

Optimasi Aplikasi Pelapisan Nanopartikel Seng Oksida pada Kain Katun-Indigo dengan Response Surface Methodology

Optimization of Zinc Oxide Nanoparticles Coating on Cotton-Indigo Fabrics using Response Surface Methodology

Renung Reningtyas^{a, b*}, Edia Rahayuningsih^{c, b}, Yuni Kusumastuti^c and Indriana Kartini^{b, d}

^aJurusan, Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Yogyakarta, 55283, Indonesia

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

^cDepartemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281, Indonesia

^dDepartemen Kimia Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 12 Juni 2023
Diterima dalam revisi 18 Juni 2023
Diterima 21 Juni 2023
Online 25 Juni 2023

ABSTRAK: Penggunaan material nano sebagai *finishing agent* pada industri tekstil terus dikembangkan. Nano partikel seng oksida (ZnONP) memiliki sifat anti-UV sehingga dapat digunakan untuk melindungi warna kain dari kepedaran. Kendala penggunaan nano material sebagai agen fungsionalisasi pada kain adalah proses aplikasinya dan juga daya lekat yang masih kurang baik. Penelitian ini melakukan optimasi pelapisan ZnONP di kain katun-indigo sehingga ZnONP yang terjerap dapat semaksimal mungkin dengan durabilitas yang baik. Optimasi dilakukan dengan metode *Response Surface methodology* (RSM), dengan variabel bebas berupa volume dispersi ZnONP, jumlah pelapisan, dan metode pelapisan dengan dan tanpa sonikasi. Variabel terikat berupa jumlah ZnONP yang terkandung di kain setelah kain dicuci. Jumlah pelapisan dan pelapisan dengan sonikasi memberikan hasil yang signifikan dalam meningkatkan jumlah ZnONP terjerap.

Kata Kunci: Nanopartikel Seng Oksida; tekstil fungsional; adsorpsi; kain katun; RSM

ABSTRACT: The use of nanomaterial as a finishing agent in the textile industry continues to be developed. Nanoparticle zinc oxide (ZnONP) has anti-UV properties so that it can be used to protect the color of the fabric from fading. Constraints of using nanomaterial as a functionalization agent on fabric are the process of application and also its poor adhesion. This research aims to optimize ZnONP coating on cotton-indigo fabric so that ZnONP can be maximized adsorbed with good durability. Optimization is carried out by the Response Surface Methodology (RSM) method, with the independent variables are: ZnONP Dispersion volume, the number of coating, and the method of coating (with and without sonication assisted). The response variable is the adsorbed ZnONP in fabric sample after the washing process. The number of coating and sonication-assisted coating gives significant results in increasing the number of adsorbed ZnONP.

Keywords: Zinc oxide nanoparticle; functional textile; adsorption; cotton fabric; RSM

1. Pendahuluan

Kemajuan terbaru dalam nanoteknologi berdampak besar pada berbagai bidang industri, tak terkecuali industri tekstil. Nanoteknologi didefinisikan sebagai pemahaman, manipulasi, dan control materi pada skala panjang nanometer (10^{-9} m), sedemikian sehingga sifat fisis, kimia, dan biologis bahan dapat direkayasa, disintesis dan diubah

untuk mengembangkannya (Patra & Gouda, 2013). Penelitian mengenai fungsionalisasi produk tekstil dengan nanopartikel sedang berkembang. Fungsionalisasi dapat berupa penambahan fungsi anti-UV, anti mikroba, anti statis, anti kerut, anti api, hingga kain dengan *optical display* (Yetisen et al., 2016).

* Corresponding Author:

Email: renungreningtyas@upnyk.ac.id

Akhir-akhir ini, penggunaan pewarna alami pada produk tekstil mengalami peningkatan. Hal tersebut sejalan dengan tren di dunia yang mengarah ke produk berkelanjutan dan ramah lingkungan. Di Indonesia, terutama di sentra-sentra penghasil batik, sudah banyak pengrajin yang turut mencoba memakai pewarna alami. Meskipun demikian, pewarna alami masih memiliki beberapa kekurangan, diantaranya ketahanan luntur terhadap pencucian yang kurang baik, warna tidak seragam, *supply* masih skala kecil, dan terutama ketahanan luntur terhadap paparan sinar yang rendah.

Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas kain dengan pewarna alami adalah menambahkan fungsi anti-UV. Anti-UV berperan sebagai penghalang dan menyerap energi dari sinar yang datang sehingga akan mengurangi paparan yang diterima oleh material disekitar yang dilindunginya. Umumnya, agen anti-UV ditambahkan sebagai *finishing agent*. Sebagai contoh adalah nanopartikel TiO₂ dan ZnONP (Dastjerdi et al., 2010; Shaheen et al., 2016; Kar et al., 2019). Akan tetapi, penggunaan material nano sebagai *finishing agent* pada kain masih memiliki kendala yaitu daya lekatnya yang kurang baik (Tarafder, 2010). Selain itu, perlu dipilih cara aplikasi yang tepat.

