction with chitosan: profile spectra and their activity against bacterial. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*. **6(2)**: 216-227.
- Galedari, S & Teimouri, M. (2020). Study of the physicochemical properties and anti-biofilm effects of synthesized zinc oxide nanoparticles using artemisia plant. *International Journal of Basic Science in Medicine*. **5(3)**: 101-107.
- Guivar, J.A.R., Sanches, E.A., Magon, C.J, & Fernandes, E.G.R. (2015). Preparation and characterization of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)-stabilized Fe₃O₄ nanoparticles for electrochemistry detection of citric acid. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. **755**: 158–166.
- Hamza, Z.S. (2020). Antibacterial activity of zinc oxide nanoparticle (ZnONP) biosynthesis by lactobacillus plantarium against pathogenic bacteria. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*. **14(4)**: 2708–2715.
- Hulteen, J.C & Martin, C.R. (1997). A general template-based method for the preparation of nanomaterials. *Journal of Materials Chemistry*. **7(7)**: 1075–1087.
- Hu, Z., Oskam, G. & Searson, P.C. (2003). Influence of solvent on the growth of ZnO nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*. **263**: 454–460.
- Ibrahim, H. M. M. (2015). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. *Journal of Radiation Research and Applied Science*. **8**: 265-275
- Isnaeni, Hendradi, E & Zettira, N.Z. (2020). Inhibitory effect of roselle aqueous extracts-HPMC 6000 gel on the growth of *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*. **17(2)**: 190-196.
- Jan, F.A., Wajidullah, Ullah, R., Ullah, N., Salman. & Usman, M. (2021). Exploring the environmental and potential therapeutic applications of *Myrtus communis* L. assisted synthesized zinc oxide (ZnO) and iron doped zinc oxide (Fe-ZnO) nanoparticles. *Journal of Saudi Chemical Society*. **25(7)**: 101278.
- Jang, H., Lim, S.H., Choi, J.S. & Park, Y. (2015). Antibacterial properties of cetyltrimethylammonium bromidestabilized green silver nanoparticles against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Archives of Pharmacol Research*. **38**: 1906-1912.
- Joseph, L., George, M., Singh, G & Mathews, P. (2016). Phytochemical investigation on various parts of *Psidium guajava*. *Annals of Plant Science*. **5(2)**: 1265-1268.
- Júnior, E. A. A., Nobre, F. X., da Silva Sousa, G., Cavalcante, L. S., Santos, M.R.D.M.C., Souza, F.L. & de Matos, J.M.E. (2017). Synthesis, growth mechanism, optical properties and catalytic activity of ZnO microcrystals obtained via hydrothermal processing. *RSC advances*. **7(39)**: 24263-24281.
- Khalil, M. M. H., Ismail, E.H., El-Baghdady, K.Z. & Mohamed, D. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity. *Arabian Journal of Chemistry*. **7**: 1131-1139.
- Khanmirzaee, S., Montazer, M. & Pashae, A (2018). Dyeing of cotton fabric with antibacterial properties using direct dye and CTAB. *Journal of Natural Fibers*. **17(2)**: 1-12.
- Khoza, P. B., Moloto, M.J & Sikhwivhilu, L.M. (2012). The Effect of solvents, acetone, water, and ethanol, on the morphological and optical properties of ZnO nanoparticles prepared by microwave. *Journal of Nanotechnology*. **2012**: 195106.
- Low, D.Y.S., Mahendra, C.K., Supramaniam, J., Tan, L.T.H., Lee, L.H., Manickam, S., Goh, B.H., Tan, K.W. & Tang, S.Y. (2021). Ultrasound-enhanced biosynthesis of uniform ZnO nanorice using *Swietenia macrophylla* seed extract and its in vitro anticancer activity. *Nanotechnology Reviews*. **10**: 572–585.
- Mahmood, M., Abid, M., Nazar, M. F., Zafar, M. N., Raza, M. A., Ashfaq, M., Khan, A. M., Sumrra, S. H & Zubair, M. (2020). The wet chemical synthesis of surfactant-capped quasi-spherical silver nanoparticles with enhanced antibacterial activity. *Materials Advances*. **1**: 2332–2338.
- Matinise, N., Fuku, X.G., Kaviyarasu, K., Mayedwa, N. & Maaza, M. (2017). ZnO nanoparticles via *Moringa oleifera* green synthesis: physical properties & mechanism of formation. *Applied Surface Science*. **406**: 339–347.

- Moghaddam, A. B., Nazari, T., Badraghi, J. & Kazemzad, M. (2009). Synthesis of ZnO nanoparticles and electrodeposition of polypyrrole/ZnO nanocomposite film. *International Journal of Electrochemical Science*. **4**: 247–257.
- Muhamad, I. I., Hassan, N.D., Mamat, S.N.H., Nawi, N.W., Rashid, W.A & Tan, N.A. (2017). Extraction technologies and solvents of phytochemicals from plant materials: physicochemical characterization and identification of ingredients and bioactive compounds from plant extract using various instrumentations. In Grumezescu, A.M. & Holban, A.M (Eds). *Ingredients Extraction by Physicochemical Methods in Food*. 523-560.
