



Green Synthesis of ZnO Nanoparticles with Papaya Leaf Extract (*Carica papaya L.*) as a Reductor and its Application on Cotton Fabrics

Awanda Halida Ramadanti, Dina Kartika Maharani ✉

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Gedung C5-C6, Kampus Unesa Ketintang, Jl. Ketintang Surabaya, 60231, Indonesia

Info Artikel

Diterima Januari 2022

Disetujui Maret 2022

Dipublikasikan November
2022

Keywords:

Sintesis hijau

Nanopartikel ZnO

Daun pepaya

Kain katun

Abstrak

Nanopartikel ZnO memiliki aplikasi yang luas seperti fotokatalis, serta mempunyai aktivitas antibakteri dan sifat hidrofobik. Penelitian ini bertujuan untuk sintesis ZnO nanopartikel dengan metode sintesis hijau menggunakan ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai agen pereduksi yang diaplikasikan pada kain katun dengan metode *pad dry-cure*. Pelapisan nanopartikel ZnO dilakukan pada konsentrasi 3%, 6%, dan 9%. Hasil karakterisasi dengan FT-IR dan XRD menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis dengan ekstrak daun pepaya memiliki derajat kristalinitas sebesar 76,97% dengan ukuran kristalin sebesar 39,60 nm. Aplikasi nanopartikel ZnO pada kain menunjukkan adanya peningkatan sifat hidrofobik pada kain dan aktivitas antibakteri yang baik pada bakteri *Staphylococcus aureus* (bakteri gram positif) dan *Escherichia coli* (bakteri gram negatif). Sudut kontak tertinggi dari kain berlapis nanopartikel ZnO ditunjukkan pada konsentrasi 3% yaitu 113°. Aktivitas antibakteri tertinggi ditunjukkan pada konsentrasi terbesar yaitu 9% pada bakteri *Staphylococcus aureus* dengan luas daerah hambat 23,7 mm dan pada *Escherichia coli* dengan luas daerah hambat 8,3 mm.

Abstract

ZnO nanoparticles have great applications such as photocatalysts and have antibacterial activity and hydrophobic properties. In this research, green synthesis with papaya leaves extracts as a reducing agent for ZnO nanoparticles that applied on cotton fabric with *pad dry-cure* method. ZnO nanoparticle coating was carried out at concentrations of 3%, 6%, and 9%. Characteristics resulting from FT-IR and XRD identified ZnO nanoparticles from the synthesis with papaya leaf extract have a crystallinity level of 76.97% with a crystalline size of 39.60 nm. Application of ZnO nanoparticles on fabric showed an increase in the hydrophobic properties of the fabric and good antibacterial activity on the *Staphylococcus aureus* (gram-positive bacteria) and *Escherichia coli* (gram-positive bacteria). The highest contact angle of the ZnO nanoparticle-coated fabric is shown in the concentration of 3% which is 113°. The highest antibacterial activity was shown at the concentration of the largest 9% in *Staphylococcus aureus* bacteria with an area of inhibition of 23.7 mm and in *Escherichia coli* with an area of inhibition of 8.3 mm.

Pendahuluan

ZnO atau seng oksida adalah semikonduktor yang telah lama dikenal memiliki aplikasi yang luas (Ong *et al.*, 2018). Pelapisan ZnO pada suatu material menunjukkan aktivitas fotokatalitik, antibakteri, serta kemampuan absorbansi yang baik (Kamal *et al.*, 2015). Pelapisan pada kain katun dapat meningkatkan sifat unggulan pada kain seperti sifat fotokatalitik, hidrofobik, dan aktivitas antibakteri (Aminloo & Montazer, 2021). Struktur nano dari ZnO sangat penting untuk aplikasinya pada fotokatalitik (Sayyar & Malmiri, 2019). Nanopartikel merupakan partikel berukuran kecil berkisar dari 1 hingga 100 nm (Khan *et al.*, 2019). Nanopartikel ZnO memiliki celah pita (3,445 eV) dan mempertahankan ikatan eksitasi tinggi dalam energi (60 meV) (Zeng *et al.*, 2015), bentuk nanopartikel ini banyak dimanfaatkan pada berbagai aplikasi di bidang teknik, kosmetik, pengemasan makanan, dan obat-obatan (Sayyar & Malmiri, 2019).