Nanopartikel memiliki luas permukaan yang besar sehingga energi permukaannya juga besar. Energi permukaan ini menyebabkan partikel nano akan saling tarik menarik sehingga terjadi aglomerasi. Untuk itu, perlu dilakukan upaya untuk menjaga material nano tersebut berukuran nano pada saat diaplikasikan.

Pada penelitian ini digunakan ZnONP sebagai agen anti-UV pada kain yang telah diwarnai dengan indigo alami. Indigo merupakan pewarna alami biru yang populer di dunia namun ketahanan luntur terhadap sinar masih kurang baik. ZnONP mampu menjadi agen anti-UV yang melindungi warna kain akan tetapi durabilitasnya masih perlu ditingkatkan (Reningtyas et al., 2022)

Penelitian ini berfokus pada optimasi pelapisan ZnONP di kain katun-indigo sehingga ZnONP yang terjerap dapat semaksimal mungkin dengan durabilitas yang baik. Optimasi dilakukan dengan menggunakan *Response Surface methodology* (RSM), dengan variabel bebas berupa volume dispersi ZnONP, jumlah pelapisan, dan metode pelapisan dengan dan tanpa sonikasi. Variabel terikat berupa jumlah ZnONP yang terkandung di kain setelah kain dicuci. Pengukuran kadar ZnONP di kain setelah dicuci lebih merepresentasikan proses pelapisan yang *durable* karena ZnONP yang tersisa di kain adalah ZnONP yang benar-benar terjerap dengan baik.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan

Kain katun primisima (PT. Primatexo), Indigo serbuk (Gama Indigo), Zinc nitrat tetra hidrat (Zn(NO₃)₂·4H₂O) dan Sodium hidroksida (NaOH) dari Merck, TRO, sodium hidrosulfit dan soda abu teknis, *demineralized water* dan aquades. Asam nitrat (HNO₃) 65% digunakan untuk proses leaching Zn dari kain.

2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sonikator tipe bath Elma S300, *hot plate stirrer* dan furnace. Peralatan gelas seperti erlenmeyer, gelas beker, dan kurs porselen juga digunakan.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Pewarnaan kain dengan indigo

Kain katun dicuci dengan larutan TRO (10 gr/L) dan dibilas sampai bersih dengan rasio kain banding larutan atau *mass to liquid ratio* (MLR) 1:50. Setelah itu kain dikeringkan dengan diangin-nginkan. Pewarnaan kain dengan indigo alami dilakukan sesuai petunjuk dari Gama Indigo. Sebanyak 50 g serbuk indigo, 18 g sodium hidrosulfit, dan 14 g soda abu dilarutkan pada 1 liter aquades pada suhu 70°C. Larutan didiamkan selama 15 menit pada tempat tertutup untuk mencegah indigo teroksidasi. Kemudian larutan ditambahkan dengan air sebanyak 9 L yang dicampur dengan 4,5 g sodium hidrosulfit dan 3,5 g soda abu. Larutan didiamkan selama 1 jam. Indigo dalam larutan akan tereduksi yang ditandai dengan perubahan warna menjadi biru kehijauan. Kain katun dicelupkan dalam larutan indigo selama 15 menit dengan MLR 1:10, kemudian kain diangin-nginkan pada suhu kamar ditempat teduh. Pencelupan dilakukan sebanyak 7 kali kemudian dibilas dengan aquadest dan dikeringkan.

2.3.2 Pembuatan ZnONP

Pembuatan ZnONP dilakukan dengan metode presipitasi sol gel seperti pada penelitian Reningtyas dkk., (2021). Sebanyak 500 ml larutan Zn(NO₃)₂·4H₂O 0,05 M direaksikan dengan 500 ml larutan NaOH 0,1 M. Larutan NaOH ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan Zn(NO₃)₂ dalam pengadukan tinggi pada suhu kamar. Kecepatan penambahan larutan NaOH ke dalam larutan prekursor Zn adalah ±2 mL/menit. Proses pengadukan dilanjutkan kembali selama 1 jam setelah larutan NaOH habis. Larutan kemudian didiamkan selama semalam dan kemudian endapan yang terbentuk dicuci dengan aquadest 100 ml sebanyak 3 kali. Endapan yang telah dicuci dikeringkan dengan cara dioven pada suhu 100°C selama 3 jam dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 300°C selama 3 jam. Serbuk hasil sintesis dihaluskan dengan mortar dan disimpan dalam tempat tertutup rapat.

2.3.3 Pelapisan ZnONP pada kain

ZnONP didispersikan dalam aquades dan disonikasi selama 20 menit. Sonikasi diperlukan untuk membantu memecah agregat dan aglomerat pada serbuk ZnONP menjadi partikulat berukuran nano yang terdispersi dalam air. Untuk metode pelapisan *dip coating*, kain dicelupkan ke dalam dispersi ZnONP dalam wadah kaca selama 5 menit. Sedangkan untuk metode *ultrasonic dip coating*, pelapisan dilakukan dalam sonikator (selama 5 menit).

