

**SINTESIS NANOPARTIKEL SENG OKSIDA (ZnO)
MENGUNAKAN SURFAKTAN SEBAGAI STABILISATOR
DAN APLIKASINYA PADA PEMBUATAN TEKSTIL ANTI BAKTERI**

***SYNTHESIS OF ZINC OXIDE (ZnO) NANOPARTICLES
USING SURFACTANT AS A STABILIZING AGENT AND IT'S
APPLICATIONS IN ANTIBACTERIAL TEXTILES FABRICATION***

Oleh : Eva Novarini, Tatang Wahyudi

Balai Besar Tekstil

Jl. A. Yani No. 390 Bandung Telp. 022.7206214-5 Fax. 022.7271288

E-mail : evanovzki@yahoo.com, texirdti@bdg-centrin.net.id

Tulisan diterima : 24 Oktober 2011 Selesai diperiksa : 2 Desember 2011

ABSTRAK

Sintesis nanopartikel seng oksida dilakukan dengan metode presipitasi melalui reaksi antara seng nitrat dengan natrium hidroksida. Variasi penggunaan berbagai jenis surfaktan (kationik, nonionik dan anionik) sebagai stabilisator pada proses pembuatan larutan koloid nanopartikel. Partikel dikarakterisasi dengan X-ray Diffraction (X-RD), Ultraviolet-visible Spectroscopy dan Scanning Electron Microscope (SEM). Aktivitas antibakteri nanopartikel terhadap Escherichia coli dan Bacillus cereus ditentukan dengan metode agar diffusion test. Hasil karakterisasi XRD dan SEM menunjukkan bahwa partikel adalah benar seng oksida dengan ukuran antara 75 nm-125 nm. Penggunaan 5% surfaktan kationik atau nonionik berdampak pada distribusi ukuran partikel koloid yang relatif rata. Nanopartikel memperlihatkan kemampuan yang lebih baik dalam menghambat pertumbuhan bakteri Bacillus cereus dibandingkan pada Escherichia coli. Selanjutnya, nanopartikel diaplikasikan pada kain kapas dengan teknik rendam-peras-pemanasawetan kering. Analisa persentase reduksi bakteri setelah beberapa kali pencucian tekstil dilakukan untuk mengetahui efektivitas aplikasi nanopartikel. Hasil foto SEM terhadap kain kapas membuktikan bahwa kain mengandung nanopartikel seng oksida. Peningkatan jumlah zat pengikat dapat meningkatkan efektivitas antibakteri.

Kata Kunci: Nanopartikel, seng oksida, surfaktan, antibakteri, *Escherichia coli*

ABSTRACT

Nanoparticles zinc oxide were synthesized by precipitation method through reaction between zinc nitrate and sodium hydroxide. The uses of various surfactants (cationic, nonionic and anionic) as a stabilizer for stabilizing colloidal of nanoparticles. Particles were characterized using X-ray Diffraction (X-RD), Ultraviolet-visible Spectroscopy and Scanning Electron Microscope (SEM). Antibacterial activity of nanoparticles against Escherichia coli and Bacillus cereus were measured using agar diffusion test method. XRD and SEM characterization showed that the results are zinc oxide particles with dimensions range in 75-125 nm. The use of 5% cationic and nonionic surfactant impacted the evenness of particle size distribution. Nanoparticles exhibited greater inhibition ability against Bacillus cereus in comparison with Escherichia coli. Then, nanoparticles were applied into cotton fabric using pad-dry-cure technique. Percentage of reduction of bacteria were analyzed after several wash cycle of textiles to find out the effectivity of nanoparticles application. The results of SEM image of cotton fabrics verified that the fabric contains zinc oxide nanoparticles. Increase in amount of binding agent enhance the antibacterial effectivity.

Keywords: Nanoparticles, zinc oxide, surfactant, antibacterial, *Escherichia coli*

