

PERLINDUNGAN WARNA PADA KAIN WARNA ALAMI INDIGO DENGAN NANO PARTIKEL SENG OKSIDA YANG DISINTESIS DENGAN METODE SOL-GEL

Color Protection of Cotton Dyed with Indigo Natural Dye using Zinc Oxide Nanoparticles synthesized via Sol-Gel Method

Renung Reningtyas^{1,2}, Edia Rahayuningsih^{1,3}, Yuni Kusumastuti^{1,3} dan Indriana Kartini^{3,4}

¹Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281, Indonesia

²Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Condongcatur, Yogyakarta 55283, Indonesia

³Indonesia Natural Dye Institute (INDI), Integrated Research and Testing Laboratory (LPPT), Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281, Indonesia

⁴Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281, Indonesia

Korespondensi Penulis

Email : edia_rahayu@ugm.ac.id

Kata kunci: indigo, warna alami, anti-UV, ketahanan warna, seng oksida, nano partikel

Keywords: indigo, natural dye, anti-UV, color fastness, Zinc Oxide, nanoparticles

ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya kesadaran manusia terhadap dampak dari penggunaan zat warna sintetik, zat warna alami yang lebih ramah lingkungan mulai digunakan kembali untuk pewarnaan tekstil, khususnya pada industri batik di Indonesia. Salah satu zat warna alami yang populer digunakan adalah zat warna alami indigo. Pewarnaan kain dengan indigo alami memiliki tingkat ketahanan luntur terhadap pencucian yang baik namun ketahanan warna terhadap paparan sinar masih kurang baik. Penambahan agen anti ultra-violet (anti-UV) merupakan salah satu cara untuk meningkatkan ketahanan warna kain akibat paparan sinar. Pada penelitian ini, nano partikel seng oksida (ZnONP) diaplikasikan pada kain batik yang telah diwarnai dengan indigo alami sebagai anti-UV untuk melindungi warna kain. ZnONP disintesis menggunakan metode sol-gel dan aplikasi ke kain dilakukan dengan metode perendaman. Distribusi ukuran partikel ZnO dianalisis menggunakan teknik *direct light scattering*. Konsentrasi dispersi ZnONP untuk perendaman divariasikan pada kisaran 50 – 1000 ppm. Efek ZnONP sebagai anti-UV dilakukan dengan uji pudar warna dimana kain indigo diberi paparan sinar UV-A selama 200 jam dalam fotoreaktor. Semakin tinggi konsentrasi ZnONP, semakin baik perlindungan warna yang diberikan. Konsentrasi dispersi ZnONP sebanyak 500 ppm telah memberikan hasil perlindungan warna yang cukup baik.

ABSTRACT

Along with the increasing of awareness on the utilization of synthetic dyes, the more environmentally friendly natural dye are starting to revive for textile coloring, especially in the batik industry in Indonesia. One of the popular natural dyes used is natural indigo dye. Fabric dyeing with natural indigo has a good level of fastness to washing but the color resistance to light exposure is still poor. The addition of an anti-ultraviolet (anti-UV) agent is one way to increase the color fastness of the fabric due to exposure

to light. In this study, zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) were applied to cotton that had been dyed with natural indigo as an anti-UV to protect the color of the fabric. ZnONP was synthesized using the sol-gel method and the application to the fabric was carried out by the dip coating method. The particle size distribution was measured using direct light scattering technique. The concentration of ZnONP dispersion for coating was varied in the range of 50 – 1000 ppm. The effect of ZnONP as an anti-UV was carried out by photofading test in which indigo fabric was exposed to UV-A light for 200 hours in a photoreactor. Higher concentration of ZnONP provides better color protection, however, increasing ZnONP concentration from 500 ppm to 1000 ppm gave insignificant result.

PENDAHULUAN

Pada tahun 2017 populasi manusia telah mencapai 7 milyar dan diperkirakan akan mencapai 9 milyar pada tahun 2050. Peningkatan populasi manusia akan disertai dengan kenaikan kebutuhan pokoknya. Untuk menyokong daya dukung lingkungan, pengembangan produk yang berkelanjutan perlu ditingkatkan. Produk yang berkelanjutan dimaknai sebagai produk yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan yang sekecil mungkin pada semua proses yang terlibat didalamnya. Selain itu dapat juga bersumber dari material yang dapat diperbarui. Produk berkelanjutan juga harus aman untuk pemakai dan lingkungannya.