2.3.4 Uji distribusi ukuran partikel

Distribusi ukuran partikel pada dispersi ZnONP dianalisis menggunakan teknik *dynamic light scattering* (Zetasizer Nano ZS, Malvern Instrument Ltd).

2.3.5 Durabilitas ZnONP di kain terhadap pencucian

Pencucian kain dilakukan sesuai standar SNI ISO 105-C06:2010. Kain dengan ukuran 4 x 10 cm dicuci dengan dimasukkan dalam alat laundrometer yang ada di Balai Besar Kerajinan dan Batik Yogyakarta. Suhu pencucian 40°C dan durasi pencucian 45 menit. Satu kali siklus setara dengan 5 kali siklus pencucian tangan.

2.3.6 Perhitungan ZnONP terjerap dalam kain

Kadar Zn pada sampel kain diukur menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Sampel kain ditimbang dan dimasukkan ke dalam kurs proselen kemudian diabukan dalam furnace selama 2 jam pada suhu 500-550°C. Setelah dingin, abu dilarutkan dengan penambahan HNO₃ 65% sebanyak 2 ml. Setelah abu terlarut, ditambah aquadest sebanyak 2 ml. Larutan kemudian disaring dengan kertas saring whatman. Filtrat ditambah dengan *demineralized water* hingga volume 50 ml dan kemudian apabila perlu, larutan diencerkan 10 kali, dan kemudian dianalisis kadar Zn dengan AAS (ContrAA 300 Analitik Jena).

2.4 Desain eksperimen

Desain eksperimen yang digunakan adalah *Response Surface Methodology full design* menggunakan 3 faktor dimana 2 faktor merupakan faktor numerik 3 level (volume dispersi ZnONP dan jumlah pelapisan) serta 1 faktor kategori dengan 2 level berupa metode pelapisan ZnONP. Metode pelapisan dilakukan tanpa dan dengan bantuan sonikasi (*dip coating* dan *ultrasonic-dip coating*). Respon yang diambil sebagai variabel terikat adalah masa ZnO yang terjerap di kain setelah dicuci 2 kali standar SNI ISO 105-C06:2010 atau setara 10 kali pencucian tangan. Jumlah ZnO yang masih terjerap setelah kain dicuci memberikan gambaran metode pelapisan ZnONP dengan durabilitas yang baik. Kode level variabel tertera pada Tabel 1.

Keunggulan dari penggunaan RSM adalah dapat memperhitungkan efek dari interaksi tiap parameter. RSM juga dapat mengurangi jumlah uji coba yang diperlukan untuk mengevaluasi berbagai parameter dan interaksinya sehingga menghemat biaya dan waktu (Sinha et al., 2012).

Tabel 1. Kode level variabel independen

| Kategori | Faktor | -1 | 0 | +1 |
|-------------|--------------------------------------|---|-----|-----|
| Numerical | Volume dispersi per masa kain (ml/g) | 50 | 100 | 150 |
| | Jumlah Pencelupan | 1 | 3 | 5 |
| Categorycal | Metode pencelupan | S1 (tanpa sonikasi), S2 (dengan sonikasi) | | |

3. Hasil dan Pembahasan

Pelapisan ZnONP di kain yang terdistribusi homogen dan *durable* menjadi tujuan dalam penelitian ini. Agar terdistribusi homogen dan terjerap dalam ukuran nano, sebelum dilakukan pelapisan ke kain, serbuk ZnO perlu

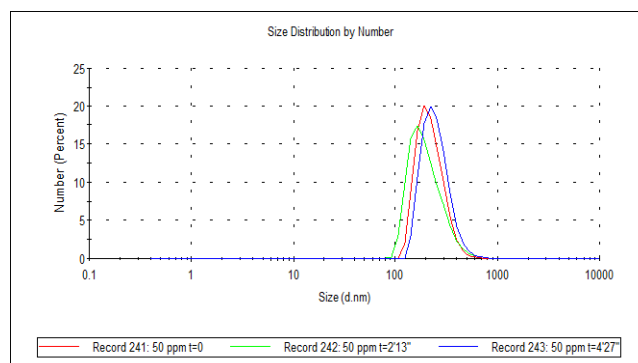
didispersikan terlebih dahulu. Salah satu metode untuk mendispersikan ZnO dalam media cair adalah dengan disonikasi. Agregat dan aglomerat dari partikel ZnO akan dipecah oleh gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik ditransmisikan dalam fluida dan menghasilkan area dengan tekanan tinggi dan tekanan rendah, tergantung dari frekuensi yang dipakai. Pada tekanan yang rendah, gelombang ultrasonik menciptakan gelembung-gelembung vakum dalam air. Ketika gelembung mencapai volume dimana sudah tidak dapat menyerap energi ultrasonik, gelembung tersebut kolaps dan menghasilkan kavitasi. Implosi dari kavitasi tersebut menghasilkan area lokal yang bersuhu tinggi (5000 K) dan tekanan tinggi (2000 atm) serta *liquid jets* dengan kecepatan tinggi (280 m/s). Adanya *liquid jet* berkecepatan tinggi berperan dalam memecah agregat dan aglomerat serbuk ZnONP (Mdleleni et al., 1998).