PENDAHULUAN

Aplikasi nanoteknologi pada bidang tekstil bertujuan untuk meningkatkan performa produk tekstil. Sifat-sifat khusus seperti antistatik, *self cleaning*, anti bakteri, anti ultraviolet dan lain sebagainya dapat dihasilkan melalui nanoteknologi.¹ Nanopartikel seng oksida banyak dikembangkan karena sifat-sifat uniknya seperti fotokatalitik,² elektrik,³ optik,⁴ dan antibakteri.⁵ Sifat-sifat tersebut

dimiliki karena seng oksida merupakan material semi konduktor dengan celah pita lebar, yaitu 3.37 eV dan energi eksitasi sebesar 60 meV dan oleh karenanya seng oksida memperlihatkan aktivitas fotokatalitik yang sangat baik.^{6,7} Selain itu seng oksida memiliki efek piezo-elektrik, *bio-safe*, biokompatibel dan dapat digunakan untuk aplikasi biomedis tanpa proses pelapisan terlebih dahulu.⁸ Nanopartikel seng oksida diperoleh melalui sintesis dengan proses sol-

gel, presipitasi/pengendapan, *mechanical milling*, sintesis organometalik, metode gelombang mikro, spray pirolisis, hidrotermal dan sintesis mekanokimia. Luas permukaan yang besar dan energi permukaan yang tinggi menyebabkan nanopartikel seng oksida cenderung untuk beragregasi. Salah satu cara meningkatkan kelarutan nanopartikel diantaranya adalah dengan menggunakan stabilisator. Lin Guo melakukan modifikasi permukaan dengan menggunakan polivinilpirolidon sebagai *capping molecules* untuk mendapatkan nanopartikel seng oksida dengan monodispersitas tinggi.⁹ Nemeth, dkk menggunakan mineral clay sebagai stabilisator pada proses sintesis nanopartikel seng oksida dengan prekursor seng sikloheksanabutarat pada media dimetil sulfoksida dengan metode hidrolisa alkali.¹⁰ Berdasarkan beberapa teknik pengukuran dilaporkan keberadaan mineral clay memiliki pengaruh terhadap kestabilan ukuran nanokristal seng oksida.¹⁰ Sintesis nanopartikel seng oksida dengan metode presipitasi yang dilakukan A Yadav, dkk¹¹ menggunakan *soluble starch* sebagai stabilisator. Pada penelitian ini untuk meningkatkan kelarutan nanopartikel seng oksida hasil sintesis digunakan surfaktan sebagai stabilisator yang diharapkan dapat mengurangi terjadinya aglomerasi antar partikel seng oksida.

Aplikasi seng oksida diantaranya adalah untuk memperoleh sifat antibakteri pada tekstil. Seng oksida dapat membunuh bakteri dengan memanfaatkan sifat fotokatalitiknya. Ketika lapisan semi-konduktor partikel seng oksida disinari oleh sinar dengan energi yang lebih besar dari celah pita, maka elektron-elektron dari seng oksida akan berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, dan pasangan-pasangan elektron (e) dan lubang elektron (h⁺) akan terbentuk pada permukaan dari fotokatalis. Elektron-elektron negatif dan oksigen akan menyatu untuk membentuk ion-ion radikal O₂, sebaliknya muatan-muatan positif dan air akan membangkitkan radikal-radikal hidroksil OH. Atom-atom oksigen tersebut adalah oksidator yang sangat kuat yang dapat memutuskan ikatan dari senyawa-senyawa karbon melalui reaksi oksidasi-reduksi. Pada reaksi tersebut senyawa-senyawa organik semisal mikroorganisme, kotoran dan polutan akan menyatu dengan radikal O₂ dan OH dan berubah menjadi karbondioksida dan air. Pada hal ini partikel seng oksida bertindak sebagai katalis sehingga penggunaannya tidak akan habis. Dengan sifat fotokatalitik tersebut, aplikasi seng oksida pada tekstil diharapkan mampu melindungi, mengurangi atau mencegah penggunaannya dari ancaman infeksi bakteri dengan jalan menghambat kemampuan sintesis bahkan membunuh bakteri. Tekstil antibakteri utamanya diperlukan institusi medis untuk pelapis tempat tidur, seprai, sarung bantal, tirai rumah sakit, jas paramedis, topi, apron, pakaian pelapis, pembalut, masker, pakaian pelindung, penyaring udara dan lain sebagainya. Kebutuhan akan tekstil antibakteri kini semakin meningkat

dengan semakin bertambahnya jenis bakteri yang resisten terhadap antibiotika.⁵

Aplikasi nanopartikel pada tekstil dapat dilakukan dengan metode perendaman, rendam-peras-pemanasawetan kering, pelapisan, penyemprotan dan teknik busa. Untuk meningkatkan ketahanan (*durability*) kain hasil penyempurnaan, beberapa metode seperti insolubilisasi zat-zat aktif antibakteri di dalam atau pada serat; proses perlakuan dengan resin, kondensat-kondensat atau zat pengikat silang pada serat; mikroenkapsulasi zat-zat antibakteri dengan matriks serat; pelapisan permukaan serat; modifikasi kimiawi serat dengan pembentukan ikatan kovalen; dan *grafting* (cangkok) polimer-polimer, homopolimer dan/atau kopolimerisasi serat dapat dilakukan.¹²

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan surfaktan sebagai stabilisator nanopartikel seng oksida, sejauhmana aktivitas antibakteri nanopartikel hasil sintesis tersebut serta durabilitynya pada tekstil setelah dilakukan pencucian berulang.