Pakaian (sandang) termasuk ke dalam salah satu tiga kebutuhan primer manusia. Saat ini proses pewarnaan tekstil masih didominasi oleh penggunaan zat warna sintetis. Penggunaan zat warna sintetis memiliki dampak negatif baik terhadap pemakai maupun lingkungan. Produksi zat warna sintetis memerlukan kondisi reaksi yang ekstrim seperti suhu, tekanan tinggi, dan juga asam basa kuat sehingga limbahnya dapat mencemari lingkungan. Beberapa zat warna sintetis dapat menyebabkan alergi di kulit dan termasuk dalam kategori zat karsinogen (Alves de Lima et al., 2007).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kesehatan dan kelestarian lingkungan, zat warna alami yang lebih ramah lingkungan mulai digunakan kembali untuk pewarnaan tekstil. Zat warna alam dapat diperoleh dari ekstrak tumbuhan, hewan, maupun mineral alam. Penelitian pembuatan pewarna alami dari tanaman juga telah banyak dilakukan. Indonesia kaya akan sumber daya alam. Keanekaragaman hayati di Indonesia adalah termasuk yang tertinggi di dunia. Saat ini tanaman yang sering dipakai sebagai pewarna alami untuk tekstil di Indonesia misalnya adalah Indigo, Tingi, Jolawe, Tegeran, dan Mangga (Pujilestari, 2014). Peluang untuk mengembangkan potensi tanaman lain sebagai sumber zat warna alam masih sangat besar. Selain itu dengan kesuburan yang tinggi, peluang pengembangan zat warna alam berbasis tanaman ke skala industri besar seperti pada jaman sebelum zat warna sintetis ditemukan, masih sangat terbuka.

Indigo merupakan zat warna biru yang populer digunakan pada pewarnaan tekstil. Indigo alami dapat diperoleh dari ekstrak tumbuhan *Indigofera tinctoria* maupun *Strobilanthes cusia* melalui proses fermentasi daun, reduksi dalam susunan basa dan oksidasi hingga menjadi pasta yang berisi pigmen indigotin. Indigotin tidak larut dalam air sehingga dalam proses pewarnaan di kain, indigotin perlu direduksi menjadi indigo yang terlarut (leuko indigo). Pada saat pencelupan, leuko indigo terserap baik pada pori kain. Setelah pencelupan, kain diaerasi sehingga leuko indigo teroksidasi kembali menjadi indigotin yang tidak terlarut (Lestari & Riyanto, 2004). Beberapa zat warna alami yang berbasis tanin memiliki kelarutan yang tinggi didalam air sehingga pada saat pencucian zat warna alam akan mudah lepas. Oleh sebab itu, dibanding zat warna alami lain, ketahanan luntur terhadap pencucian zat warna indigo alami tergolong baik. Meskipun demikian, ketahanan luntur terhadap penyinaran indigo masih belum baik (Padfield & Landi, 1966).

Sinar matahari terdiri dari sinar tampak (visible light) dan sinar UV. Zat warna alam yang mengandung senyawa organik akan mudah terdegradasi oleh kedua sinar tersebut. Untuk mengurangi efek sinar UV pada kain, dapat ditambahkan anti UV baik berupa zat organik maupun inorganik. Anti-UV ini dapat menyerap dan atau memantulkan sinar UV yang mengenai kain, sehingga energi yang dapat mengenai zat warna alami pada kain akan lebih rendah (Saravanan, 2007; Alebeid & Zhao, 2017).

Saat ini, riset mengenai teknologi nano sebagai anti-UV sedang berkembang. Teknologi nano adalah penggunaan material dengan ukuran nano (10^{-9} meter), dengan kisaran 1-100 nm, atau salah satu dimensinya tidak lebih dari 1 micron, untuk berbagai keperluan. Karena ukuran yang dipakai sangat kecil, sifat kimia dan fisika dari material tersebut akan berbeda dibanding bila berukuran lebih besar. Dengan teknologi nano, tekstil dapat diproduksi dengan berbagai fungsi tambahan, misalnya tekstil dengan sifat antimikroba, anti UV, anti kerut, anti statik, anti air, tahan api, dan warna yang tidak mudah luntur (Yetisen et al., 2016). Material nano yang ditambahkan dapat berupa material organik, inorganik, maupun gabungan keduanya. Logam dan oksidanya dalam ukuran nano yang telah banyak dikembangkan untuk tekstil multifungsi, diantaranya adalah AgO, TiO₂, ZnO, SiO₂, dan lain-lain (Dastjerdi, Montazer, & Shahsavan, 2010; Montazer & Pakdel, 2011).