Distribusi ukuran partikel dan *Poly Dispersity Index* (PDI) dari dispersi ZnONP pada konsentrasi 50 dan 100 ppm dan berbagai waktu sonikasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji dispersi ZnONP dengan PSA

| Matrix Riset | Z average (nm) | PDI |
|----------------------------|----------------|-------------|
| 50 mg/L sonikasi 5 menit | 377.8 | 0.37 |
| 50 mg/L sonikasi 20 menit | 313.5 | 0.26 |
| 100 mg/L sonikasi 5 menit | 2490 | 1 |
| 100 mg/L sonikasi 20 menit | 2424 | 1 |

Nilai Z average menunjukkan rerata diameter dispersi dan nilai PDI menunjukkan seberapa baik dispersi tersebut. Rentang nilai PDI adalah dari 0-1, dimana semakin kecil nilai PDI maka suatu sistem dispersi akan semakin homogen. Nilai dispersi yang homogen, berada pada kisaran kurang dari 0,3.



Gambar 1. Distribusi ukuran dispersi ZnO 50 mg/L dengan durasi sonikasi 20 menit

Dari hasil pengukuran, dispersi ZnONP dengan konsentrasi 50 mg/L yang disonikasi selama 5 menit, memiliki PDI mendekati 0,3 dan diameter rerata 377,8 nm. Penambahan waktu sonikasi mejadi 20 menit pada konsentrasi tersebut diperoleh diameter rerata yang lebih kecil (313,5 nm) dengan nilai PDI dibawah 0,3, yang menunjukkan kondisi dispersi yang relatif stabil. Pada konsentrasi ZnONP 100 mg/L, diameter rerata partikel yang

terukur sudah berukuran lebih dari 2400 nm, atau sudah berukuran mikron, dengan nilai PDI 1. Hal ini menandakan dispersi ZnONP yang terbentuk setelah sonikasi tidak stabil pada konsentrasi tinggi. Sehingga penelitian dilanjutkan pada konsentrasi ZnONP 50 mg/L.

Distribusi ukuran partikel pada dispersi ZnONP 50 mg/L yang disonikasi selama 20 menit tampak pada Gambar 1. Selama selang waktu 0 hingga 4 menit 27 detik pengukuran, distribusi ukuran yang didapat membentuk profil yang berhimpit, menunjukkan kestabilan dispersi ZnONP 50 mg/L. Dari hasil ini, dispersi ZnONP yang dapat digunakan untuk pelapisan kain pada tahap selanjutnya adalah pada konsentrasi 50 mg/L dengan sebelumnya disonikasi 20 menit. Dengan ukuran nano, diharapkan ZnONP yang melekat di kain memiliki durabilitas terhadap pencucian yang kuat.

Optimasi kemudian dilakukan dengan Response Surface Methodology full design 3 faktor dimana 2 faktor merupakan faktor numerik 3 level (volume dispersi ZnONP

dan jumlah pelapisan) serta 1 faktor kategori dengan 2 level berupa metode pelapisan ZnONP. Respon yang diambil sebagai variabel terikat adalah masa ZnO yang terjerap di kain setelah pencucian. Optimasi dilakukan terhadap dua faktor numerik yaitu jumlah pelapisan dan volume dispersi untuk setiap faktor kategori. Pengaruh variabel bebas atau faktor tersebut dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA). Jumlah sampel dari desain eksperimen adalah 18 sampel. Matriks data tampak pada Tabel 3.

Berdasar hasil RSM full design, didapatkan hasil ZnONP yang terjerap berada dalam kisaran 0,4493 – 2,2387 mg/g kain dan setelah dicuci menjadi 0,0431 – 0,5165 mg/g. Data ZnONP terjerap pada kain sebelum dicuci cenderung tidak beraturan (tidak menunjukkan tren). Hal ini dimungkinkan terjadi karena ZnONP masih banyak yang menempel dipermukaan luar kain tanpa terjerap dengan baik dipori-pori kain. Untuk merepresentasikan penyerapan yang baik, data ZnONP yang digunakan adalah jumlah ZnONP pada kain setelah dicuci.