METODE PENELITIAN

Sintesis nanopartikel seng oksida

Pereaksi yang digunakan pada proses sintesis nanopartikel seng oksida adalah grade pereaksi analitis tanpa pemurnian ulang. Sintesis larutan koloid nanopartikel dilakukan dengan cara presipitasi¹¹, dengan variasi jenis surfaktan sebagai stabilisator (anionik, kationik dan nonionik). Nanopartikel seng oksida dibuat dengan mereaksikan 0,05 M Zn(NO₃)₂·6H₂O dan 0,1 M NaOH serta penambahan surfaktan sebesar 0,5%. Larutan NaOH ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan Zn(NO₃)₂ yang sebelumnya telah diberi surfaktan. Larutan diaduk di atas *magnetic stirrer* dengan kecepatan 700 rpm pada suhu kamar. Kecepatan penambahan larutan NaOH ke dalam larutan prekursor Zn adalah 2 mL/menit. Proses pengadukan dilanjutkan kembali selama 2 jam setelah larutan NaOH habis. Larutan didekantasi selama satu malam. Endapan dicuci dengan air distilasi dan didekantasi secara berulang dan terakhir dicuci dengan etanol. Endapan seng oksida disaring menggunakan pompa vakum dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama satu malam sebelum dilakukan proses pemanasan selama 4 jam dalam tungku pada suhu 450°C.

Karakterisasi

Karakterisasi partikel seng oksida dilakukan menggunakan XRD untuk mengetahui jenis partikel hasil sintesis, *Uv-vis spectroscopy* untuk mengetahui serapan panjang gelombang dan SEM untuk mengamati morfologi partikel. Karakterisasi aktivitas antibakteri partikel seng oksida terhadap bakteri gram negatif dan gram positif dilakukan dengan metode *agar diffusion test*.

Aplikasi nanopartikel

Nanopartikel seng oksida diaplikasikan pada kain kapas dengan metode rendam-peras dan tehnik fiksasi pemanasawetan kering. Kain tekstil direndam pada larutan yang mengandung seng oksida (2%-5% b/v) dan polimer pengikat selama 2 menit. Kain dilewatkan pada rol-rol pemeras dan dikeringkan selama 5 menit pada suhu 80°C kemudian diproses fiksasi menggunakan udara panas selama 1-3 menit pada suhu 140°C-160°C. Proses penyabunan dilakukan untuk menghilangkan sisa nanopartikel bebas. Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui apakah kain hasil proses mengandung seng oksida. Tekstil antibakteri diharuskan memenuhi uji kualifikasi dan uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri gram negatif dan bakteri gram positif yang dinyatakan dengan angka persentase reduksi bakteri. Untuk mengetahui *durability* hasil proses penyempurnaan antibakteri, dilakukan pula uji aktivitas antibakteri pada tekstil setelah proses pencucian berulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi antara Zn^{2+} dengan NaOH pada proses sintesis dengan metode presipitasi menghasilkan endapan $Zn(OH)_2$ yang setelah proses dekantasi serta pemanasan pada suhu 450°C selama 4 jam berubah menjadi endapan putih seng oksida seperti yang terlihat pada Gambar 1. Hasil karakterisasi endapan putih partikel menggunakan instrumen XRD pada Gambar 2 menunjukkan pola difraksi yang sama dengan pola difraksi partikel bulk seng oksida, yang berarti partikel hasil sintesis adalah benar seng oksida. Pola difraksi sinar-X nanopartikel seng oksida hasil sintesis (Gambar 2a dan 2b) memperlihatkan bahwa semua puncak yang timbul persis dengan karakteristik puncak dari struktur seng oksida yang berbentuk heksagonal *wurtzite* (*space group* $P6_3mc$) sesuai dengan *card data* [00-036-1451] (Gambar 2c). Tidak terlihatnya puncak-puncak *impurities* pada gambar menunjukkan bahwa partikel hasil sintesis yang dikarakterisasi adalah partikel seng oksida dengan kemurnian tinggi.