Seng oksida (ZnO) merupakan material yang menarik untuk dikembangkan lebih lanjut karena memiliki sifat unik seperti anti mikroba, anti UV, dan agen fotokatalitik. Sifat tersebut dimiliki ZnO dikarenakan ZnO adalah oksida logam yang memiliki celah pita yang lebar (3,37 eV) dan energi eksitasi yang besar (60 meV). Disamping itu ZnO termasuk material yang ramah lingkungan, tidak beracun, dan biokompatibel (Shaheen, El-Naggar, Abdelgawad, & Hebeish, 2016). Penelitian mengenai aplikasi ZnONP sebagai anti-UV pada kain telah banyak dilakukan, akan tetapi performa anti-UV lebih difokuskan pada nilai perlindungan kain terhadap kulit pengguna kain yang direpresentasikan dalam nilai UV Protection Factor (UPF) (Prasad, Arputharaj, Bharimalla, Patil, & Vigneshwaran, 2016) (Pandimurugan & Thambidurai, 2017)(Tran Thi & Lee, 2017). Aplikasi ZnONP sebagai anti-UV yang dapat melindungi warna kain masih belum banyak diteliti. (Rachman, Widodo, & Sugiyana, 2020) mengaplikasikan ZnONP pada kain yang diwarnai dengan zat warna alami secang dan seiring dengan meningkatnya konsentrasi ZnONP, maka nilai ketahanan luntur terhadap paparan sinar semakin baik. Akan tetapi, dalam penelitian tersebut, tinjauan terhadap kualitas warna kain belum diteliti. (Sani, Rahayuningsih, & Mindaryani, 2019) mengaplikasikan nanokomposit TiO₂ dan ZnO sebagai pelindung warna kain indigo alami namun namun pelapisan menggunakan zat pendispersi etanol yang relative mahal apabila diaplikasikan pada industri tekstil.

Pada penelitian ini, nano partikel seng oksida (ZnONP) diaplikasikan pada kain batik yang telah diwarnai dengan indigo alami sebagai anti-UV untuk melindungi warna kain. ZnONP disintesis menggunakan metode sol-gel dan aplikasi ke kain dilakukan dengan metode perendaman. ZnONP didispersikan pada air dan disonikasi untuk memecah aglomerat pada serbuk ZnONP. Distribusi ukuran partikel ZnO pada air dianalisis menggunakan *particle size*

analyzer (PSA). Konsentrasi dispersi ZnONP untuk perendaman divariasikan pada kisaran 50 – 1000 ppm. Efek ZnONP sebagai anti-UV pelindung warna kain dilakukan dengan uji paparan sinar UV-A selama 200 jam dalam fotoreaktor.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa Indigo serbuk, soda abu dan sodium hidrosulfid yang didapat dari Gama Indigo Yogyakarta, Zinc nitrat tetrahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) dan sodium hidroksida (NaOH) dari Merc dan kain katun primissima dari PT Primatexo.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sonikator tipe probe (Soni Vibracell 750) dan fotoreaktor yang dilengkapi lampu UV-A 20 Watt (Sankyo Denki) dan kipas untuk menjaga suhu homogen.

Prosedur Kerja

Kain katun dicuci bersih dengan detergen nonionik dan dikeringkan. Pewarnaan kain katun dengan indigo dilakukan sesuai metode yang telah dilakukan (Sani et al., 2019), secara umum, pewarnaan dilakukan dengan mencelupkan kain katun pada larutan indigo yang telah direduksi menggunakan sodium hidrosulfid dan soda abu. Setelah pencelupan, kain dioksidasi kembali dengan diangin-anginkan sehingga indigo kembali ke bentuk insolubel.

Pembuatan ZnONP dilakukan dengan cara presipitasi sol-gel. Zinc nitrat (0,05 M, 500 ml) direaksikan dengan sodium hidroksida (0,1 M, 500 ml). Larutan sodium hidroksida direaksikan secara perlahan (tetes demi tetes) ke dalam larutan zinc nitrat yang diaduk dengan *magnetic stirrer* pada kecepatan tinggi. Endapan yang terbentuk dicuci dengan aquadest 100 ml sebanyak 3 kali dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 3 jam. Serbuk hasil sintesis dihaluskan dengan mortar dan disimpan dalam tempat tertutup rapat.

