

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| INTISARI | xv |
| ABSTRACT | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan dan Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.3. Keaslian Penelitian | 5 |
| 1.4. Tujuan Penelitian | 6 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 7 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | 8 |
| 2.1. Kain Katun | 8 |
| 2.2. Kain Batik | 9 |
| 2.3. Zat Pewarna Alami..... | 10 |
| 2.4. Mordan | 14 |
| 2.5. Nanopartikel Seng Oksida (ZnONP) | 18 |
| 2.6. Limbah <i>Electric Arc Furnace Dust</i> (EAFD)..... | 23 |
| 2.7. Imobilisasi <i>in situ</i> ZnONP pada kain | 24 |
| 2.8. Landasan Teori..... | 27 |
| 2.9. Pertanyaan Penelitian | 45 |
| 2.10. Hipotesis..... | 46 |
| BAB III. METODE PENELITIAN | 47 |
| 3.1. Bahan dan Alat penelitian | 48 |
| 3.2. Prosedur penelitian..... | 48 |
| BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 52 |
| 4.1. Penelitian Pendahuluan : Imobilisasi <i>in situ</i> ZnONP pada kain dengan pewarna alami menggunakan prekursor Zn nitrat | 52 |
| 4.2. Hasil dan pembahasan terkait Tujuan 1. Memperoleh kondisi optimum proses imobilisasi <i>in situ</i> ZnONP menggunakan berbagai prekursor berbahan dasar limbah debu EAF pada kain batik yang diwarnai dengan pewarna alami Jalawe. | 69 |