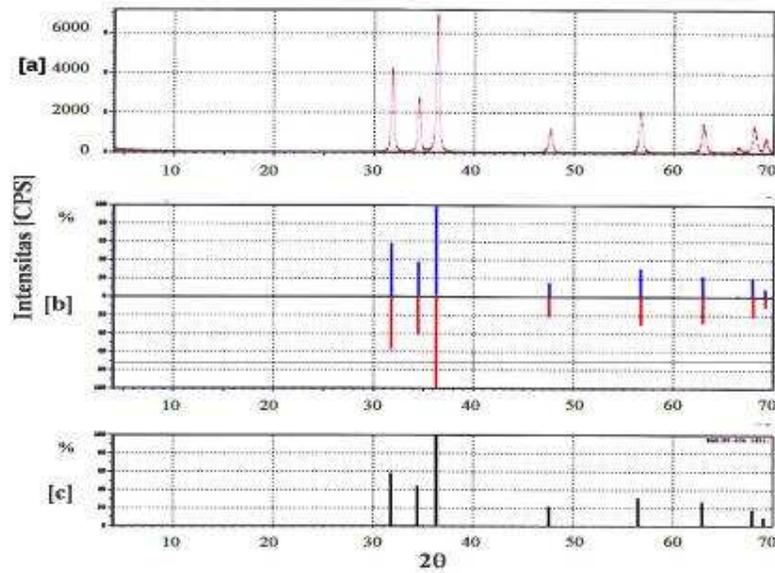


Gambar 1. Nanopartikel hasil sintesis metoda presipitasi

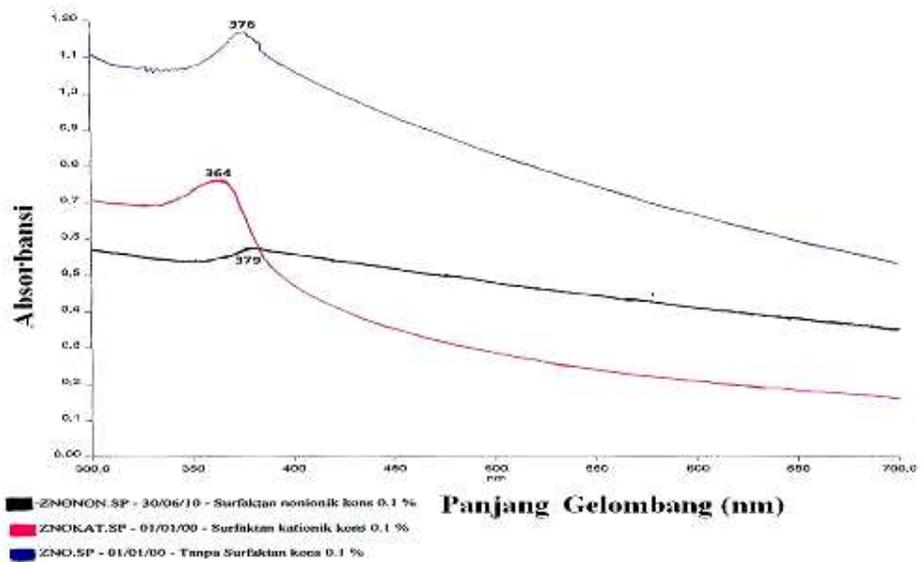
Berdasarkan pengamatan visual selama proses dekantasi, endapan $Zn(OH)_2$ hasil sintesis tanpa stabilisator mengendap lebih cepat dibandingkan endapan $Zn(OH)_2$ dengan stabilisator surfaktan. Pengendapan paling lambat terjadi pada endapan $Zn(OH)_2$ dengan penambahan surfaktan nonionik. Pada pengukuran pita serapan panjang gelombang 0,1% larutan koloid seng oksida dengan instrumen *Uv-vis spectroscopy* seperti yang tertera pada Gambar 3, tampak bahwa larutan koloid nanopartikel seng oksida tanpa stabilisator; larutan nanopartikel dengan stabilisator surfaktan kationik dan nonionik masing-masing memberikan serapan pada panjang gelombang 376 nm, 364 nm dan 379 nm yang merupakan daerah spektrum ultraviolet. Sebagaimana yang telah diketahui seng oksida adalah zat penyerap sinar ultraviolet. Ultraviolet adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang lebih pendek daripada panjang gelombang sinar tampak namun lebih panjang dari sinar X, yaitu pada kisaran 10 nm – 400 nm. Larutan koloid nanopartikel seng oksida dengan stabilisator surfaktan anionik tidak memberikan serapan pada daerah panjang gelombang sinar tampak, dikarenakan sistem koloidnya tidak stabil atau dengan kata lain lebih cepat mengendap.