Serbuk ZnONP didispersikan pada berbagai konsentrasi (50 – 1000 ppm) dengan sonikasi selama 5 menit. Distribusi ukuran partikel dianalisa menggunakan *particle size analyzer* (MALVERN Z300) dengan teknik *direct light scattering* (DLS). Pengukuran distribusi ukuran partikel dilakukan sesaat setelah proses sonikasi selesai.

Kain indigo dicelupkan pada dispersi ZnONP dengan rasio berat kain dibanding volum dispersi 1:100 (gr/ml) selama 5 menit. Kain kemudian dikeringkan. Uji pudar warna terhadap paparan sinar UV-A dilakukan dengan penyinaran sampel selama 200 jam dalam fotoreaktor. Perbedaan warna kain sebelum dan setelah diberi penyinaran UV-A dianalisis menggunakan UV-vis spektrofotometer PC 2401.

Arah warna diukur dengan skala CIELab. Pada skala warna CIELab, L menunjukkan tingkat terang suatu warna. Semakin besar nilai L, maka semakin terang warna tersebut. Notasi a^* menunjukkan arah warna hijau ($-a^*$) ke merah ($+a^*$), sedangkan b^* adalah arah warna biru ($-b^*$) ke kuning ($+b^*$). Warna dapat diamati dengan menghitung beda warna (dE) dari skala CIELab seperti pada persamaan 1, dimana L^* , a^* , dan b^* adalah warna pada kain dan L , a , dan b adalah warna kain standar.

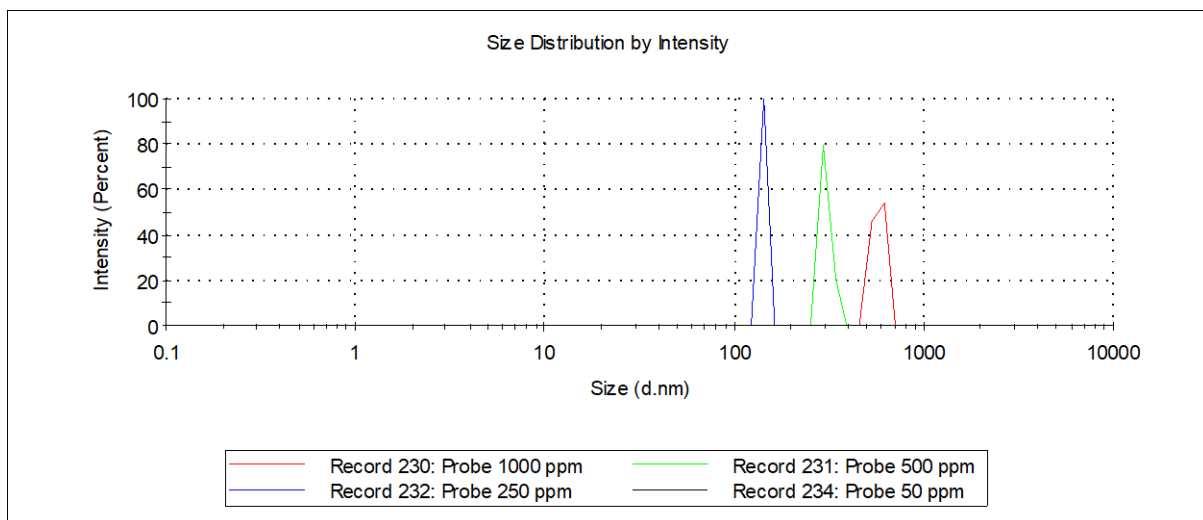
$$dE = [(L *' - L *)^2 + (a *' - a *)^2 + (b *' - b *)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Perubahan warna kain (ΔE) sebelum dan setelah disinari dengan UV-A dapat dihitung dari selisih hasil pengukuran dE sesuai persamaan 2.

