

APLIKASI NANO PARTIKEL ZnO SECARA *IN SITU* UNTUK FUNGSIONALISASI ANTIBAKTERI PADA KAIN BATIK

In Situ Application of ZnO Nanoparticles for Antibacterial Functionalization at Batik Fabrics

Istihanah Nurul Eskani¹, Euis Laela¹, Agus Haerudin¹, Joni Setiawan¹, Dwi Wiji Lestari¹, Isnaini¹, dan Widi Astuti²

¹Balai Besar Kerajinan dan Batik, Jl. Kusumanegara No. 7 Yogyakarta 55166

²Balai Penelitian Teknologi Mineral BRIN, Jl. Ir. Sutami Km.15, Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Lampung 35361

Korespondensi Penulis

Email : hana.eskani@gmail.com

Naskah Masuk : 4 November 2021

Revisi : 10 Desember 2021

Disetujui : 20 Desember 2021

Kata kunci: nano partikel ZnO, fungsionalisasi, antibakteri, *in situ*

Keywords: ZnO nanoparticles, functionalization, antibacterial, in situ

ABSTRAK

Kain batik merupakan kain tradisional Indonesia yang digunakan sehari-hari baik dalam acara formal maupun non formal. Bahan baku kain batik biasanya menggunakan serat alami (katun dan sutera) yang merupakan media ideal untuk pertumbuhan bakteri. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan sifat antibakteri pada kain batik menggunakan nano partikel ZnO yang diaplikasikan secara *in situ*. Sampel kain batik dimasukkan dalam prekursor Zn asetat dihidrat dan Kalium natrium tartrat selanjutnya NaOH 1 M dimasukkan sedikit demi sedikit pada suhu mendidih. Dari proses tersebut akan terbentuk nano partikel ZnO yang langsung terikat pada kain. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX dan XRD menunjukkan bahwa nano partikel yang terbentuk adalah ZnO dengan ukuran 200-400 nm. Sifat antibakteri terhadap *S. aureus* pada kain batik tersebut sebesar 77,26% dari sifat antibakteri *Chloramphenicol* (obat antibakteri) dan memiliki *durability* hingga lebih dari 35 kali pencucian rumah tangga. Proses fungsionalisasi antibakteri menggunakan nano partikel ZnO secara *in situ* tidak mempengaruhi ketahanan luntur warna kain bahkan dapat meningkatkan kekuatan warna kain batik.

ABSTRACT

Batik cloth is a traditional Indonesian cloth that is used daily in both formal and non-formal events. The raw material for batik cloth usually uses natural fibers (cotton and silk) which are an ideal media for bacterial growth. This study aims to provide antibacterial properties on batik cloth using ZnO nanoparticles applied in situ. The sample of batik cloth was put in the precursor of Zn acetate dihydrate and Potassium sodium tartrate, then 1 M NaOH was added little by little at boiling temperature. ZnO nanoparticles will be formed from this process, directly embedded in the fabric. The characterization result using SEM-EDX and XRD showed that the nanoparticles formed were ZnO with a size of 200-400 nm. The antibacterial properties against S. aureus in the batik cloth were 77.26% of the antibacterial properties of Chloramphenicol and had more than 35 household washings. The antibacterial functionalization process using ZnONP in situ did not affect the color fastness of the fabric and could even increase the color strength of the batik fabric.

PENDAHULUAN

Nano partikel Seng oksida (ZnONP) merupakan semikonduktor tipe-n dengan energi celah pita 3,37 eV, merupakan material multifungsi yang banyak digunakan untuk sel surya, sensor, perangkat piezoelektrik, agen antibakteri dan absorber sinar UV (Islam & Butola, 2018). Aplikasi lainnya antara lain untuk tabir surya, sensor gas, pelapis anti refleksi, dan katalisis. nano partikel seng oksida (ZnONP) memiliki kelebihan dibandingkan nano partikel yang lain dalam hal efektivitas biaya, sifat antibakteri dan anti UV yang sangat baik. ZnONP juga dinyatakan sebagai material yang aman oleh *US Food and Drug Administration* (FDA) (Abebe et al., 2020; Verbic et al., 2019).