Analisa morfologi nanopartikel dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) merek JEOL dengan tegangan akselerasi 10 kV dan perbesaran 10.000x – 20.000x [Gambar 4]. Foto SEM nanopartikel seng oksida hasil sintesis tanpa stabilisator [Gambar 4a] memperlihatkan sebagian besar partikel berukuran skala mikrometer. Demikian pula halnya dengan kisaran ukuran nanopartikel seng oksida hasil sintesis dengan stabilisator surfaktan anionik 0,5% yang tidak dalam ukuran submikron [Gambar 4b]. Lain halnya dengan nanopartikel seng oksida hasil sintesis baik dengan stabilisator surfaktan nonionik [Gambar 4c] maupun surfaktan kationik [Gambar 4d], hasil foto SEM memperlihatkan ukuran partikel berada dalam skala nanometer. Keberadaan surfaktan kationik dan nonionik membantu dalam mengurangi terjadinya agregasi dan aglomerasi antar partikel nano seng oksida sehingga ukuran partikel yang diperoleh pada sintesis dengan stabilisator surfaktan kationik dan nonionik lebih kecil (75 nm – 88 nm) dibandingkan dengan nanopartikel seng oksida tanpa stabilisator dan dengan stabilisator surfaktan anionik.

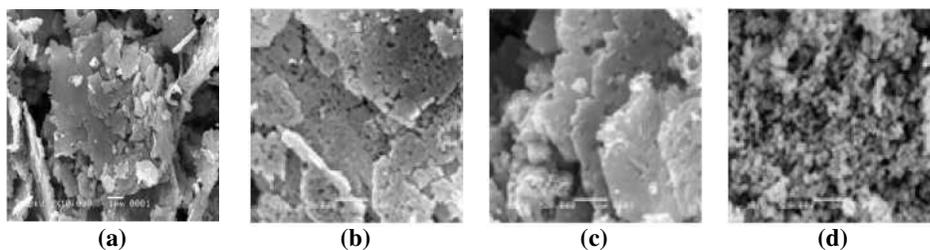
Beberapa literatur menyatakan bahwa mekanisme antibakteri dari metal oksida seperti seng oksida berhubungan dengan sifat fotokatalitik yang dimilikinya. Radikal oksigen yang dihasilkan melalui proses fotokatalitik menyebabkan efek penghambatan pada pertumbuhan bakteri sehingga menyebabkan perubahan struktur membran sel dan pada level tertentu dapat menyebabkan bakteri tersebut mati. Pengujian aktivitas antibakteri larutan koloid nanopartikel seng oksida hasil sintesis dilakukan sesuai metode standar AATCC 147-2004, hanya saja menggunakan bakteri gram positif jenis *Bacillus cereus*.



Gambar 2. Pola difraksi X-ray [a] Raw data nanopartikel hasil sintesis, [b] Peak data nanopartikel seng oksida hasil sintesis dan [c] Card data partikel bulk seng oksida



Gambar 3. Pita serapan panjang gelombang larutan koloid seng oksida pada spektrum sinar tampak



Gambar 4. Foto morfologi melalui Scanning Electron Microscope (SEM) nanopartikel seng oksida hasil sintesis [a] Tanpa stabilisator [b] Stabilisator surfaktan nonionik [c] Stabilisator surfaktan anionik [d] Stabilisator surfaktan kationik

Pengujian bersifat kualitatif ini dilakukan dengan cara mengevaluasi lebar zona bening yang terjadi pada media kedua jenis bakteri setelah adanya kontak permukaan dengan cakram kertas yang sebelumnya dibasahi larutan koloid nanopartikel seng oksida sebanyak 5%.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa larutan koloid nanopartikel seng oksida memperlihatkan aktivitas inhibisi terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus cereus* dengan terbentuknya zona bening pada media agar yang mengandung kedua bakteri tersebut. Seluruh contoh uji, baik larutan koloid nanopartikel seng oksida hasil sintesis tanpa maupun dengan stabilisator memperlihatkan aktivitas antibakteri. Ukuran zona bening yang terbentuk menunjukkan kekuatan daya hambat contoh uji tersebut. Semakin lebar zona bening yang terjadi menunjukkan semakin kuat daya hambat senyawa tersebut terhadap pertumbuhan bakteri. Lebar zona bening yang terbentuk ditampilkan pada Tabel 1.