| | |
|--|-----|
| 4.3. Hasil dan pembahasan terkait Tujuan 2. Menentukan parameter kecepatan nukleasi dan pertumbuhan ZnONP secara <i>in situ</i> pada kain batik yang diwarnai dengan pewarna alami Jalawe untuk berbagai prekursor..... | 98 |
| 4.4. Hasil dan pembahasan terkait Tujuan 3. Menentukan pengaruh ZnONP yang disintesis dari berbagai prekursor terhadap sifat antibakteri dan antiUV pewarnaan kain batik dengan pewarna alami Jalawe. | 106 |
| 4.5. Hasil dan pembahasan terkait Tujuan 4. Menentukan aplikasi imobilisasi <i>in situ</i> ZnONP pada kain batik yang diwarnai dengan pewarna alami Jalawe yang dapat dilakukan di IKM berdasarkan dari hasil penelitian yang diperoleh. | 114 |
| BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN | 123 |
| 5.1. Kesimpulan | 123 |
| 5.2. Saran..... | 125 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 1. 1 Beberapa penelitian tentang fungsionalisasi ZnONP pada kain secara <i>in situ</i> | 6 |
| Tabel 2. 1 Kandungan tanin beberapa jenis tanaman | 15 |
| Tabel 2. 2. Contoh-contoh struktur kimia molekul dan konfigurasi kelasi yang umum terjadi dalam zat warna mordan | 35 |
| Tabel 3. 1. Tahapan Penelitian..... | 47 |
| Tabel 4. 1. Kandungan logam larutan prekursor Zn nitrat pada pH 0 dan pH 5 | 53 |
| Tabel 4.2. Zona hambat spesimen kain pewarna alami terhadap bakteri <i>S. Aureus</i> | 63 |
| Tabel 4.3. Nilai L*, a*, and b* kain tanpa perlakuan dan kain terimobilisasi ZnONP .. | 65 |
| Tabel 4.4. Sifat mekanik kain tanpa perlakuan dan kain terimobilisasi ZnONP..... | 67 |
| Tabel 4.5. Kandungan logam larutan prekursor | 70 |
| Tabel 4.6. Data RSM proses imobilisasi ZnONP pada kain pewarna alami dengan prekursor Zn nitrat..... | 72 |
| Tabel 4.7. Data RSM proses imobilisasi ZnONP pada kain pewarna alami menggunakan prekursor Zn asetat..... | 72 |
| Tabel 4.8. Data RSM proses imobilisasi ZnONP pada kain pewarna alami menggunakan prekursor Zn klorida | 73 |
| Tabel 4.9. Persamaan empiris yang diperoleh untuk masing-masing respon pada optimasi imobilisasi ZnONP menggunakan prekursor Zn nitrat, Zn asetat dan Zn klorida. | 73 |
| Tabel 4.10. Nilai L*, a*, and b* kain tanpa perlakuan dan kain terimobilisasi ZnONP pada semua prekursor | 91 |
| Tabel 4. 11. Hasil pengujian sudut kontak dan perhitungan nilai θ untuk masing-masing prekursor..... | 101 |
| Tabel 4.12. Hasil perhitungan parameter nukleasi pada imobilisasi ZnONP menggunakan prekursor Zn nitrat, Zn asetat dan Zn klorida | 102 |
| Tabel 4.13. Perubahan warna kain terimobilisasi ZnONP dengan berbagai prekursor, sebelum dan sesudah penyinaran sinar UV | 110 |
| Tabel 4. 14. Perhitungan harga larutan prekursor Zn nitrat..... | 120 |
| Tabel 4.15. Perhitungan biaya imobilisasi ZnONP untuk 1 buah kain batik..... | 120 |
| Tabel 5.1. Kesimpulan Hasil Penelitian..... | 125 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Struktur molekul selulosa | 8 |
| Gambar 2.2. Kain batik dengan pewarna alami | 10 |
| Gambar 2.3. Gugus <i>chromophore</i> dan <i>auxochrome</i> dari <i>azo dyes</i> | 11 |
| Gambar 2.4. Buah Jalawe (<i>Terminalia bellirica</i>) | 13 |
| Gambar 2.5. Struktur kimia <i>coloring matter</i> yang terdapat dalam buah Jalawe | 14 |
| Gambar 2.6. Ikatan kompleks logam Mn ⁺ yang berperan sebagai mordan dalam imobilisasi zat pewarna alami Alizarin pada serat selulosa | 16 |
| Gambar 2.7. Interaksi antara katun, tannin, mordan dan zat pewarna alami | 17 |
| Gambar 2.8. Mekanisme fotokatalitik dari nanopartikel ZnO | 19 |
| Gambar 2.9. Mekanisme antibakteri nanopartikel ZnO | 21 |
| Gambar 2.10. Karakteristik transmisi sinar UV pada kain. | 22 |
| Gambar 2.11. Mekanisme aplikasi ZnONP pada kain katun secara <i>in situ modified hydrothermal</i> | 25 |
| Gambar 2.12. Pembentukan kompleks ZnO-selulosa | 28 |
| Gambar 2.13. Mekanisme yang terjadi dalam proses CBD | 30 |
| Gambar 2.14. Diagram solubiliti senyawa Zn pada suhu 25°C | 31 |
| Gambar 2.15. Kelarutan ZnO dalam air pada suhu ruangan | 32 |
| Gambar 2.16. Diagram Pourbaix untuk logam-logam utama yang terkandung dalam debu EAF, (a) Fe (b) Al (c) Mn (d) Ca | 33 |
| Gambar 2.17. Ilustrasi ikatan kovalen dan ikatan koordinat | 35 |
| Gambar 2.18. Kemungkinan interaksi yang terjadi pada proses imobilisasi <i>in situ</i> ZnONP pada kain katun pewarna alami dengan prekursor garam Zn | 37 |
| Gambar 2.19. Ilustrasi proses fungsionalisasi anti bakteri dan anti UV menggunakan ZnONP pada kain katun yang diwarnai dengan pewarna alami | 38 |
| Gambar 2.20. Mekanisme pertumbuhan nanokristal menurut LaMer | 39 |
| Gambar 2.21. Keberadaan jari-jari kritis (<i>rc</i>) dan energi bebas kritis (<i>Gcrit</i>) | 40 |
| Gambar 2.22. Sudut kontak pada nukleasi heterogen | 41 |
| Gambar 2.23. Lapisan difusi pada permukaan partikel (kiri) dan plot konsentrasi monomer/larutan sebagai fungsi jarak <i>x</i> (kanan) | 41 |
| Gambar 3.1. Rangkaian peralatan eksperimen imobilisasi <i>in situ</i> ZnONP pada kain batik | 49 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.1. (a) Spektrum XRD dari partikel yang terbentuk pada sintesis <i>in situ</i> ZnONP pada kain pewarna alami pH 6 – pH 11, ★: ZnO, ●: Zn ₅ (OH) ₈ (NO ₃) ₂ ·2H ₂ O (Pentazinc Octahydroxide), (b) Spektrum XRD dari data JCPDS..... | 54 |
| Gambar 4.2. Komposisi kimia ZnO NPs berdasarkan analisa XRF..... | 56 |
| Gambar 4.3. Morfologi (gambar FESEM) partikel yang terbentuk dalam sintesis <i>in situ</i> ZnONP pada kain pewarna alami pada (a) pH 6, (b) pH 7, (c) pH 8, (d) pH 9, (e) pH 10, (f) pH 11 | 57 |
| Gambar 4.4. Morfologi (Gambar FESEM) permukaan kain pewarna alami terimobilisasi <i>in situ</i> ZnONP pada berbagai pH: (a) pH 6, (b) pH 7, (c) pH 8, (d) pH 9, (e) pH 10, (f) pH 11. | 59 |
| Gambar 4.5. Spektrum FT-IR dari (a) kain tanpa perlakuan, (b) kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP, (c) serbuk ZnONP | 60 |
| Gambar 4.6. Mekanisme reaksi kimia pembentukan ZnONP pada kain dengan pewarna alami Jalawe. | 61 |
| Gambar 4.7. Zona Hambat = 0 pada pengujian antibakteri kain terimobilisasi ZnO pada (a) pH 6, (b) pH 7, (c) pH 8, (d) pH 9 | 64 |
| Gambar 4.8. Foto aktivitas antibakteri dari (a) kain dengan pewarna alami yang tidak diberi perlakuan/kontrol, (b) kain dengan pewarna alami yang diaplikasi ZnONP pada pH 10, (c) kain dengan pewarna alami yang diaplikasi ZnONP pada pH 11. Lingkaran putus-putus hitam adalah petunjuk untuk mata dan menunjukkan zona hambat. Diameter sampel adalah 17 mm.... | 64 |
| Gambar 4.9. Pengaruh proses imobilisasi <i>in situ</i> ZnONP pada berbagai pH terhadap kualitas warna kain | 65 |
| Gambar 4.10. (a, b) Morfologi (gambar FESEM) permukaan kain pewarna alami sebelum dan sesudah pencucian. (c, d) Komposisi kimia kain pewarna alami dari analisis EDX sebelum dan sesudah pencucian..... | 68 |
| Gambar 4.11. Morfologi kain terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn nitrat, konsentrasi prekursor (a) 0,01M, (b) 0,05M (c) 0,1M (suhu 80°C, pH 8,5); suhu (d) 70°C, (e) 80°C, (f) 90°C (konsentrasi prekursor 0,1M, pH 8,5); pH (g) 6, (h) 8,5, (i) 11 (konsentrasi prekursor 0,1M, suhu 80°C)..... | 75 |
| Gambar 4.12. Morfologi partikel ZnONP dengan prekursor Zn nitrat, konsentrasi prekursor (a) 0,01M, (b) 0,05M (c) 0,1M (suhu 80°C, pH 8,5); suhu (d) | |