Kain batik telah menjadi bagian dari kehidupan masyarakat Indonesia yang digunakan sehari-hari, baik sebagai bahan sandang maupun kain penutup peralatan rumah tangga. Bahan baku kain batik banyak menggunakan serat alami terutama katun dan sutera. Serat alami merupakan media ideal untuk pertumbuhan bakteri (Setiyani & Maharani, 2015). Salah satu usaha untuk mengurangi pertumbuhan bakteri pada kain batik adalah fungsionalisasi antibakteri. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan sifat antibakteri pada kain batik menggunakan nano partikel ZnO. Aplikasi ZnONP pada kain dapat dilakukan dengan metode *in situ* atau *ex situ*. Pada metode *ex situ*, ZnONP dalam bentuk serbuk (*powder*) disuspensikan untuk selanjutnya dilakukan aplikasi ke kain. Proses tersebut dapat dilakukan menggunakan metode *pad-dry-cure*, metode sonokimia dengan bantuan gelombang *ultrasonic* atau metode plasma.

Pada metode *in situ*, sintesis ZnO langsung dilakukan dalam serat kain, sehingga sintesa dan aplikasi pada kain dilakukan dalam satu proses. Metode *ex situ* memiliki kelebihan antara lain ukuran dan bentuk kristal ZnONP sudah diketahui sehingga dapat diperkirakan sifat fisis dan kimianya. Kekurangannya adalah daya adsorpsi ke kain rendah dan mudah teraglomerasi (Verbič et al., 2018). Metode *in situ* mempunyai kelebihan, distribusi nano partikel yang lebih merata pada kain, daya adsorpsi dan *durability* lebih baik (Verbič et al., 2018), serta menghasilkan ikatan yang kuat antara nano partikel dengan serat kain (Agua et al., 2017). Kelemahan metode *in situ* adalah kesulitan dalam mengontrol pembentukan nano partikel dalam serat kain (Emam, 2019).

Fungsionalisasi kain di industri tekstil biasanya dilakukan secara *ex situ* menggunakan mesin *stenter* dan *padder*. Tekstil yang panjangnya tak hingga secara kontinyu dimasukkan ke dalam suspensi nano partikel kemudian diperas di mesin *padder* selanjutnya dikeringkan dan proses *curing* menggunakan mesin *stenter* pada suhu sekitar 140 °C. Proses tersebut tidak dapat dijalankan di IKM batik karena kebutuhan mesin dan energi yang besar. Proses *in situ* lebih sesuai untuk IKM, oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan fungsionalisasi kain secara *in situ* di IKM batik.

Mekanisme antibakteri oleh ZnONP kemungkinan disebabkan karena terbentuknya spesies oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species/ROS*), terbentuknya ion Zn^{2+} , kekasaran/sifat abrasif ZnONP dan reaksi lainnya antara molekul ZnONP dan struktur mikroba (Islam

& Butola, 2018). Aktivitas antibakteri nano partikel ZnO juga disebabkan pelepasan ion seng (Zn^{2+}) dalam medium bakteri yang berpengaruh nyata terhadap penghambatan transpor aktif, metabolisme asam amino, dan gangguan sistem enzim. Pelepasan ion seng dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti ukuran, morfologi, porositas nano-ZnO; konsentrasi dan pH serta sifat kimia media tempat mikroba berada. Kekasaran/sifat abrasif nano-ZnO juga merupakan parameter penting yang menentukan aktivitas antibakteri, namun pembentukan ROS diyakini sebagai faktor utama yang menentukan aktivitas antibakteri ZnONP (Abebe et al., 2020).

Beberapa peneliti telah melakukan aplikasi ZnONP pada kain secara *in situ*. Shao et al. (2016) melakukan aplikasi ZnONP pada kain katun secara *in situ* menggunakan metode *modified hydrothermal* yang disebutnya sebagai metode yang sederhana dan cepat karena hanya melalui satu proses dan tidak membutuhkan suhu yang tinggi. Prekursor yang digunakan adalah Zn asetat dan NaOH. Kalium natrium tartrat ditambahkan pada larutan sebagai *stabilizer* dan untuk mengontrol ukuran serta bentuk ZnO. Dari hasil karakterisasi menggunakan XRD dan SEM-EDX, kain katun teraplikasi ZnONP dengan ukuran partikel 100-500 nm. Hasil pengukuran transmitansi menggunakan UV-Vis spektrofotometer menunjukkan bahwa kain teraplikasi ZnO mempunyai transmitansi yang lebih rendah daripada kain tanpa ZnO pada panjang gelombang 200-400 nm, sehingga ZnO berfungsi sebagai UV absorber. Metode ini selanjutnya diadopsi oleh Pal et al. (2018)

untuk fungsionalisasi antibakteri dan anti air pada kain katun, namun menggunakan *stabilizer* fluorosurfactan.