Tabel 3. Jumlah ZnONP terjerap pada katun yang diwarnai dengan indigo sebelum dan setelah pencucian

| Kode Sampel | Metode pelapisan | Jumlah pelapisan | Volume Dispersi untuk 1 gram kain (ml/g kain) | Total masa ZnO dalam dispersi (mg) | Sebelum dicuci | | Setelah 2X cuci | | ZnO yang hilang karena pencucian (%) |
|--------------|------------------|------------------|---|------------------------------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------|
| | | | | | mg ZnO/g kain | ZnO terjerap (%) | mg ZnO/g kain | ZnO terjerap (%) | |
| ZnO-1L-50 | | | 50 | 2.5 | 0.8285 | 33.14 | 0.0468 | 1.87 | 94.35 |
| ZnO-1L-100 | | 1 | 100 | 7.5 | 0.4493 | 5.99 | 0.0431 | 0.57 | 90.41 |
| ZnO-1L-150 | | | 150 | 12.3 | 0.7946 | 6.46 | 0.0387 | 0.31 | 95.13 |
| ZnO-3L-50 | | | 50 | 5.1 | 1.0351 | 20.30 | 0.0801 | 1.57 | 92.26 |
| ZnO-3L-100 | Tanpa Sonikasi | 3 | 100 | 15 | 1.1629 | 7.75 | 0.1704 | 1.14 | 85.34 |
| ZnO-3L-150 | | | 150 | 25.1 | 2.0603 | 8.21 | 0.1685 | 0.67 | 91.82 |
| ZnO-5L-50 | | | 50 | 7.4 | 1.6853 | 22.77 | 0.2275 | 3.07 | 86.50 |
| ZnO-5L-100 | | 5 | 100 | 22.5 | 2.2387 | 9.95 | 0.3179 | 1.41 | 85.80 |
| ZnO-5L-150 | | | 150 | 37.8 | 1.4726 | 3.90 | 0.4918 | 1.30 | 66.61 |
| rerata | | | | | 1,30 | 13,16 | 0,18 | 1,32 | 87,58 |
| ZnO-S-1L-50 | | | 50 | 2.5 | 0.7882 | 31.53 | 0.0471 | 1.89 | 94.02 |
| ZnO-S-1L-100 | | 1 | 100 | 7.4 | 0.7479 | 10.11 | 0.1773 | 2.40 | 76.30 |
| ZnO-S-1L-150 | | | 150 | 12.4 | 0.5661 | 4.57 | 0.0643 | 0.52 | 88.64 |
| ZnO-S-3L-50 | | | 50 | 5 | 0.8716 | 17.43 | 0.3292 | 6.58 | 62.23 |
| ZnO-S-3L-100 | Dengan Sonikasi | 3 | 100 | 15 | 1.2265 | 8.18 | 0.4456 | 2.97 | 63.67 |
| ZnO-S-3L-150 | | | 150 | 24.9 | 1.0585 | 4.25 | 0.2227 | 0.89 | 78.96 |
| ZnO-S-5L-50 | | | 50 | 7.5 | 1.7993 | 23.99 | 0.4541 | 6.05 | 74.76 |
| ZnO-S-5L-100 | | 5 | 100 | 22.4 | 2.0326 | 9.07 | 0.5165 | 2.31 | 74.59 |
| ZnO-S-5L-150 | | | 150 | 37.5 | 1.6540 | 4.41 | 0.3619 | 0.96 | 78.12 |
| rerata | | | | | 1,19 | 12,62 | 0,29 | 2,73 | 76,81 |

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa persentase penjerapan ZnONP berada pada kisaran 3,90% - 33,14% dari total masa ZnONP yang ada pada dispersi. Setelah pencucian, ZnONP yang hilang (% loss) berkisar antara 62,23 – 95,13%.

Rerata jumlah ZnONP terjerap pada kain setelah pencucian pada pelapisan dengan sonikasi mencapai 0,29 mg/g dan tanpa sonikasi 0,18 mg/g. Adapun rerata ZnONP yang hilang karena pencucian pada metode tanpa sonikasi adalah 87,58 % sedangkan metode pelapisan dengan sonikasi adalah 76,81 %. Treatment sonikasi memberikan durabilitas yang lebih baik. Namun demikian, tingginya kadar ZnONP yang hilang ini menunjukkan bahwa ikatan antara ZnONP dan kain (selulosa) masih lemah. Ikatan yang terbentuk hanya merupakan ikatan hidrogen dan ikatan van der Waals yang kurang kuat sehingga tidak cukup kuat untuk mempertahankan ZnONP pada kain.

Hasil ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4 dan diagram pareto tampak pada Gambar 2. Dapat dilihat bahwa model linier memiliki nilai P yang rendah (< 0,05) sehingga memberikan pengaruh signifikan. Sedangkan model kuadratis dan interaksi dua faktor memiliki P > 0,05 sehingga pengaruhnya tidak terlalu signifikan. Jumlah pelapisan dan metode pelapisan memberikan pengaruh

signifikan, sedangkan volum dispersi (dengan nilai P tinggi) memberikan pengaruh yang kurang signifikan.