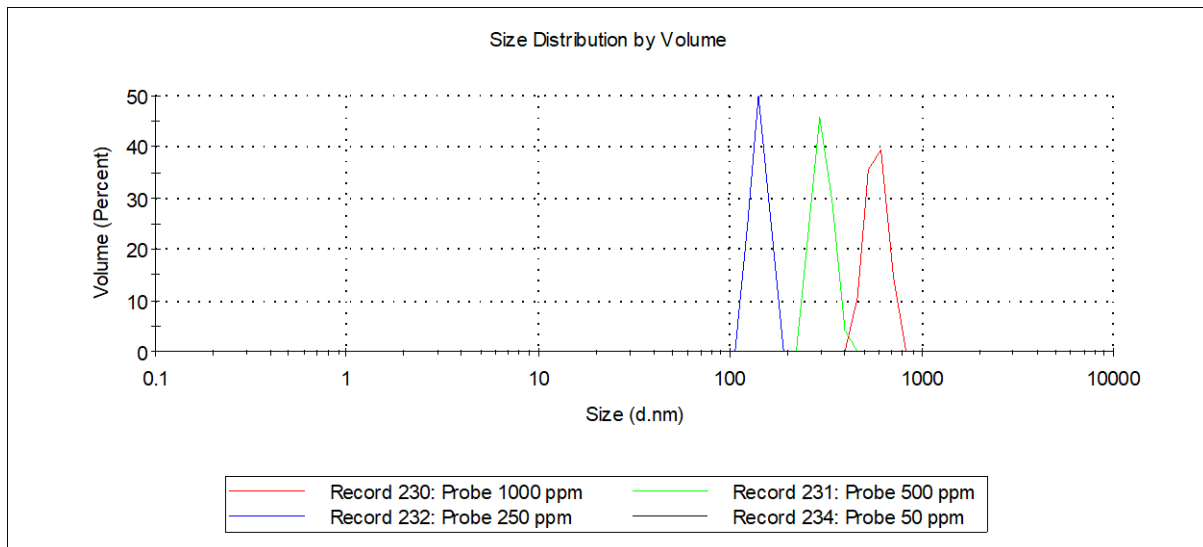
$$\Delta E = dE_1 - dE_2 \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

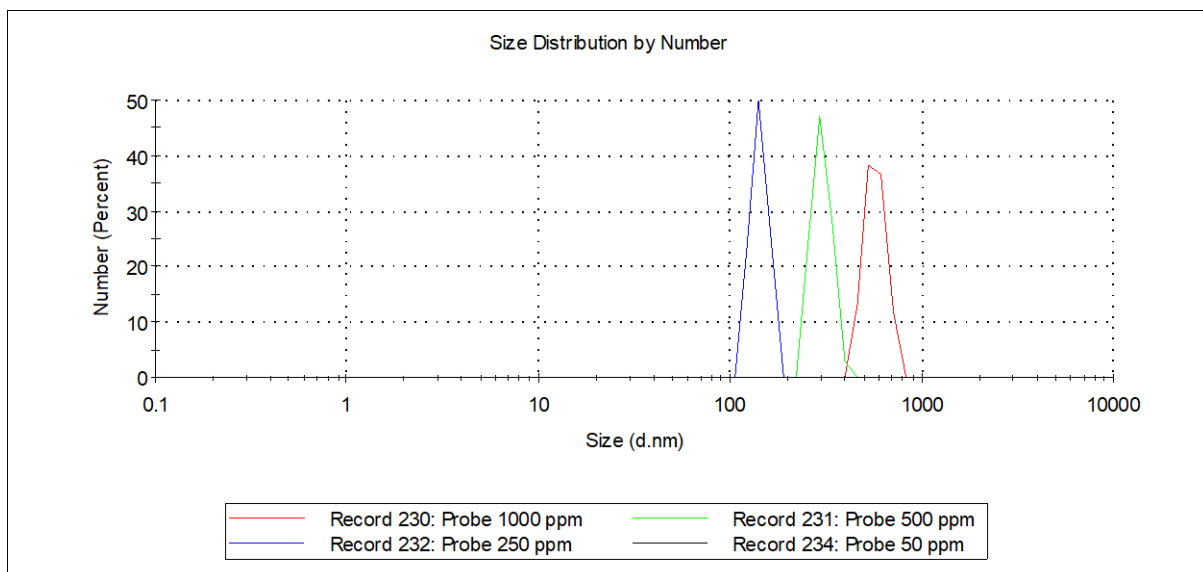
Serbuk ZnO hasil sintesis metoda presipitasi sol-gel didispersikan pada air pada berbagai konsentrasi dengan sonikasi. Energi ultrasonikasi menimbulkan perbedaan tekanan dan kavitasi sehingga menimbulkan ledakan cairan berkecepatan tinggi, sehingga ZnO yang teraglomerasi dapat terpecah menjadi ukuran yang kecil (Ilyas, Pendyala, & Marneni, 2014). Distribusi ukuran partikel dapat dilihat pada gambar 1. Pada konsentrasi 1000 ppm, puncak ukuran berada pada kisaran 700 nm. Semakin kecil konsentrasi ZnO, distribusi ukuran partikel bergeser ke arah yang lebih kecil. Pada konsentrasi 50 ppm, intensitas yang dihasilkan sangat rendah sehingga seolah-olah tidak tampak. Pada konsentrasi yang pekat, gerak Brownian partikel menjadi terbatas dan ada interaksi antar partikel yang menyebabkan adanya aglomerasi. Hal ini menyebabkan distribusi ukuran partikel terukur lebih besar pada konsentrasi yang besar. Secara umum, ZnO yang dihasilkan dari metode presipitasi sol-gel telah berukuran skala nano.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. Distribusi ukuran partikel ZnO pada berbagai konsentrasi menurut (a) intensitas, (b) volum, dan (c) jumlah