Penelitian ini dilakukan dengan mengadopsi penelitian Shao et al (2016) yang mudah diimplementasikan di IKM batik karena sederhana dan tidak membutuhkan suhu yang tinggi.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah: Zn asetat dihidrat [$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$], kalium natrium tartrat (KNa tartrat), natrium hidroksida (NaOH), akuades, deterjen non ionik (TRO) dan sampel kain batik (bahan katun dengan pewarna sintetis). Peralatan yang dibutuhkan: gelas beker, pemanas berpengaduk, pipet ukur, pH meter dan termometer.

Prosedur kerja

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi Zn asetat dan pH terhadap sifat antibakteri kain batik, maka dalam penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi: 0,04; 0,08; 0,12; 0,16; 0,20 dan 0,24 M dengan pH 10 dan 12. Sampel kain batik dibersihkan dari pengotor terlebih dahulu dengan dimasukkan dalam larutan deterjen non ionik (TRO). Selanjutnya dibuat larutan Zn asetat sesuai molaritas yang ditentukan dengan volume 300 mL. Kalium natrium tartrat ditambahkan dengan perbandingan mol Zn asetat : KNa tartrat = 3 : 1. Sampel kain batik dimasukkan ke dalam larutan tersebut kemudian dipanaskan sampai mendidih. Natrium hidroksida 1 M dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan sampai tercapai pH yang ditentukan (pH 10 atau 12). Pemanasan dilanjutkan

sambil terus dilakukan pengadukan selama kurang lebih 20 menit. Setelah itu sampel kain batik diambil dan dikeringkan pada suhu sekitar 40 °C.

Karakterisasi Sampel Kain Batik Teraplikasi ZnO

1. Sifat antibakteri dan *durability* nya

Pengujian sifat antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dilakukan menggunakan metode difusi agar (Mohamed et al., 2016). Lebar zona bening disekitar kain batik menunjukkan besarnya sifat antibakteri. *Durability* (ketahanan) sifat antibakteri diuji dengan melakukan pencucian berulang terhadap kain batik teraplikasi ZnONP menggunakan alat Linitest C1-20 (Original Hanau, Jerman) pada 50 °C selama 45 menit. Sekali proses pencucian tersebut setara dengan 5 kali pencucian rumah tangga (BSN, 2010).

2. Morfologi permukaan kain batik

Morfologi permukaan sampel kain batik dikarakterisasi menggunakan alat SEM-EDX (JSM-6510LA). SEM-EDX digunakan untuk mengidentifikasi sebaran nano partikel di permukaan kain dan jenis elemennya.

3. Jenis dan struktur kristal nano partikel pada kain batik

Untuk mengetahui jenis dan struktur kristal yang teraplikasi pada kain batik maka dilakukan karakterisasi menggunakan alat X-ray Diffraction (XRD, X'pert 3 Powder, PANalytical).

4. Kualitas pewarnaan kain batik setelah aplikasi ZnONP

Untuk melihat pengaruh proses aplikasi ZnO terhadap pewarnaan kain batik tersebut dilakukan pengujian ketahanan

luntur warna sampel kain terhadap pencucian dan kekuatan warna (*colour strength*). Nilai kekuatan warna dihitung dengan persamaan Kubelka-Munk sebagai berikut:

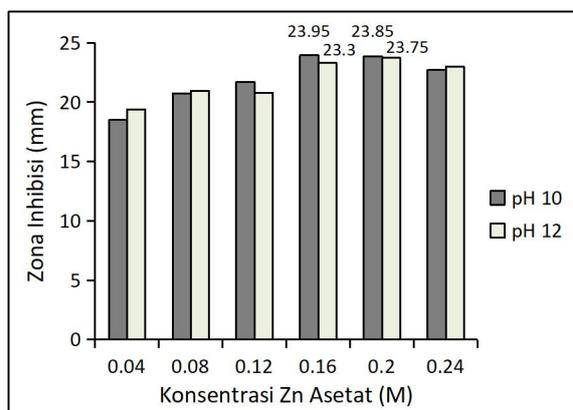
$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (1)$$

dengan K adalah koefisien absorpsi, S adalah koefisien hamburan, dan R adalah reflektansi (Bhuiyan et al., 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Antibakteri