Telah banyak digunakan metode untuk sintesis nanopartikel dari oksida logam, baik proses fisik dan kimia tertentu. Metode sintesis nanopartikel tersebut memiliki beberapa kelemahan salah satunya adalah penggunaan pelarut yang beracun serta dihasilkan produk buangan yang berbahaya (Drummer *et al.*, 2021). Penggunaan agen pereduksi seperti hidrazin hidrat (H_6N_2O), natrium borohidrida ($NaBH_4$), dimetil formamida (DMF), dan etilen glikol ($C_2H_6O_2$) dapat menghasilkan limbah yang berpotensi menjadi polutan bagi lingkungan (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019). Sebagai alternatif dari proses sintesis tersebut, kini telah dikembangkan metode sintesis berbasis sintesis hijau (*green synthesis*). Sintesis hijau atau *green synthesis* dan biosintesis dideskripsikan sebagai sintesis senyawa menggunakan bahan seperti ekstrak tumbuhan, jamur, ganggang, dan mikroba. Metode ini bertujuan untuk meminimalkan efek dari bahan kimia beracun yang biasanya digunakan dalam proses sintesis oksida logam (Kharissova *et al.*, 2019). Penggunaan ekstrak tumbuhan memungkinkan dalam proses sintesis oksida logam sebagai agen pereduksi dan capping, sehingga dapat menggantikan kebutuhan agen pereduksi dari bahan berbahaya (Peralta-Videa *et al.*, 2016). Dalam ekstrak tumbuhan mengandung senyawa fitokimia seperti polifenol, flavonoid, terpenoid, asam fenolik yang dapat dimanfaatkan sebagai agen pereduksi dan pembentukan nanopartikel yang distabilkan (Izadiyan *et al.*, 2020). Sintesis nanopartikel ZnO dengan menggunakan bahan alam telah banyak dikembangkan beberapa dekade terakhir, seperti ekstrak tumbuhan *muicle (Justicia spicigera)* sebagai fotokatalis untuk degradasi warna (Soto-Robles *et al.*, 2021); ekstrak daun akasia gila (*Prosopis juliflora*) untuk aplikasi sebagai fotokatalis dan antibakteri (Sheik Mydeen *et al.*, 2020); dan ekstrak biji labu (*Curcubita*) untuk aplikasi antibakteri, antijamur, dan anti larvisida (Velsankar *et al.*, 2019).

Tanaman pepaya (*Carica papaya L.*) merupakan tanaman asli daerah tropis yang banyak tersebar di seluruh dunia (Balavijayalakshmi & Ramalakshmi, 2017). Ekstrak daun pepaya memiliki kandungan yang tinggi vitamin, fenol, enzim proteolitik sebagai agen antimikroba yang baik. Ekstrak daun pepaya adalah salah satu jenis bahan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai agen pereduksi pada sintesis oksida logam (Reddy *et al.*, 2015).

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis nanopartikel ZnO dengan metode sintesis hijau yang memanfaatkan ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai agen pereduksi, hasil sintesis nanopartikel ZnO akan diaplikasikan pada kain katun. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi dari nanopartikel ZnO yang diaplikasikan pada kain. Hasil sintesis nanopartikel ZnO dikarakterisasi dengan FT-IR dan XRD. Kemudian aplikasi pada kain dievaluasi sifat antibakterinya dan sifat hidrofilik/hidrofobiknya pada kain.

Metode

Alat dan bahan yang digunakan adalah gelas ukur 10 mL, gelas ukur 100 mL, gelas kimia 100 mL, gelas kimia 300 mL, labu ukur 100 mL, spatula kaca, pipet, kertas saring whatman No. 1, cawan petri, jangka sorong, bunsen, *hot plate magnetic stirrer*, kompor listrik, neraca analitik, pH meter, kamera, tripod, FT-IR (PerkinElmer FT-IR Spectrometer Spectrum Two), dan XRD (X'pert PRO PANalytical), daun pepaya (*Carica papaya L.*), aquades, seng asetat dihidrat ($Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O$), NaOH, kain katun.

Ekstraksi Daun Pepaya

Daun pepaya (*Carica papaya L.*) dibersihkan dan dipotong kecil-kecil. Daun pepaya ditimbang sebanyak 20 gram dan dimasukkan dalam gelas kimia 300 mL. Aquades ditambahkan sebanyak 100 mL dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam. Selanjutnya campuran didiamkan pada suhu ruang hingga dingin dan ekstrak disaring dengan kertas Whatman No. 1. Ekstrak daun pepaya disimpan pada suhu 4°C untuk penggunaan lebih lanjut (Banala *et al.*, 2015).

Sintesis Nanopartikel ZnO

Seng asetat dihidrat ($Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O$) 0,1 M diukur sebanyak 90 mL dan dimasukkan dalam gelas kimia. Ekstrak daun pepaya diambil 10 mL dan ditambahkan dalam gelas kimia (Demissie *et al.*, 2020). Campuran kemudian distirrer dengan kecepatan konstan pada suhu $60^\circ C$ selama 10 menit (Doan Thi *et al.*, 2020). Kemudian didiamkan pada suhu ruang hingga dingin dan NaOH 0,1 M ditambahkan pada campuran hingga pH 10 (Abdelhady, 2012). Selanjutnya distirrer dengan kecepatan konstan selama 1 jam hingga terbentuk endapan putih (Mehtar *et al.*, 2019). Endapan kemudian didekantasi dengan aquades dan dikeringkan pada oven dengan suhu $100^\circ C$ (Abdelhady, 2012).