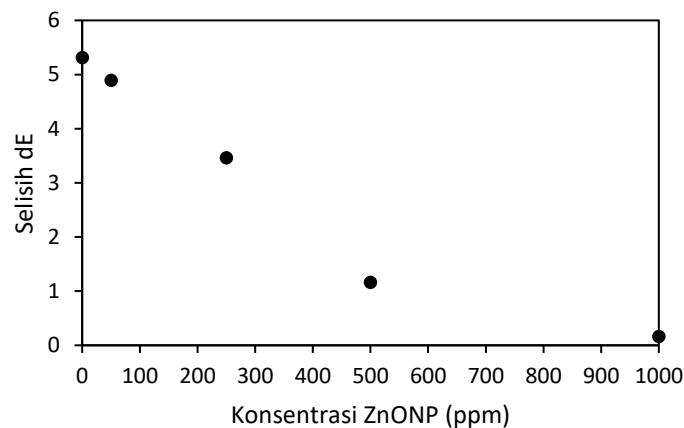
Pudarnya warna kain karena sinar (*photofading*) merupakan proses yang kompleks. Mekanisme memudarnya warna tergantung dari tipe zat warna dan jenis kain. Warna dapat pudar karena hilangnya ikatan konjugasi pada molekulnya. Pada indigo, ikatan C=C yang berada di tengah struktur kimia indigo adalah yang paling reaktif sehingga rentan putus (Iuga, Ortíz, Alvarez-Idaboy, & Vivier-Bunge, 2012).

Untuk melihat pengaruh konsentrasi ZnONP terhadap ketahanan warna katun-indigo-ZnONP, dilakukan uji pudar warna dengan penyinaran UV-A (Sankyo Denki, 20 W) selama

selama 200 jam. Pengaruh konsentrasi ZnONP terhadap nilai CIELAB kain-katun-ZnONP sebelum dan setelah disinari dengan UV-A dapat dilihat pada Tabel 1 dan selisih beda warna kain indigo sebelum dan setelah disinari UV-A dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil uji pudar warna oleh paparan sinar UV-A selama 200 jam pada kain katun indigo alami terlapisi seng oksida

Konsentrasi ZnONP (ppm)	0 Jam				200 Jam			
	<i>L</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>dE</i>	<i>L</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>dE</i>
0	44.69	-3.59	-18.18	59.6	49.46	-4.3	-15.52	54.29
50	47.24	-2.54	-19.47	57.55	51.70	-5.56	-16.79	52.66
250	44.67	-2.74	-20.91	60.47	47.68	-6.11	-18.38	57.01
500	48.74	-2.96	-19.60	56.21	49.08	-4.89	-16.71	55.05
1000	45.03	-3.98	-19.73	59.79	44.33	-4.2	-17.08	59.63



Gambar 2. Selisih beda warna kain indigo sebelum dan setelah disinari UV-A 200 jam

Dari data yang diperoleh pada Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa ZnONP memiliki kemampuan untuk melindungi warna pada kain. Meskipun ZnONP juga memiliki sifat fotokatalisis, namun pada aplikasi pada kain katun indigo, sifat fotokatalisis ini kurang dominan dibanding fungsinya sebagai anti-UV. Sebagai anti-UV, ZnONP dapat merefleksikan, menghamburkan dan menyerap radiasi UV. Minimnya efek fotokatalisis dimungkinkan terjadi karena pada kain, peluang terbentuknya radikal OH rendah.

Hasil penelitian ini selaras dengan hasil penelitian Sani et.al (2019) yang mengaplikasikan komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ sebagai agen anti-UV pada katun yang diwarnai dengan indigo alami. Kekuatan warna yang diukur dengan nilai K/S dari katun-indigo yang dilapisi komposit ZnO/TiO₂ setelah disinari dengan lampu UV selama 24 jam lebih tinggi dibanding katun-indigo tanpa pelapisan (Sani dkk., 2019).