Hasil pengujian sifat antibakteri sampel kain batik pada berbagai konsentrasi dan pH (pH 10 dan pH 12) disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Zona Inhibisi sampel kain batik pada berbagai pH dan konsentrasi Zn asetat

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa kondisi optimum proses aplikasi ZnO secara *in situ* pada kain batik diperoleh pada konsentrasi Zn asetat 0,16 M dan pH 10, yang memberikan zona inhibisi terhadap bakteri *S. aureus* sebesar 23,95 mm. Sebagai kontrol positif, dipakai obat antibakteri Chloramphenicol yang memiliki zona inhibisi sebesar 31 mm. Apabila

dibandingkan dengan kontrol maka zona inhibisi hasil penelitian ini sebesar $(23,95/31) \times 100\% = 77,26\%$ dari zona inhibisi chloramphenicol. Nilai zona inhibisi ini lebih besar apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *ex situ*, dimana zona inhibisi terhadap *S. aureus* sekitar 75% Chloramphenicol (Eskani, Haerudin, Setiawan, Lestari, et al., 2020). Foto zona inhibisi sampel kain batik teraplikasi ZnO dapat dilihat pada Gambar 2. Zona bening di sekitar sampel kain batik menunjukkan area bakteri tidak bisa tumbuh karena adanya ZnO sebagai agen antibakteri pada kain batik tersebut.

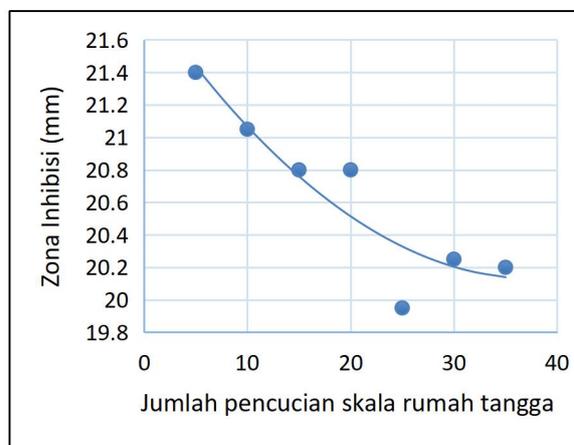


Gambar 2. Zona inhibisi kain batik teraplikasi ZnO secara *in situ*

Penambahan pH larutan dari 10 ke 12 tidak signifikan mempengaruhi banyaknya ZnO yang masuk pada kain. Hal ini menguntungkan karena kondisi pH yang terlalu tinggi dikhawatirkan akan merusak kain batik.

Ketahanan sifat antibakteri setelah pencucian berulang rumah tangga diukur pada titik optimalnya, yaitu sampel hasil

aplikasi dengan konsentrasi Zn asetat 0,16 M pada pH 10. Hasil pengukuran *durability* sifat antibakteri disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Zona inhibisi sampel kain batik setelah pencucian berulang

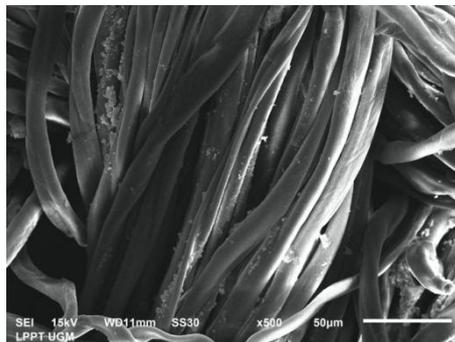
Gambar 3 menunjukkan penurunan zona inhibisi (sifat antibakteri) seiring dengan jumlah pencucian. Pada pencucian 35 kali, penurunan zona inhibisi sebesar 5,6%. Pada penelitian sebelumnya dengan metode *ex situ*, penurunan zona inhibisi sebesar 44,74% setelah mengalami pencucian sebanyak 20 kali (Eskani, Haerudin, Setiawan, Farida, et al., 2020). Hal ini mendukung teori bahwa metode *in situ* menghasilkan *durability* yang lebih baik (Verbic et al., 2019)