Karakterisasi Nanopartikel ZnO

Padatan nanopartikel ZnO yang kering selanjutnya dikarakterisasi dengan FT-IR dan XRD : FT-IR, dilakukan identifikasi gugus fungsional pada nanopartikel ZnO dengan spektrum gelombang $4000-550\text{ cm}^{-1}$. XRD, dilakukan untuk identifikasi derajat kristalinitas dan ukuran kristalin dari nanopartikel ZnO (Cu K α X-ray tube pada $\lambda = 0,15406\text{ nm}$, 40 kV dan 30 mA dengan kecepatan pengamatan $2^\circ 2\theta\text{min}^{-1}$

Aplikasi pada Kain.

Kain katun dipotong ukuran $3 \times 3\text{ cm}$ dan dicuci dengan etanol teknis, selanjutnya dibilas dengan aquades. Kain dikeringkan pada suhu $100^\circ C$ selama 15 menit. Pencelupan kain dilakukan sebanyak 10 kali pada nanopartikel ZnO dengan konsentrasi (3%, 6%, dan 9%) dan selanjutnya diangin-anginkan selama 15 menit. Kain kemudian dikeringkan pada oven dengan suhu $100^\circ C$ selama 15 menit (Zhu *et al.*, 2017) dan selanjutnya proses curing pada oven suhu $140^\circ C$ hingga kain beratnya konstan (Setiyani & Maharani, 2015). Selanjutnya kain yang telah dilapisi nanopartikel ZnO diuji kemampuan hidrofilik/ hidrofobiknya dengan mengukur sudut kontak. Kain katun diuji dengan meneteskan air pada permukaan kain. Uji sudut kontak dilakukan menggunakan kamera dan software busur derajat untuk mengukur sudut kontak dari cairan (Putra *et al.*, 2020).

Uji Aktivitas Antibakteri

Kain yang telah dilapisi nanopartikel ZnO selanjutnya dilakukan uji aktivitas antibakteri pada *Staphylococcus aureus* (bakteri gram positif) dan *Escherichia coli* (bakteri gram negatif) dengan metode difusi agar (Patil *et al.*, 2021). Kain katun yang telah dilapisi nanopartikel ZnO dan kain katun tanpa perlakuan dipotong dengan ukuran 6 mm. Selanjutnya kain katun diletakkan pada permukaan agar dan diinkubasi selama 24 jam. Zona hambat diukur dengan jangka sorong pada sekeliling kain katun sampai batas awal pertumbuhan mikroorganisme (Souza *et al.*, 2018).

Hasil dan Pembahasan

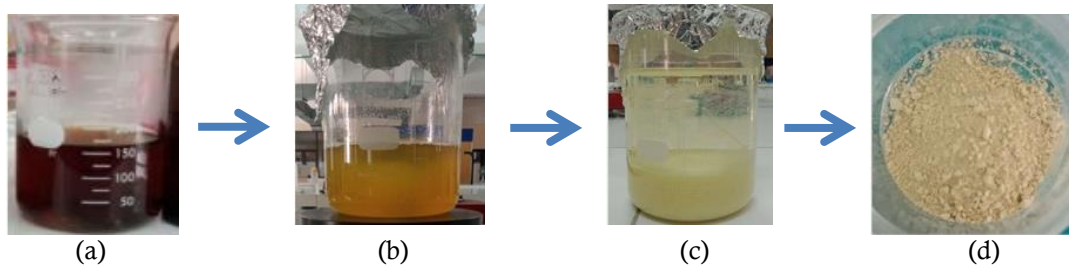
Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Agen Pereduksi Ekstrak Daun Pepaya (*Carica papaya L.*)

Sintesis nanopartikel ZnO dilakukan dengan metode sintesis hijau menggunakan ekstrak daun dari tumbuhan pepaya (*Carica papaya L.*) dengan prekursor ZnO yang digunakan adalah seng asetat dihidrat ($Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O$). Ekstrak daun pepaya berwarna kecoklatan yang ditambah dengan seng asetat dihidrat diaduk dengan kecepatan konstan pada suhu $60^\circ C$ menghasilkan larutan berwarna coklat kekuningan. Selanjutnya dengan penambahan basa NaOH hingga pH 10, terjadi perubahan warna menjadi putih kekuningan dan terdapat endapan putih. Perubahan warna menjadi putih kekuningan dan terbentuknya endapan putih, menandakan telah terbentuk nanopartikel ZnO yang disintesis dengan metode sintesis hijau menggunakan ekstrak daun pepaya sebagai agen pereduksi (Rajapriya *et al.*, 2020). Selanjutnya larutan didekantasi dengan aquades untuk memisahkan endapan serta menghilangkan pengotor, kemudian endapan dioven pada suhu $100^\circ C$ sehingga diperoleh padatan nanopartikel ZnO berwarna putih. Proses sintesis nanopartikel ZnO dengan ekstrak daun pepaya sebagai agen pereduksi dapat dilihat pada Gambar 1.