Dari Gambar 2, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ZnONP yang digunakan, maka semakin rendah tingkat kepadaran warna kain. Peningkatan konsentrasi dari 500 ppm menjadi 1000 ppm tidak signifikan dalam menurunkan selisih beda warna. Konsentrasi ZnONP 500 ppm dengan rasio masa kain dibanding volume dispersi adalah 1:100 (gr/ml) telah cukup optimum untuk pelapisan kain katun.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Aplikasi nanopartikel seng oksida pada kain katun yang telah diwarnai dengan pewarna alami indigo memiliki potensi sebagai pelindung warna kain. ZnONPs memiliki kemampuan sebagai penghalang sinar-UV sehingga dapat mencegah zat warna alami indigo terkena langsung paparan sinar-UV. Dalam ukuran nano, ZnONPs dapat menyerap energi dari UV dan melepaskannya dalam bentuk panas sehingga struktur molekul indigo terjaga untuk tidak terdegradasi. Semakin tinggi konsentrasi ZnONPs yang digunakan, semakin baik perlindungan warna yang diberikan. Konsentrasi ZnONPs sebesar 500 ppm memiliki efek perlindungan yang tidak jauh berbeda dengan konsentrasi 1000 ppm sehingga dapat disimpulkan penggunaan ZnONPs pada konsentrasi 500 ppm sudah cukup efisien.

Saran

Penelitian lebih lanjut mengenai durabilitas ZnONPs pada kain katun perlu untuk dilakukan.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis pertama maupun penulis kedua, ketiga dan keempat merupakan kontributor utama dalam penulisan Perlindungan Warna Pada Kain Warna Alami Indigo dengan Nano Partikel Seng Oksida yang disintesis dengan Metode Sol-Gel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) melalui skema Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia Dalam Negeri.

DAFTAR PUSTAKA

- Alebeid, O. K., & Zhao, T. (2017). Review on: developing UV protection for cotton fabric. *Journal of the Textile Institute*, 108(12), 2027–2039. <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1311201>
- Alves de Lima, R. O., Bazo, A. P., Salvadori, D. M. F., Rech, C. M., de Palma Oliveira, D., & de Aragão Umbuzeiro, G. (2007). Mutagenic and carcinogenic potential of a textile azo dye processing plant effluent that impacts a drinking water source. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 626(1–2), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2006.08.002>
- Dastjerdi, R., Montazer, M., & Shamsavan, S. (2010). A novel technique for producing durable multifunctional textiles using nanocomposite coating. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 81(1),