Model matematika untuk jumlah ZnONP terjerap setelah pencucian, pada kain katun-Indigo pada metode pelapisan *dip-coating* (tanpa sonikasi) tampak pada persamaan 1 sedangkan *ultrasonic-dip coating* (dengan sonikasi) pada persamaan 2.

$$ZnO = -0,098 + 0,0901 X_1 + 0,0052 X_2 \quad (1)$$

$$- 0,0012 X_1^2 - 0,000034 X_2^2$$

$$+ 0,000254 X_1 X_2$$

$$ZnO_{soni} = -0,418 + 0,0761 X_1 + 0,00738 X_2 \quad (2)$$

$$- 0,0012 X_1^2 - 0,000034 X_2^2$$

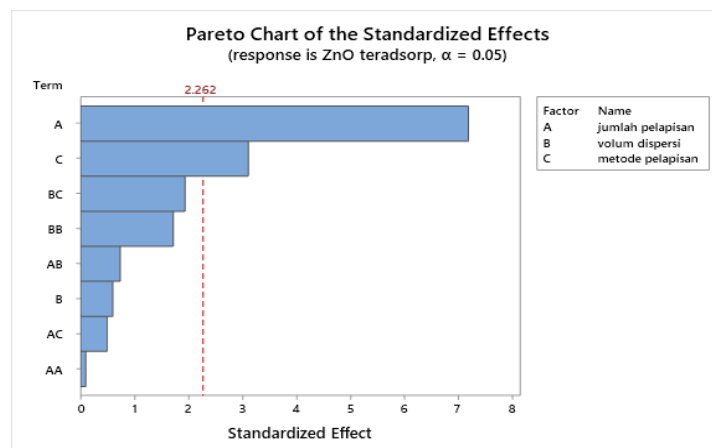
$$+ 0,000254 X_1 X_2$$

dengan X_1 adalah jumlah pelapisan dan X_2 adalah volume dispersi. Kecocokan kualitas model diekspresikan dengan koefisien korelasi R^2 sebesar 88,5%.

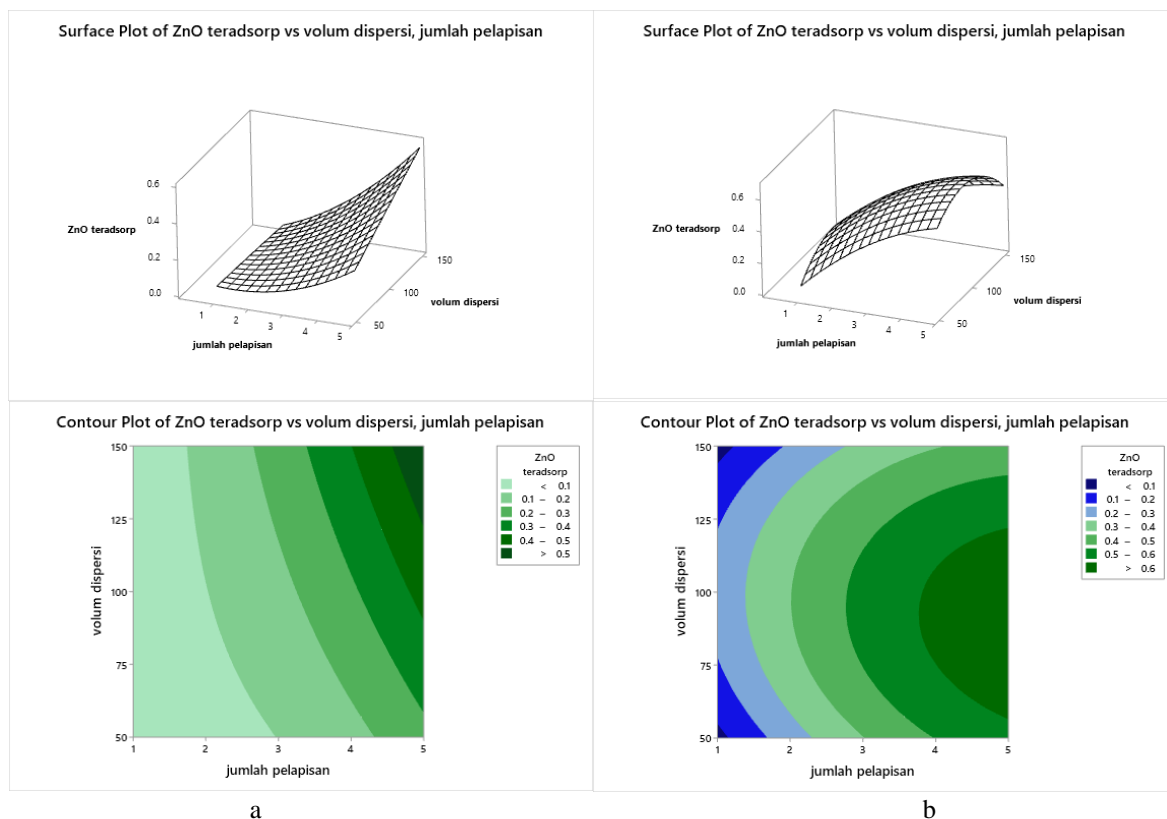
Efek tiap variabel terhadap jumlah ZnONP terjerap pada setiap metode pelapisan ditampilkan dalam *surface plot* dan *contour plot* pada Gambar 3.