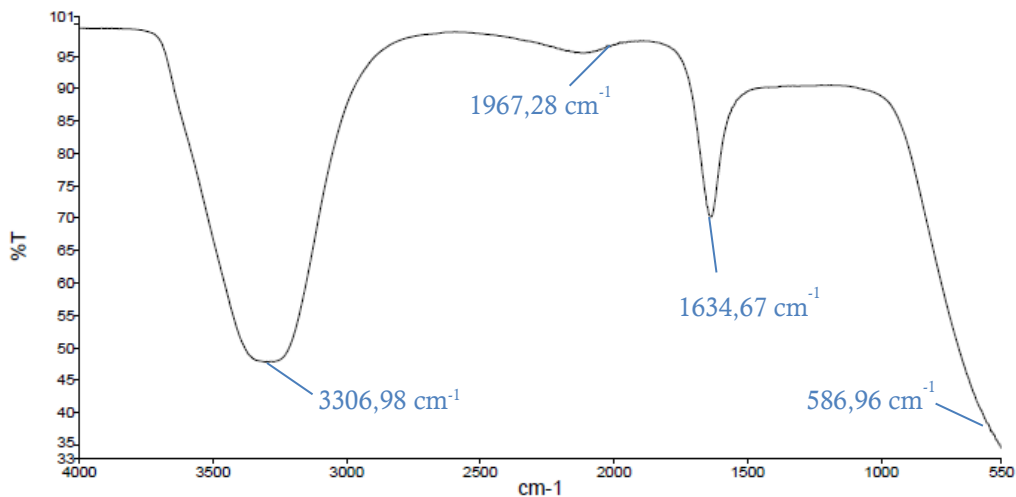
Karakterisasi FT-IR

Karakterisasi dengan FT-IR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsional pada nanopartikel ZnO yang disintesis dengan agen pereduksi ekstrak daun pepaya pada spektrum gelombang $4000-550\text{ cm}^{-1}$. Untuk hasil spektrum FT-IR dari ekstrak air daun pepaya ditunjukkan pada gambar 2 (a). Bilangan gelombang $3306,98\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi regangan $-OH$ (Sharma *et al.*, 2021). Kemudian pada $1634,67\text{ cm}^{-1}$ adalah regangan cincin aromatik $C=C$ (Bhuiyan *et al.*, 2020). Pada $1967,28\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan $C=C=C$. Selanjutnya pada $586,96\text{ cm}^{-1}$ regangan dari $C-Cl$ (Sharma *et al.*, 2021). Ekstrak daun pepaya mengandung berbagai macam komponen fitokimia yang dapat bertindak sebagai capping dan reduktor pada sintesis ZnO (Bhuiyan *et al.*, 2020). Untuk hasil spektrum FT-IR dari nanopartikel ZnO yang disintesis dengan agen pereduksi ekstrak daun pepaya ditunjukkan pada gambar 2 (b). Bilangan

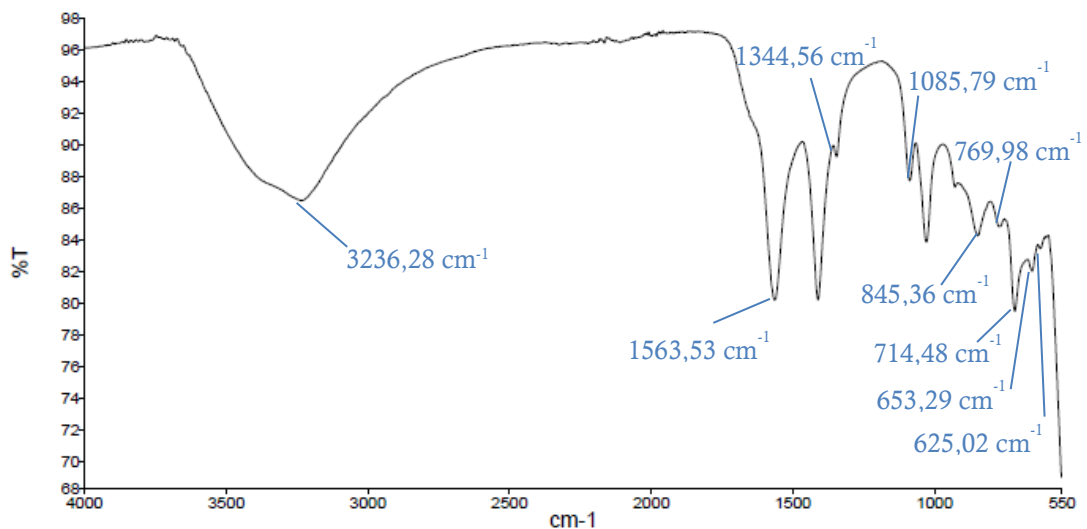
gelombang $3236,28\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi regangan dari -OH . Kemudian pada $1563,53$ adalah regangan dari gugus C=C (Gupta *et al.*, 2018). Pada $1344,56\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi regangan gugus C=O (Palai *et al.*, 2020). Pada $1085,79\text{ cm}^{-1}$ merupakan regangan dari gugus -NH_2 (Gupta *et al.*, 2018). Kemudian pada $845,36$ hingga $625,02\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi regangan dari nanopartikel ZnO (da Silva-Neto *et al.*, 2019) sebab pada rentang bilangan gelombang $500\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi dari grup oksida logam (Shabaani *et al.*, 2020). Spektra FT-IR dari ekstrak daun pepaya dan nanopartikel ZnO dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Sintesis nanopartikel ZnO: (a) ekstrak daun pepaya, (b) prekursor ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan ekstrak daun pepaya, (c) penambahan NaOH, (d) nanopartikel ZnO