70°C, (e) 80°C, (f) 90°C (konsentrasi prekursor 0,1M, pH 8,5); pH (g) 6,

(h) 8,5, (i) 11 (konsentrasi prekursor 0,1M, suhu 80°C) 77

Gambar 4.13. Morfologi kain terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn asetat,

konsentrasi prekursor (a) 0,01M, (b) 0,05M (c) 0,1M (suhu 80°C, pH 8,5);

suhu (d) 70°C, (e) 80°C, (f) 90°C (konsentrasi prekursor 0,1M, pH 8,5); pH

(g) 6, (h) 8,5, (i) 11 (konsentrasi prekursor 0,1M, suhu 80°C)..... 78

Gambar 4.14. Morfologi partikel ZnONP dengan prekursor Zn asetat, konsentrasi

prekursor (a) 0,01M, (b) 0,05M (c) 0,1M (suhu 80°C, pH 8,5); suhu (d)

70°C, (e) 80°C, (f) 90°C (konsentrasi prekursor 0,1M, pH 8,5); pH (g) 6,

(h) 8,5, (i) 11 (konsentrasi prekursor 0,1M, suhu 80°C) 79

Gambar 4.15. Morfologi kain terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn klorida,

konsentrasi prekursor (a) 0,01M, (b) 0,05M (c) 0,1M (suhu 80°C, pH 8,5);

suhu (d) 70°C, (e) 80°C, (f) 90°C (konsentrasi prekursor 0,1M, pH 8,5); pH

(g) 6, (h) 8,5, (i) 11 (konsentrasi prekursor 0,1M, suhu 80°C)..... 80

Gambar 4.16. Morfologi partikel ZnONP dengan prekursor Zn klorida, konsentrasi

prekursor (a) 0,01M, (b) 0,05M (c) 0,1M (suhu 80°C, pH 8,5); suhu (d)