Morfologi Permukaan Kain Batik

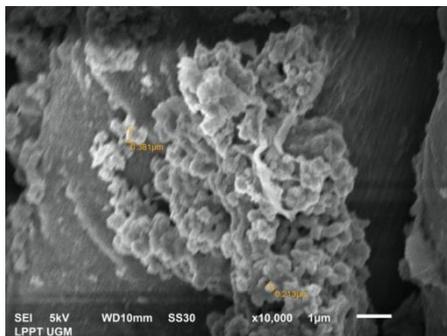
Morfologi permukaan sampel kain batik teraplikasi ZnO pada konsentrasi Zn asetat 0,16 M; pH 10 disajikan pada Gambar 4.

Gambar 4(a) menunjukkan adanya partikel yang tampak pada kain dan dapat masuk ke dalam pori-pori serat. Kemampuan nano partikel untuk masuk ke dalam serat kain menentukan ketahanannya terhadap pencucian. Ukuran partikel tersebut dapat diperkirakan pada

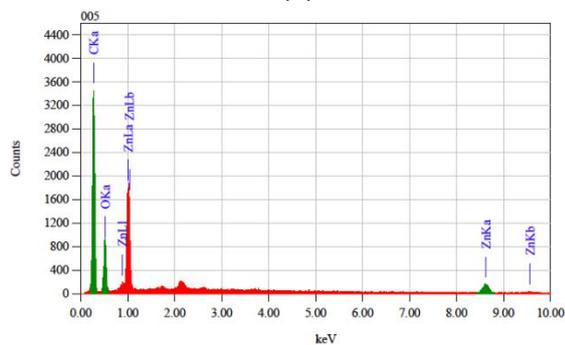
perbesaran 10.000x (Gambar 4(b)), yaitu sekitar 200-400 nm. Semakin kecil ukuran nano partikel, kemampuan antibakterinya akan semakin besar (Verbic et al., 2019). Dari Gambar 4(c) diketahui komponen yang terdeteksi di permukaan kain yaitu C, O dan Zn. Komponen C dan O merupakan komponen penyusun kain katun sedangkan Zn berasal dari partikel yang teraplikasi pada kain.



(a)



(b)

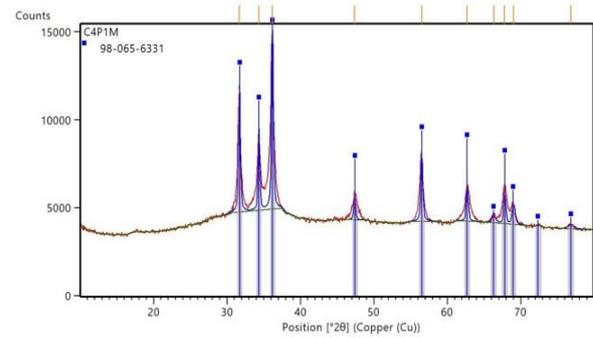


(c)

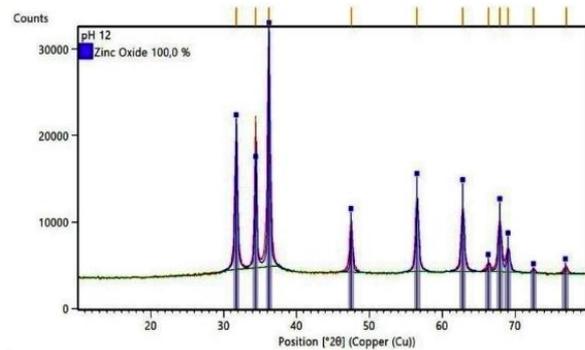
Gambar 4. Morfologi permukaan kain batik teraplikasi ZnO (a) citra SEM perbesaran 500x, (b) citra SEM perbesaran 10.000x, dan (c) spektrum EDX

Jenis dan Struktur Kristal Nano Partikel

Untuk memastikan bahwa nano partikel yang teraplikasi pada kain batik adalah ZnO, dilakukan karakterisasi menggunakan XRD. Spektrum XRD ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5. Spektrum XRD (a) kain batik teraplikasi ZnONP, (b) Nano partikel ZnO murni

Dari Gambar 5 terlihat bahwa spektrum XRD kain batik sama dengan spektrum XRD ZnONP murni, sehingga jenis nano partikel yang teraplikasi pada kain adalah ZnO. Lokasi dari puncak-puncak difraksi yaitu pada 31.84° , 34.52° , 36.33° , 47.63° , 56.71° , 62.96° , 68.13° , and 69.18° yang menunjukkan struktur kristal wurtzite hexagonal (Khoshhesab et al., 2011).