- 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.06.023>
- Ilyas, S. U., Pendyala, R., & Marneni, N. (2014). Dispersion behaviour and agglomeration effects of zinc oxide nanoparticles in ethanol – water mixtures, *18*, 179–183.
- Iuga, C., Ortíz, E., Alvarez-Idaboy, J. R., & Vivier-Bunge, A. (2012). Molecular description of indigo oxidation mechanisms initiated by OH and OOH radicals. *Journal of Physical Chemistry A*, *116*(14), 3643–3651. <https://doi.org/10.1021/jp211493k>
- Lestari, K., & Riyanto. (2004). Pembuatan Pewarna Alam Biru Dari Indigofera tinctoria. *Dinamika Kerajinan Dan Batik*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22322/dkb.v0i21.1107.g941>
- Montazer, M., & Pakdel, E. (2011). Functionality of nano titanium dioxide on textiles with future aspects: Focus on wool. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, *12*(4), 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2011.08.005>
- Padfield, T., & Landi, S. (1966). The light fastness of the natural dyes. *Studies in Conservation, Volume 11*(January 1964), 181–196. <https://doi.org/10.2307/1505361>
- Pandimurugan, R., & Thambidurai, S. (2017). UV protection and antibacterial properties of seaweed capped ZnO nanoparticles coated cotton fabrics. *International Journal of Biological Macromolecules*, *105*, 788–795. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.097>
- Prasad, V., Arputharaj, A., Bharimalla, A. K., Patil, P. G., & Vigneshwaran, N. (2016). Durable multifunctional finishing of cotton fabrics by in situ synthesis of nano-ZnO. *Applied Surface Science*, *390*, 936–940. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.08.155>
- Pujilestari, T. (2014). PENGARUH EKSTRAKSI ZAT WARNA ALAM DAN FIKSASI TERHADAP KETAHANAN LUNTUR WARNA PADA KAIN BATIK KATUN The Effect Extraction Method and Fixation of Natural Dyes to Color Fastness on Cotton Fabric. *Dkb*, 31–40.
- Rachman, A. F., Widodo, M., & Sugiyana, D. (2020). APLIKASI PARTIKEL NANO SENG OKSIDA PADA KAIN BATIK ZAT WARNA ALAM WARNA TERHADAP RADIASI ULTRAVIOLET Immobilization of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles to Increase Color Protection Against Ultraviolet Radiation in Batik Secang (Caesalpinia sappan linn). *Prosiding Seminar Nasional Industri Kerajinan Dan Batik 2020*, *2020*(A12), 1–10.
- Sani, Z. M., Rahayuningsih, E., & Mindaryani, A. (2019). Nano ZnO/TiO₂ photo-catalyst as an anti-ultra violet agent on Indigofera tinctoria colored cotton fabric. *AIP Conference Proceedings*, *2085*(March). <https://doi.org/10.1063/1.5095023>
- Saravanan, D. (2007). UV PROTECTION TEXTILE MATERIALS. *AUTEX Research J*, *7*(1), 11–18.
- Shaheen, T. I., El-Naggar, M. E., Abdelgawad, A. M., & Hebeish, A. (2016). Durable antibacterial and UV protections of in situ synthesized zinc oxide nanoparticles onto cotton fabrics. *International Journal of Biological Macromolecules*, *83*, 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.003>
- Tran Thi, V. H., & Lee, B. K. (2017). Development of multifunctional self-cleaning and UV blocking cotton fabric with modification of photoactive ZnO coating via microwave method. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, *338*, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2017.01.020>
- Yetisen, A. K., Qu, H., Manbachi, A., Butt, H., Dokmeci, M. R., Hinstroza, J. P., ... Yun, S. H. (2016). Nanotechnology in Textiles. *ACS Nano*, *10*(3), 3042–3068. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b08176>

Lembar Tanya Jawab

Moderator : Irfa'ina Rohana Salma

Notulis : Novita Ekarini

1. Penanya : Irfa'ina Rohana Salma (Balai Besar Kerajinan dan Batik)

Pertanyaan : Dari hasil dE, variasi konsentrasi ZNO terlihat memiliki nilai yang fluktuatif sedangkan nilai dE yang tertinggi pada 250 ppm konsentrasi ZNO-nya. Kenapa tidak diberikan saran untuk penggunaan konsentrasi ZNO di nilai 250 saja?

Jawaban : Yang dilihat adalah perbedaan warna sebelum dan setelah disinari. Dari dE yang paling kecil memiliki hasil yang paling bagus akan tetapi dari nilai 500 ke 1000 ppm tidak terlalu signifikan. Dilihat secara fisik di laboratorium sebenarnya antara nilai 500 ke 1000 ppm itu nilainya 2x lipat konsentrasinya tetapi menghasilkan nilai dE yang hampir sama atau berbedanya tidak signifikan maka Saranya penggunaan konsentrasi ZNO yang baik adalah nilai 500 ppm. Dengan penggunaan massa yang lebih sedikit tetapi hasilnya sudah cukup dan tidak boros. Apabila penggunaannya berlebihan pada kain akan tampak terlihat seperti tertutup warna putih. Jadi penggunaan konsentrasi ZNO 500 ppm dirasa sudah cukup efisien.

2. Penanya : Hilbram Adikyaksa (Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta)

Pertanyaan : Hal apa yang melatar belakangi penggunaan soda abu sebagai reduktor? Bukankah ada soda api dan soda kue bisa yang bisa digunakan?

Jawaban : Penggunaan reduktor untuk proses pembuatan indigo dapat menggunakan apa saja asalkan larutnya bersifat basa nantinya indigotin akan terlarut menjadi leuko indigo. Jadi dalam pembuatan indigo boleh menggunakan reduktor apa saja seperti gula jawa, ,molas ataupun sisa -sisa bahan baku pabrik gula hasailnya akan terdapat kelebihan dan kekurangan sendiri. Hanya saja yang digunakan dalam penelitian ini yang sesuai dengan pakem yang digunakan pada penelitian sebelumnya dan karena dalam penelitian ini menggunakan gama indigo yang sudah terdapat instruksi penggunaan soda abu sebagai reduktor.