(a) Spektra FTIR ekstrak daun pepaya



(b) Spektra FTIR nanopartikel ZnO

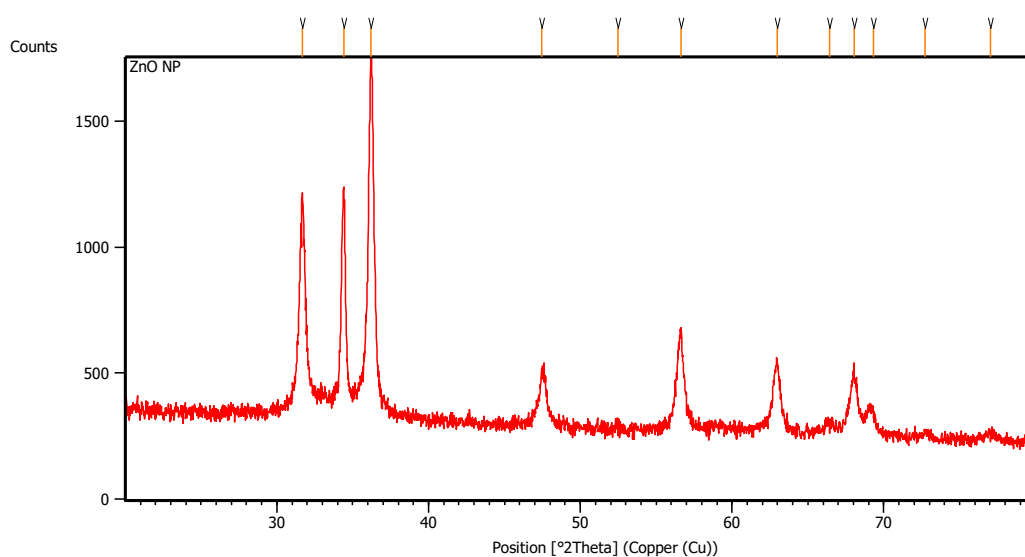
Gambar 2. Spektra FT-IR: (a) ekstrak daun pepaya dan (b) nanopartikel ZnO

Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD bertujuan untuk identifikasi derajat kristalinitas dan ukuran kristalin dari nanopartikel ZnO yang disintesis dengan ekstrak daun pepaya sebagai agen pereduksi. Hasil XRD menunjukkan puncak difraksi pada 31,67°; 34,44°; 36,19°; 47,45°; 56,62°; 62,98°; 66,40°; 68,05°; 69,30°. Puncak ini diidentifikasi sebagai karakteristik ZnO, yang memiliki kemiripan dengan puncak difraksi dari ZnO standar ICSD nomor 29-272 yang menunjukkan puncak difraksi pada 31,75°; 34,73°; 36,33°; 47,68°; 56,63°; 63,00°; 69,31° (Raganata *et al.*, 2020), dengan struktur wurzite heksagonal. Ukuran kristal (D) nanopartikel ZnO hasil sintesis ekstrak daun pepaya ditentukan dengan persamaan Scherrer (Mehtar *et al.*, 2019):

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

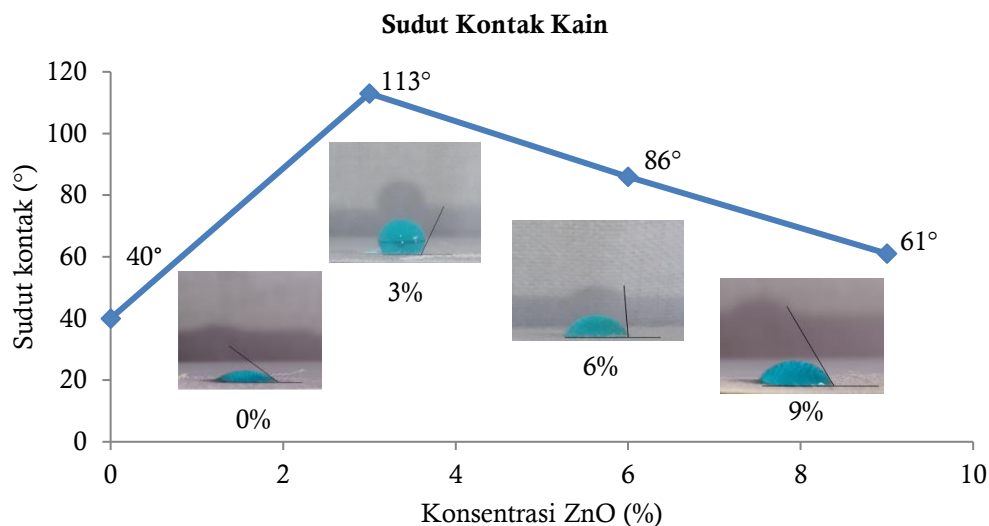
Berdasarkan persamaan di atas konstanta $k=0,9$; $\text{Cu K}\alpha$ pada $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$; β adalah FWHM; dan θ adalah sudut difraksi (Doan Thi *et al.*, 2020). Nanopartikel ZnO hasil sintesis daun pepaya memiliki derajat kristalinitas sebesar 76,97 % dan ukuran kristal adalah 39,60 nm. Pola XRD dari nanopartikel ZnO dapat diamati pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola XRD nanopartikel ZnO