Tabel 4. Hasil ANOVA untuk respon ZnONP terjerap setelah kain dicuci

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|-----------------------------------|----|----------|----------|---------|---------|
| Model | 8 | 0,658818 | 0,082352 | 8,66 | 0,002 |
| Linear | 3 | 0,587349 | 0,195783 | 20,58 | 0,000 |
| jumlah pelapisan | 1 | 0,491944 | 0,491944 | 51,70 | 0,000 |
| volum dispersi | 1 | 0,003431 | 0,003431 | 0,36 | 0,563 |
| metode pelapisan | 1 | 0,091974 | 0,091974 | 9,67 | 0,013 |
| Square | 2 | 0,028245 | 0,014123 | 1,48 | 0,277 |
| jumlah pelapisan*jumlah pelapisan | 1 | 0,000092 | 0,000092 | 0,01 | 0,924 |
| volum dispersi*volum dispersi | 1 | 0,028153 | 0,028153 | 2,96 | 0,120 |
| 2-Way Interaction | 3 | 0,043224 | 0,014408 | 1,51 | 0,276 |
| jumlah pelapisan*volum dispersi | 1 | 0,005145 | 0,005145 | 0,54 | 0,481 |
| jumlah pelapisan*metode pelapisan | 1 | 0,002355 | 0,002355 | 0,25 | 0,631 |
| volum dispersi*metode pelapisan | 1 | 0,035723 | 0,035723 | 3,75 | 0,085 |
| Error | 9 | 0,085630 | 0,009514 | | |
| Total | 17 | 0,744448 | | | |



Gambar 2. Pareto efek berbagai variabel pada ZnONP terjerap



Gambar 3. Surface plot dan Contour plot jumlah ZnONP terjerap pada katun-indigo pelapisan tanpa sonikasi (a) dan dengan sonikasi (b) setelah pencucian

Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah pelapisan memiliki pengaruh positif pada penambahan ZnONP terjerap. Semakin banyak jumlah pelapisan yang dilakukan, semakin banyak jumlah ZnONP terjerap. Volume dispersi memiliki pengaruh positif yang tidak sebesar jumlah pelapisan. Pada metode pelapisan tanpa sonikasi, dengan semakin banyak volume dispersi, maka jumlah ZnONP terjerap semakin meningkat. Berbeda dengan pelapisan menggunakan sonikasi, penambahan volume dispersi dari 50 ke 100 ml pada awalnya meningkatkan jumlah ZnONP terjerap namun dengan penambahan volume dari 100 ke 150 ml, jumlah ZnONP mengalami penurunan. Sonikator memiliki spesifikasi tertentu dengan luaran energi tertentu. Besarnya energi gelombang ultrasonik yang diterima per volum dispersi akan mempengaruhi hasil dispersi nanopartikel. Bertambahnya volume cairan dispersi ZnONP dari 50 ml ke 150 ml akan menurunkan besarnya jumlah energi ultrasonik yang diterima per volum suatu dispersi. Dimungkinkan pada volume 150 ml, dispersi ZnONP tidak sebaik pada volume 100 ml sehingga ZnONP yang terjerap mengalami penurunan.

Penelitian lain mengenai adsorpsi dengan bantuan sonikasi juga memberi hasil yang selaras dengan penelitian ini. Das et al., (2021) meneliti adsorpsi zat warna sintetik malachite green pada nanopartikel magnesium ferit. Adsorpsi yang disertai dengan sonikasi menghasilkan penghilangan zat warna mencapai 90%, sedangkan dengan pengadukan biasa hanya 72% dan metode *shaker* 65%.

Bagheri et al., (2017) meneliti adsorpsi zat warna Sunset Yellow, Eosin B dan Metilen biru pada karbon aktif yang dimodifikasi dengan nanopartikel magnetite Fe_3O_4 . Kapasitas penjerapan Sunset Yellow dengan sonikasi 76.37 mg/g sedangkan dengan pengaduk magnetic hanya mencapai 49.32 mg/g. Penelitian Chen & Huang, (2021) menyebutkan adanya sonikasi meningkatkan kecepatan penjerapan zat warna dalam metal organik berbasis kromium hingga 18 kali lipat dan meningkatkan kapasitas adsorpsi sebanyak 87%.