70°C, (e) 80°C, (f) 90°C (konsentrasi prekursor 0,1M, pH 8,5); pH (g) 6,

(h) 8,5, (i) 11 (konsentrasi prekursor 0,1M, suhu 80°C) 81

Gambar 4.17. Morfologi kain terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn sulfat,

konsentrasi prekursor (a) 0,01M, (b) 0,05M (c) 0,1M (suhu 80°C, pH 8,5);

suhu (d) 70°C, (e) 80°C, (f) 90°C (konsentrasi prekursor 0,1M, pH 8,5); pH

(g) 6, (h) 8,5, (i) 11 (konsentrasi prekursor 0,1M, suhu 80°C)..... 82

Gambar 4.18. Analisa XRD partikel yang terbentuk pada (a) konsentrasi prekursor Zn

sulfat 0,05M, (b) konsentrasi prekursor 0,1M 83

Gambar 4.19. Morfologi partikel terbentuk pada percobaan sintesa ZnO menggunakan

prekursor Zn sulfat 1M 83

Gambar 4.20. Grafik contour (a), 3D surface (b), dan nilai optimum (c) pada optimasi

proses imobilisasi ZnONP menggunakan prekursor Zn nitrat 84

Gambar 4.21. Grafik *contour* (a), *3D surface* (b) dan nilai optimum (c) pada proses

optimasi imobilisasi ZnONP menggunakan prekursor Zn asetat 85

Gambar 4.22. Grafik contour (a), 3D surface (b) dan nilai optimum (c) pada proses

optimasi imobilisasi ZnONP menggunakan prekursor Zn klorida 86

Gambar 4.23. Spektrum XRD ZnONP yang terbentuk hasil sintesa *in situ* menggunakan

prekursor (a) Zn nitrat, (b) Zn asetat, (c) Zn klorida 87

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.24. (a) Morfologi kain terimobilisasi ZnO dengan prekursor Zn nitrat, | 88 |
| Gambar 4.25. (a) Morfologi kain terimobilisasi ZnO dengan prekursor Zn asetat, (b) bentuk ZnONP, (c) komposisi kimia kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP..... | 89 |
| Gambar 4.26. (a) Morfologi kain terimobilisasi ZnO dengan prekursor Zn klorida, (b) bentuk ZnONP dan (c) komposisi kimia kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP..... | 90 |
| Gambar 4.27. Foto kain tanpa perlakuan (a) dan kain terimobilisasi ZnONP (b) menggunakan prekursor (A) Zn nitrat, (B) Zn asetat, (C) Zn klorida | 91 |
| Gambar 4.28. Spektrum FT-IR (a) kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn klorida, (b) kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn asetat, (c) kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn nitrat dan (d) kain tanpa perlakuan (blangko) | 92 |
| Gambar 4.29. Morfologi dan Komposisi kimia permukaan kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn nitrat: (a),(c) sebelum pencucian dan (b),(d) sesudah pencucian. | 93 |
| Gambar 4.30. Morfologi dan Komposisi kimia permukaan kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn asetat: (a),(c) sebelum pencucian dan (b),(d) sesudah pencucian. | 94 |
| Gambar 4.31. Morfologi dan komposisi kimia permukaan kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP dengan prekursor Zn klorida: (a),(c) sebelum pencucian dan (b),(d) sesudah pencucian. | 95 |
| Gambar 4.32. Kondisi terbentuknya ZnO pada kurva konsentrasi prekursor vs pH | 96 |
| Gambar 4.33 (a) Kurva solubility Zn pada suhu 25°C (b) Hasil penelitian ini (suhu 80°C) yang diplotkan pada kurva solubiliti Zn..... | 97 |
| Gambar 4.34. Perhitungan jumlah partikel saat kondisi optimal pada imobilisasi ZnO menggunakan prekursor (a) Zn nitrat, (b) Zn asetat, (c) Zn klorida..... | 99 |
| Gambar 4.35. Penentuan nilai ΔG_{crit} nukleasi homogen pada sintesis <i>in situ</i> ZnONP menggunakan prekursor (a) Zn nitrat, (b) Zn asetat, dan (c) Zn klorida. | 100 |
| Gambar 4. 36. Sudut kontak kain terimobilisasi ZnONP dengan prekursor (a) Zn nitrat (b) Zn asetat dan (c) Zn klorida | 101 |
| Gambar 4.37. Data jari-jari ZnONP dan curve fitting pada $r^3 - r_0^3$ vs waktu jari-jari ZnONP yang terbentuk pada sintesis menggunakan prekursor (a) Zn nitrat, (b) Zn asetat dan (c) Zn klorida | 103 |

Gambar 4.38. Penentuan nilai Energi Aktivasi proses pertumbuhan ZnO nanopartikel

dengan prekursor (a) Zn nitrat, (b) Zn asetat, (c) Zn klorida..... 105

Gambar 4.39. (a) Tidak adanya aktivitas antibakteri pada kain tanpa perlakuan, (b)

Aktivitas antibakteri kain pewarna alami terimobilisasi ZnONP, (c)

Aktivitas antibakteri kain warna putih terimobilisasi ZnONP menggunakan

prekursor: A. Zn nitrat, B. Zn asetat, C. Zn klorida 106