Aplikasi pada Kain

Nanopartikel ZnO yang disintesis dengan agen pereduksi ekstrak daun pepaya dilakukan pengaplikasian pada kain dengan metode pelapisan pad *dry-cure*. Pelapisan nanopartikel ZnO dilakukan dalam konsentrasi (3%, 6%, dan 9%). Selanjutnya kain yang telah diaplikasikan dengan nanopartikel ZnO hasil sintesis ekstrak daun pepaya dilakukan uji sudut kontak untuk mengetahui sifat hidrofilik/hidrofobiknya. Hasil uji sudut kontak pada kain berlapis ZnO dapat dilihat pada Gambar 4.











Gambar 4. Sudut kontak kain berlapis ZnO

Dari hasil uji sudut kontak, pelapisan nanopartikel ZnO pada kain dapat meningkatkan sudut kontak pada kain katun. Saat kain katun ditetesi, air pada permukaan kain akan mudah diserap. Kemudian dengan pelapisan nanopartikel ZnO pada kain akan meningkatkan sifat hidrofobik secara signifikan pada kain (Boticas *et al.*, 2019). Selanjutnya penambahan konsentrasi nanopartikel ZnO pada kain menunjukkan sudut kontak semakin menurun dari 113°, menjadi 86°, dan kemudian 61°. Peningkatan konsentrasi nanopartikel ZnO yang diaplikasikan pada kain akan meningkatkan kekasaran permukaan dan menurunkan tegangan permukaan, sehingga dapat mempengaruhi sudut kontak dari permukaan kain (Putri, 2020).

Uji Aktivitas Antibakteri

Kain katun yang telah dilapisi nanopartikel ZnO yang disintesis dengan agen pereduksi ekstrak daun pepaya selanjutnya dilakukan uji aktivitas antibakteri dengan bakteri *Staphylococcus aureus* (bakteri gram positif) dan *Escherichia coli* (bakteri gram negatif). Hasil uji aktivitas antibakteri dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji Antibakteri *S. Aerus* dan *E. Coli*

| Konsentrasi | 0% | 3% | 6% | 9% |
|-----------------|---|---|--|---|
| <i>S. Aerus</i> |  |  |  |  |
| | 0 mm | 21,7 mm | 22,4 mm | 23,7 mm |
| <i>E. Coli</i> |  |  |  |  |
| | 0 mm | 7,7 mm | 7,8 mm | 8,3 mm |

Berdasarkan hasil uji antibakteri dengan *S. aureus* dan *E. coli* pada kain berlapis nanopartikel ZnO hasil sintesis ekstrak daun pepaya, diperoleh hasil bahwa peningkatan konsentrasi nanopartikel ZnO meningkatkan aktivitas antibakteri pada kain. Hal ini karena peningkatan konsentrasi ZnO akan meningkatkan kekasaran pada permukaan kain yang dapat memecahkan dinding sel dari bakteri (Fatoni et al., 2020).

Simpulan

Nanopartikel ZnO telah berhasil disintesis dengan metode hijau menggunakan ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*). Hasil karakterisasi menunjukkan terbentuk nanopartikel ZnO dengan derajat kristalinitas sebesar 76,97% dan ukuran kristalin sebesar 39,60 nm. Aplikasi nanopartikel ZnO pada kain menunjukkan peningkatan sifat hidrofobik pada kain dan aktivitas antibakteri yang baik pada bakteri *Staphylococcus aureus* (bakteri gram positif) dan *Escherichia coli* (bakteri gram negatif). Sudut kontak tertinggi dari kain berlapis nanopartikel ZnO ditunjukkan pada konsentrasi 3% yaitu 113°. Aktivitas antibakteri tertinggi ditunjukkan pada konsentrasi terbesar yaitu 9% pada bakteri *Staphylococcus aureus* dengan luas daerah hambat 23,7 mm dan pada *Escherichia coli* dengan luas daerah hambat 8,3 mm.