- Mydeen, S.S., Raj Kumar, R., Kottaisamy, M. & Vasantha, V.S. (2020). Biosynthesis of ZnO nanoparticles through extract from Prosopis juliflora plant leaf: antibacterial activities and a new approach by rust-induced photocatalysis. *Journal of Saudi Chemical Society*. **24 (5)**: 393-406.
- Nilavukkarasi, M., Vijayakumar, S. & Prathipkumar, S. (2020). Capparis zeylanica mediated biosynthesized ZnO nanoparticles as antimicrobial, photocatalytic and anti-cancer applications. *Materials Science for Energy Technologies*. **3**: 335–343.
- Nithyaa, K. & Kalyanasundharam, S. (2019). Effect of chemically synthesis compared to biosynthesized ZnO nanoparticles using aqueous extract of *C. halicacabum* and their antibacterial activity. *OpenNano*. **4**: 100024.
- Nyffenegger, R. M., Craft, B., Shaaban, M., Gorer, S., Erley, G. & Penner, R. M.A. (1998). Hybrid electrochemical/chemical synthesis of zinc oxide nanoparticles and optically intrinsic thin films. *Chemistry of Materials*. **10(4)**: 1120–1129.
- Osman, D.A.M & Mustafa, M.A. (2015). Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using zinc acetate dihydrate and sodium hydroxide. *Journal of Nanoscience and Nanoengineering*. **1(4)**: 248-251.
- Polarz, S., Roy, A. & Merz. M. (2005). Chemical vapour synthesis of size selected zinc oxide nanoparticles. *Small*. **5**: 540–552.
- Rahman, P. M., Mujeeb, V.M.A., Muraleedharan, K. & Thomas, S. K. (2018). Chitosan/nano ZnO composite films: Enhanced mechanical, antimicrobial and dielectric properties. *Arabian Journal of Chemistry*. **11(1)**: 120-127.
- Raj, A. & Lawrence.R. (2018). Green synthesis and characterization of ZnO nanoparticles from leaf extracts of *rosa indica* and its antibacterial activity. *Rasayan Journal of Chemistry*. **11(3)**: 1339-1348.
- Sharma, R., Kumar, S., Singh, P. & Kapila, S. (2020). Structural, morphological and antimicrobial study of ZnO/Ag nanoparticles. *Biomedical and Pharmacological Journal*. **13(4)**: 1645-1652.
- Seo, J., Lee, S., Elam, M.L., Johnson, S.A, Kang, J. & Arjmandi, B.H. (2014). Study to find the best extraction solvent for use with guava leaves (*Psidium guajava* L) for high antioxidant efficacy. *Food Science and Nutrition*. **2(2)**: 174–180.
- Shubha, P., Gowda, M.L., Namratha, K., Shyamsunder, S., Manjunatha, H.B. & Byrappa, K. (2019). Ex-situ fabrication of ZnO nanoparticles coated silk fiber for surgical applications. *Materials Chemistry and Physics*. **231**: 21–26.
- Siddiqi, K.S., Rahman, A.U., Tajuddin & Husen, A. (2018). Properties of zinc oxide nanoparticles and their activity against microbes. *Nanoscale Reserach Letters*. **13**:141.
- Singh, S.C. & Gopal, R. (2007). Zinc nanoparticles in solution by laser ablation technique. *Bulletin of Materials Science*. **30**: 291–293.
- Siswanto, Rochman, N. T. & Akwalia, P. R. (2017). Fabrication and characterization of Zinc Oxide (ZnO) nanoparticle by sol-gel method. *Journal of Physics: Conference Series*. **853(1)**: 012041.
- Viana, R. B., da Silva, A. B. F. & Pimentel, A. S. (2012). Infrared spectroscopy of anionic, cationic, and zwitterionic surfactants. *Advances in Physical Chemistry*. **2012**: 1–14.
- Vijayakumar, S., Mahadevan, S., Arulmozhi, P., Sriram, S. & Praseetha, P.K. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Atalantia monophylla* leaf extracts: characterization and antimicrobial analysis. *Materials Science in Semiconductor Processing*. **82**: 39–45.
- Wahyuni, E.T., Roto, R., Nissah, F. A., Mudasir, M. & Aprilita, N.H. (2018). Modified silica adsorbent from volcanic ash for Cr(VI) anionic removal. *Indonesian Journal of Chemistry*. **18(3)**: 428 – 433.
- Wang, X., Cui, L., Fan, S., Li, X. & Liu, Y. (2021). Biodegradable Poly(butylene adipate-terephthalate) Antibacterial Nanocomposites Reinforced with MgO Nanoparticles. *Polymers*. **13**: 507.
- Wang, X., Li, X., Cui, L., Liu, Y. & Fan, S. (2022). Improvement of Gas Barrier Properties for Biodegradable Poly (butylene adipate-terephthalate) Nanocomposites with MXene Nanosheets via Biaxial Stretching. *Polymers*. **14(3)**: 480.
- Zhang, Q.W., Lin, L.G. & Ye, W.C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinese Medicine*. **13(20)** :1-26.