Proses sonikasi menyebabkan adanya perbedaan tekanan dan suhu tinggi pada area-area tertentu di air sehingga menyebabkan kavitasi. Kavitasi menginisiasi terbentuknya gelembung yang kemudian mengalami implosi dan terpecah menjadi mikro jet berkecepatan tinggi, menimbulkan gelombang kejut, dan juga menghasilkan arus mikro yang mempercepat transfer masa (Deb et al., 2019). Pada penelitian ini, sonikasi dilakukan dengan mencelupkan kain dalam dispersi ZnONP kemudian disonikasi. Sonikasi memberikan durabilitas ZnONP yang lebih baik, ditunjukkan dengan rerata jumlah ZnONP setelah pencucian pada kain *ultrasonic-dip coating* mencapai 0,29 mg/g kain, 65% lebih tinggi dibanding pada kain *dip coating* yang hanya 0,18 mg/g kain. Ikatan antara ZnONP dan kain (selulosa) merupakan ikatan hidrogen dan ikatan van der Waals yang kurang kuat, namun energi ultrasonik dapat menjaga dispersi dalam ukuran nano dan dapat membantu menembakkan partikel ke permukaan kain sehingga

membantu ZnONP terjerap baik pada kain. Tanpa sonikasi, ZnONP masih dalam bentuk aglomerat dan agregat, sehingga jika terjerap di kain akan mudah terlepas karena pencucian.

Dengan semakin banyaknya ZnONP terjerap, diharapkan sifat anti-UV pada kain akan semakin baik sehingga warna kain lebih terlindungi.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapat hasil bahwa metode pelapisan ZnONP dengan sonikasi memberikan hasil penyerapan dan durabilitas yang lebih baik dibanding tanpa sonikasi. Jumlah pelapisan dan metode pelapisan memberikan pengaruh signifikan, sedangkan volum dispersi (dengan nilai P tinggi) memberikan pengaruh yang kurang signifikan. Penelitian ini diharapkan dapat memberi gambaran awal mengenai adsorpsi nano partikel di kain.

Ucapan Terima kasih

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

Daftar Pustaka

- Bagheri, A. R., Ghaedi, M., Asfaram, A., Bazrafshan, A. A., & Jannesar, R. (2017). Comparative study on ultrasonic assisted adsorption of dyes from single system onto Fe₃O₄ magnetite nanoparticles loaded on activated carbon: Experimental design methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.047>
- Chen, Y., & Huang, P. (2021). Sono-assisted rapid dye removal by chromium-based metal organic frameworks derived from waste PET bottles: Characterization, kinetics and adsorption isotherms. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106766. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106766>
- Das, P., Debnath, P., & Debnath, A. (2021). Enhanced sono-assisted adsorptive uptake of malachite green dye onto magnesium ferrite nanoparticles: Kinetic, isotherm and cost analysis. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16(May), 100506. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100506>
- Dastjerdi, R., Montazer, M., & Shahsavan, 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>
- Deb, A., Kanmani, M., Debnath, A., Bhowmik, K. L., & Saha, B. (2019). Ultrasonic assisted enhanced adsorption of methyl orange dye onto polyaniline impregnated zinc oxide nanoparticles: Kinetic, isotherm and optimization of process parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54(January), 290–301. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.028>
- Kar, T. R., Samanta, A. K., Sajid, M., & Kaware, R. (2019). UV protection and antimicrobial finish on cotton khadi fabric using a mixture of nanoparticles of zinc oxide and poly-hydroxy-amino methyl silicone. *Textile Research Journal*, 89(11), 2260–2278. <https://doi.org/10.1177/0040517518790973>
- Mdleleni, M. M., Hyeon, T., Suslick, K. S., V, S. G. A., January, R. V., & Mater, G. A. A. V. (1998). Sonochemical Synthesis of Nanostructured Molybdenum Sulfide. *J. Am. Chem. Soc.*, 7863(15), 6189–6190.
- Patra, J. K., & Gouda, S. (2013). Journal of Engineering and Technology Research Application of nanotechnology in textile engineering: An overview. 5(5), 104–111. <https://doi.org/10.5897/JETR2013-0309>
- Reningtyas, R., Rahayuningsih, E., Kusumastuti, Y., & Kartini, I. (2021). Perlindungan warna pada kain warna alami indigo dengan nano partikel seng oksida yang disintesis dengan metode sol-gel. *Prosiding Seminar Nasional Industri Kerajinan dan Batik*, C12, 1-11.
- Reningtyas, R., Rahayuningsih, E., Kusumastuti, Y., & Kartini, I. (2022). Photofading of Natural Indigo Dye in Cotton Coated with Zinc Oxide Nanoparticles Synthesized by Precipitation Method. *International Journal of Technology*, 13(3), 553–564. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i3.4756>
- 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>
- Sinha, K., Das, P., & Datta, S. (2012). Response surface optimization and artificial neural network modeling of microwave assisted natural dye extraction from pomegranate rind. *Industrial Crops & Products*, 37(1), 408–414. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.12.032>
- Tarafder, N. (2010). Functional textiles - A review. *Man-Made Textiles in India*, 38(11), 13–19. <https://doi.org/10.1177/0040517509357652>
- Yetisen, A. K., Qu, H., Manbachi, A., Butt, H., Dokmeci, M. R., Hinestroza, J. P., Skorobogatiy, M., Khademhosseini, A., & Yun, S. H. (2016). Nanotechnology in Textiles. *ACS Nano*, 10(3), 3042–3068. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b08176>