Daftar Referensi

- AbdElhady, M. M. 2012. Preparation and Characterization of Chitosan/Zinc Oxide Nanoparticles for Imparting Antimicrobial and UV Protection to Cotton Fabric. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 2012: 1–6. <https://doi.org/10.1155/2012/840591>
- Aminloo, E. S., & Montazer, M. 2021. Clean Sono-synthesis of ZnO on Cotton/Nylon Fabric Using Dopamine: Photocatalytic, Hydrophilic, Antibacterial Features. *Fibers and Polymers*, 22(1): 97–108. <https://doi.org/10.1007/s12221-021-9237-4>
- Balavijayalakshmi, J., & Ramalakshmi, V. 2017. Carica papaya peel mediated synthesis of silver nanoparticles and its antibacterial activity against human pathogens. *Journal of Applied Research and Technology*, 15(5): 413–422. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2017.03.010>
- Banala, R. R., Nagati, V. B., & Karnati, P. R. 2015. Green synthesis and characterization of Carica papaya leaf extract coated silver nanoparticles through X-ray diffraction, electron microscopy and evaluation of bactericidal properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5): 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.01.007>
- Bhuiyan, M. S. H., Miah, M. Y., Paul, S. C., Aka, T. Das, Saha, O., Rahaman, M. M., Sharif, M. J. I., Habiba, O., & Ashaduzzaman, M. 2020. Green synthesis of iron oxide nanoparticle using Carica papaya leaf extract: application for photocatalytic degradation of remazol yellow RR dye and antibacterial activity. *Heliyon*, 6(8): e04603. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04603>
- Boticas, I., Dias, D., Ferreira, D., Magalhães, P., Silva, R., & Fangueiro, R. 2019. Superhydrophobic cotton fabrics based on ZnO nanoparticles functionalization. *SN Applied Sciences*, 1(11): 1–9. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1423-2>
- da Silva-Neto, M. L., de Oliveira, M. C. A., Dominguez, C. T., Lins, R. E. M., Rakov, N., de Araújo, C. B., Menezes, L. de S., de Oliveira, H. P., & Gomes, A. S. L. 2019. UV random laser emission from flexible ZnO-Ag-enriched electrospun cellulose acetate fiber matrix. *Scientific Reports*, 9(1): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48056-w>
- Demissie, M. G., Sabir, F. K., Edossa, G. D., & Gonfa, B. A. 2020. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Leaf Extract of Lippia adoensis (Koseret) and Evaluation of Its Antibacterial Activity. *Journal of Chemistry*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/7459042>
- Doan Thi, T. U., Nguyen, T. T., Thi, Y. D., Ta Thi, K. H., Phan, B. T., & Pham, K. N. 2020. Green synthesis of ZnO nanoparticles using orange fruit peel extract for antibacterial activities. *RSC Advances*, 10(40): 23899–23907. <https://doi.org/10.1039/d0ra04926c>
- Drummer, S., Madzimbamuto, T., & Chowdhury, M. 2021. Green synthesis of transition-metal nanoparticles and their oxides: A review. *Materials*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/ma14112700>
- Fatoni, A., Hilma, H., Rasyad, A. A., Novriyanti, S., & Hidayati, N. 2020. Biosintesis ZnO Nanopartikel dari Ekstrak Air Daun Jambu Biji (*Psidium guajava L*) dan Ion Zn^{2+} serta Interaksinya dengan Kitosan sebagai Antibakteri *Escherichia coli*. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 7(2): 151. <https://doi.org/10.25077/jsfk.7.2.151-157.2020>

- Gupta, M., Tomar, R. S., Kaushik, S., Mishra, R. K., & Sharma, D. 2018. Effective antimicrobial activity of green ZnO nano particles of *Catharanthus roseus*. *Frontiers in Microbiology*, 9(SEP): 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02030>
- Izadiyan, Z., Shameli, K., Miyake, M., Hara, H., Mohamad, S. E. B., Kalantari, K., Taib, S. H. M., & Rasouli, E. 2020. Cytotoxicity assay of plant-mediated synthesized iron oxide nanoparticles using *Juglans regia* green husk extract. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1): 2011–2023. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.02.019>
- Velsankar, K., Sudhakar, S., Maheshwaran, G., & Krishna, K.M. 2019. Effect of biosynthesis of ZnO nanoparticles via *Cucurbita* seed extract on *Culex tritaeniorhynchus* mosquito larvae with its biological applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 200: 111650. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111650>
- Kamal, T., Ul-Islam, M., Khan, S. B., & Asiri, A. M. 2015. Adsorption and photocatalyst assisted dye removal and bactericidal performance of ZnO/chitosan coating layer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81: 584–590. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.060>
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. 2019. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7): 908–931. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Kharissova, O. V., Kharisov, B. I., González, C. M. O., Méndez, Y. P., & López, I. 2019. Greener synthesis of chemical compounds and materials. In *Royal Society Open Science*, 6(11). <https://doi.org/10.1098/rsos.191378>
- Mehar, S., Khoso, S., Qin, W., Anam, I., Iqbal, A., & Iqbal, K. 2019. Green Synthesis of Zinc oxide Nanoparticles from *Peganum harmala*, and its biological potential against bacteria. *Frontiers in Nanoscience and Nanotechnology*, 6(1): 1–5. <https://doi.org/10.15761/fnn.1000188>
- Nasrollahzadeh, M., Atarod, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., & Issaabadi, Z. 2019. Plant-Mediated Green Synthesis of Nanostructures: Mechanisms, Characterization, and Applications. In *Interface Science and Technology* 1st ed., 28. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00006-7>
- Ong, C. B., Ng, L. Y., & Mohammad, A. W. 2018. A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(March 2017): 536–551. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.020>
- Palai, P., Muduli, S., Priyadarshini, B., & Sahoo, T. R. 2020. A facile green synthesis of ZnO nanoparticles and its adsorptive removal of Congo red dye from aqueous solution. *Materials Today: Proceedings*, 38(xxxx): 2445–2451. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.387>
- Patil, A. H., Jadhav, S. A., More, V. B., Sonawane, K. D., Vhanbatte, S. H., Kadole, P. V., & Patil, P. S. 2021. A new method for single step sonosynthesis and incorporation of ZnO nanoparticles in cotton fabrics for imparting antimicrobial property. *Chemical Papers*, 75(3): 1247–1257. <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01358-0>
- Peralta-Videa, J. R., Huang, Y., Parsons, J. G., Zhao, L., Lopez-Moreno, L., Hernandez-Viezcas, J. A., & Gardea-Torresdey, J. L. 2016. Plant-based green synthesis of metallic nanoparticles: scientific curiosity or a realistic alternative to chemical synthesis? *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 1(1): 1–29. <https://doi.org/10.1007/s41204-016-0004-5>
- Putra, V. G. V., Mohamad, J. N., & Yusuf, Y. 2020. Study of Surface Tension Properties looked on Contact Angle Value on 100% Nylon Textile Fabric Using Corona Discharge Plasma Technology. *Wahana Fisika*, 5(1): 10–17. <https://doi.org/10.17509/wafi.v5i1.22382>
- Putri, N. A. E. 2020. *Analisis Sifat Superhidrofobik-Superoleofilik Pada Modifikasi Material Spons Polyurethane Sebagai Pemisah Minyak Dan Air Secara Selektif*. Skripsi, Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatul.
- Raganata, T. C., Aritonang, H., & Suryanto, E. 2020. Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO Untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry Progress*, 12(2): 54–58. <https://doi.org/10.35799/cp.12.2.2019.27923>
- Rajapriya, M., Sharmili, S. A., Baskar, R., Balaji, R., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S., Khaled, J. M., Alanzi, K. F., & Vaseeharan, B. 2020. Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles

Using *Cynara scolymus* Leaves: Enhanced Hemolytic, Antimicrobial, Antiproliferative, and Photocatalytic Activity. *Journal of Cluster Science*, 31(4): 791–801. <https://doi.org/10.1007/s10876-019-01686-6>

- Reddy, R., Babu, V., & Karnati, P. R. 2015. Green synthesis and characterization of *Carica papaya* leaf extract coated silver nanoparticles through X-ray diffraction, electron microscopy and evaluation of bactericidal properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5): 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.01.007>
- Sayyar, Z., & Malmiri, H. J. (2019). Photocatalytic and antibacterial activities study of prepared self-cleaning nanostructure surfaces using synthesized and coated ZnO nanoparticles with Curcumin nanodispersion. *Zeitschrift Fur Kristallographie - Crystalline Materials*, 234(5): 307–328. <https://doi.org/10.1515/zkri-2018-2096>
- Setiyani, R., & Maharani, K. 2015. *Staphylococcus aureus* Bacteria In Cotton Fabric. 4(2): 88–93.
- Shabaani, M., Rahaiee, S., Zare, M., & Jafari, S. M. 2020. Green synthesis of ZnO nanoparticles using loquat seed extract; Biological functions and photocatalytic degradation properties. *Lwt*, 134(August): 110133. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110133>
- Sharma, B. K., Mehta, B. R., Chaudhari, V. P., Shah, E. V., Mondal Roy, S., & Roy, D. R. 2021. Green Synthesis of Dense Rock MgO Nanoparticles Using *Carica Papaya* Leaf Extract and its Shape Dependent Antimicrobial Activity: Joint Experimental and DFT Investigation. *Journal of Cluster Science*, 9. <https://doi.org/10.1007/s10876-021-02090-9>
- Sheik Mydeen, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.03.003>
- Soto-Robles, C. A., Nava, O., Cornejo, L., Lugo-Medina, E., Vilchis-Nestor, A. R., Castro-Beltrán, A., & Luque, P. A. 2021. Biosynthesis, characterization and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles using extracts of *Justicia spicigera* for the degradation of methylene blue. *Journal of Molecular Structure*, 1225. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129101>
- Souza, D. A. R., Gusatti, M., Ternus, R. Z., Fiori, M. A., & Riella, H. G. 2018. In situ growth of ZnO nanostructures on cotton fabric by solochemical process for antibacterial purposes. *Journal of Nanomaterials*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9082191>
- Zeng, Z., Petoni, A., Garoufalis, C. S., Baskoutas, S., & Bester, G. 2015. Near-band-edge exciton polarization change in ZnO nanowires. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(2): 1197–1203. <https://doi.org/10.1039/c4cp04551c>
- Zhu, C., Shi, J., Xu, S., Ishimori, M., Sui, J., & Morikawa, H. 2017. Design and characterization of self-cleaning cotton fabrics exploiting zinc oxide nanoparticle-triggered photocatalytic degradation. *Cellulose*, 24(6): 2657–2667. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1289-7>