Kualitas Pewarnaan Kain Batik setelah aplikasi ZnONP

Aplikasi ZnONP pada penelitian ini dilakukan pada kain batik yang sudah jadi (sudah diwarnai), sehingga perlu dilakukan identifikasi bagaimana pengaruh proses aplikasi tersebut terhadap pewarnaan. Dilakukan pengujian ketahanan luntur warna terhadap pencucian dan kekuatan warna pada kain batik teraplikasi ZnONP. Hasil karakterisasi tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji ketahanan luntur warna terhadap pencucian dan kekuatan warna

| Sampel kain batik | Nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian | Nilai K/S |
|----------------------------|---|-----------|
| Kain batik tanpa perlakuan | 4 – 5 (Baik) | 14,0768 |
| Kain batik teraplikasi ZnO | 4 – 5 (Baik) | 14,1680 |

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian pada kain batik tanpa perlakuan dan kain batik teraplikasi ZnO mempunyai nilai yang sama, yaitu 4-5 (baik). Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses aplikasi ini tidak mempengaruhi ketahanan luntur warna produk batik. Nilai kekuatan warna menunjukkan ketahanan warna/banyaknya zat warna dalam kain. Jika kain memiliki nilai K/S yang besar, menunjukkan bahwa warna lebih gelap/zat warna lebih banyak terserap dalam kain. Hasil pengujian kekuatan warna (K/S) terhadap kain batik teraplikasi ZnONP lebih besar daripada kain batik tanpa perlakuan sehingga dapat disimpulkan

bahwa proses aplikasi ZnONP ini meningkatkan kekuatan warna kain.

Penelitian ini memiliki persamaan dengan penelitian sebelumnya (Shao et al., 2016) yaitu dalam hal penggunaan prekursor Zn asetat, KNa tartrat dan NaOH serta aplikasi dilakukan pada kain katun. Perbedaannya terletak pada metode penelitiannya, yang mana penelitian ini melakukan variasi konsentrasi dan pH untuk mencari kondisi optimal proses. Demikian pula karakterisasi pada kain teraplikasi dilakukan uji antibakteri dan kualitas pewarnaan karena sebagai sampel uji digunakan kain batik (yang berwarna), sedangkan pada penelitian Shao et al., (2016) tidak dilakukan uji antibakteri dan pewarnaan. Adapun dari hasil penelitian, kedua penelitian ini sama-sama menghasilkan ZnO yang terikat pada kain dengan ukuran partikel di bawah 500 nm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Fungsionalisasi antibakteri pada kain batik menggunakan nano partikel ZnO dapat dilakukan secara *in situ* dengan prekursor Zn asetat dihidrat pada konsentrasi optimal 0,16 M dan kondisi pH 10. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX dan XRD menunjukkan nano partikel ZnO dapat masuk ke dalam serat kain dengan ukuran 200-400 nm. Sifat antibakteri terhadap *S. aureus* pada kain batik tersebut sebesar 77,26% dari sifat antibakteri Chloramphenicol dan memiliki *durability* hingga lebih dari 35 kali pencucian rumah tangga. Proses fungsionalisasi antibakteri menggunakan ZnONP secara *in situ* tidak mempengaruhi

ketahanan luntur warna kain bahkan dapat meningkatkan kekuatan warna kain batik.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pengujian kuat tarik pada kain teraplikasi ZnO untuk melihat pengaruh proses aplikasi terhadap kekuatan mekanik kain batik. Perlu juga dilakukan penelitian pada kain batik dengan bahan sutera untuk melihat pengaruh aplikasi ZnO pada jenis kain yang berbeda.

KONTRIBUSI PENULIS

Semua penulis memiliki kontribusi yang sama dalam penulisan naskah ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Balai Besar Kerajinan dan Batik Yogyakarta yang telah memberikan dana penelitian, juga kepada Balai Penelitian Teknologi Mineral BRIN sebagai mitra untuk karakterisasi menggunakan XRD.

DAFTAR PUSTAKA

Abebe, B., Zereffa, E. A., Tadesse, A., & Murthy, H. C. A. (2020). A Review on Enhancing the Antibacterial Activity of ZnO: Mechanisms and Microscopic Investigation. *Nanoscale Research Letters*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s11671-020-03418-6>

Agua, R., Branquinho, R., Duarte, M., Mauricio, E., Fernando, A., Martins, R., & Fortunato, E. (2017). Efficient coverage of ZnO nanoparticles on cotton fibres for antibacterial finishing using a rapid and low cost in situ synthesis. *New Journal of Chemistry*, 42(2), 1052–1060. <https://doi.org/10.1039/C7NJ03418K>

Bhuiyan, M., Islam, A., Islam, F., Hossain, A., & Nahar, K. (2017). Improving dyeability and antibacterial activity of Lawsonia inermis L on jute fabrics by chitosan pretreatment.

Textiles and Clothing Sustainability, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40689-016-0023-4>

BSN. (2010). *SNI ISO 105-A02:2010, Tekstil-cara uji tahan luntur warna – bagian A02: Skala abu abu untuk penilaian perubahan warna*.

Emam, H. E. (2019). Generic strategies for functionalization of cellulosic textiles with metal salts. *Cellulose*, 26(3), 1431–1447. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2185-5>

Eskani, I. ., Haerudin, A., Setiawan, J., Farida, Isnaini, Lestari, D. ., & Astuti, W. (2020). Ketahanan Sifat Antibakteri Kain Batik Teraplikasi nano partikel ZnO. *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, 14–15.

Eskani, I. N., Haerudin, A., Setiawan, J., Lestari, D. W., Isnaini, & Astuti, W. (2020). Application of ZnO nanoparticles for Producing Antibacterial Batik. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 722(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/722/1/012029>

Islam, S. U., & Butola, B. S. (2018). Nanomaterials in the Wet Processing of Textiles. In *Nanomaterials in the Wet Processing of Textiles*. <https://doi.org/10.1002/9781119459804>

Khoshhesab, Z. M., Sarfaraz, M., & Asadabad, M. A. (2011). Preparation of ZnO nanostructures by chemical precipitation method. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry*, 41(7), 814–819. <https://doi.org/10.1080/15533174.2011.591308>

Mohamed, F. A., Ibrahim, H. M., El-kharadly, E. A., & El-alfy, E. A. (2016). Improving Dye ability and antimicrobial properties of Cotton Fabric. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6(02), 119–123. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.60218>

Pal, S., Mondal, S., & Maity, J. (2018). In situ generation and deposition of ZnO nanoparticles on cotton surface to impart hydrophobicity: investigation of antibacterial activity. *Materials Technology*, 00(00), 1–8. <https://doi.org/10.1080/10667857.2018.1483306>

Setiyani, R., & Maharani, K. (2015). Pemanfaatan Komposit Kitosan ZnO-SiO₂ Sebagai Agan

- Antibakteri Terhadap Bakteri Staphylococcus aureus pada Kain Katun. *UNESA Journal Of Chemistry*, 4(2), 88–93.
- Shao, D., Gao, Y., Cao, K., & Wei, Q. (2016). Rapid surface functionalization of cotton fabrics by modified hydrothermal synthesis of ZnO Rapid surface functionalization of cotton fabrics by modified hydrothermal synthesis. *The Journal of The Textile Institute*, 500(November), 0. <https://doi.org/10.1080/00405000.2016.1254581>
- Verbic, A., Gorjanc, M., & Simoncic, B. (2019). Zinc Oxide for Functional Textile Coatings: Recent Advances. *Coatings*, 9(550), 17–23.
- Verbič, A., Gorjanc, M., & Simončič, B. (2019). Zinc oxide for functional textile coatings: Recent advances. *Coatings*, 9(9), 17–23. <https://doi.org/10.3390/coatings9090550>
- Verbič, A., Šala, M., & Gorjanc, M. (2018). The influence of in situ synthesis parameters on the formation of ZnO nanoparticles and the UPF value of cotton fabric. *Tekstilec*, 61(4), 280–288. <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2018.61.280-288>