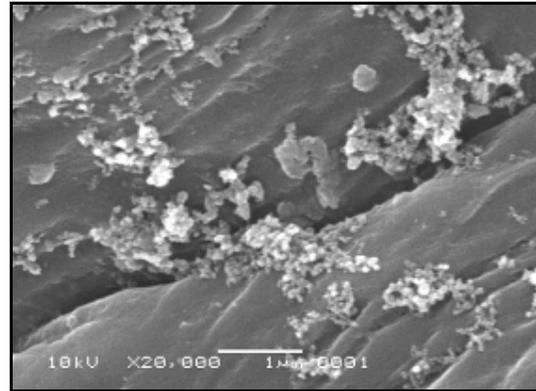
Tabel 1. Lebar zona bening yang ditimbulkan senyawa uji (nanopartikel seng oksida) terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus cereus*

No	Contoh uji larutan koloid Seng oksida hasil sintesis	Diameter Zona Bening rata-rata (mm)	
		<i>Escherichia coli</i>	<i>Bacillus cereus</i>
1	Tanpa stabilisator	19	21,5
2	Stabilisator surfaktan anionik	18	18,5
3	Stabilisator surfaktan kationik	23	27
4	Stabilisator surfaktan nonionik	21,5	27

Tabel 1 menunjukkan nanopartikel seng oksida dengan aktivitas antibakteri paling kuat adalah seng oksida hasil sintesis dengan stabilisator surfaktan kationik dan nonionik, hal ini dimungkinkan karena partikel seng oksida tersebut memiliki distribusi ukuran yang relatif baik dan seragam sebagaimana yang ditunjukkan pada hasil analisa morfologi dengan SEM. Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa kemampuan partikel seng oksida dalam menghambat pertumbuhan bakteri gram positif *Bacillus cereus* lebih kuat dibanding daya hambatnya terhadap bakteri gram negatif *Escherichia coli*, hal ini terlihat dari perbedaan lebar zona bening yang dihasilkan.

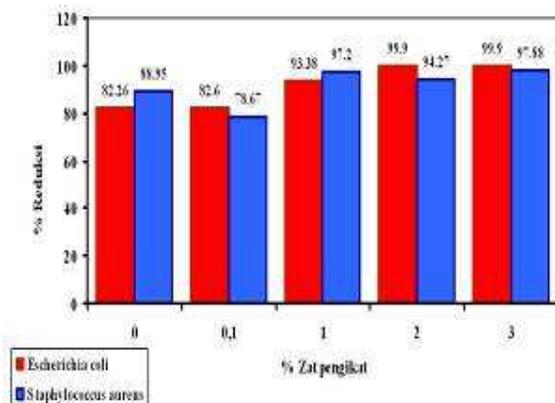
Sebagai langkah aplikasi, partikel seng oksida hasil sintesis dilapiskan pada contoh kain dari serat kapas dengan teknik rendam (larutan campuran seng oksida 0,1% hasil sintesis dan binder poliakrilat dengan variasi 0,1 – 5% selama 2 menit) peras (*wet pick up* 70%) pemanasawetan kering (dikeringkan pada suhu 80°C selama 5 menit dan dipanasawetkan (*curing*) pada suhu 140°C selama 3 menit). Kain kemudian dianalisis morfologinya menggunakan SEM untuk mengetahui keberadaan partikel seng oksida dalam kain tersebut. Pada Gambar 5 terlihat

nanopartikel seng oksida menempel pada kain meski tidak dapat dikatakan memiliki sebaran atau kerataan partikel yang seragam. Penggunaan binder poliakrilat sebagai zat pengikat/*capping molecules* membantu dalam pelekatan nanopartikel pada kain. Meskipun demikian pelekatan nanopartikel pada kain tidak bersifat permanen karena tidak adanya reaksi kimia yang terjadi antara binder poliakrilat dan kain kapas.



Gambar 5. Foto morfologi kain yang telah diberi aplikasi nanopartikel seng oksida hasil sintesis melalui Scanning Electron Microscope (SEM)

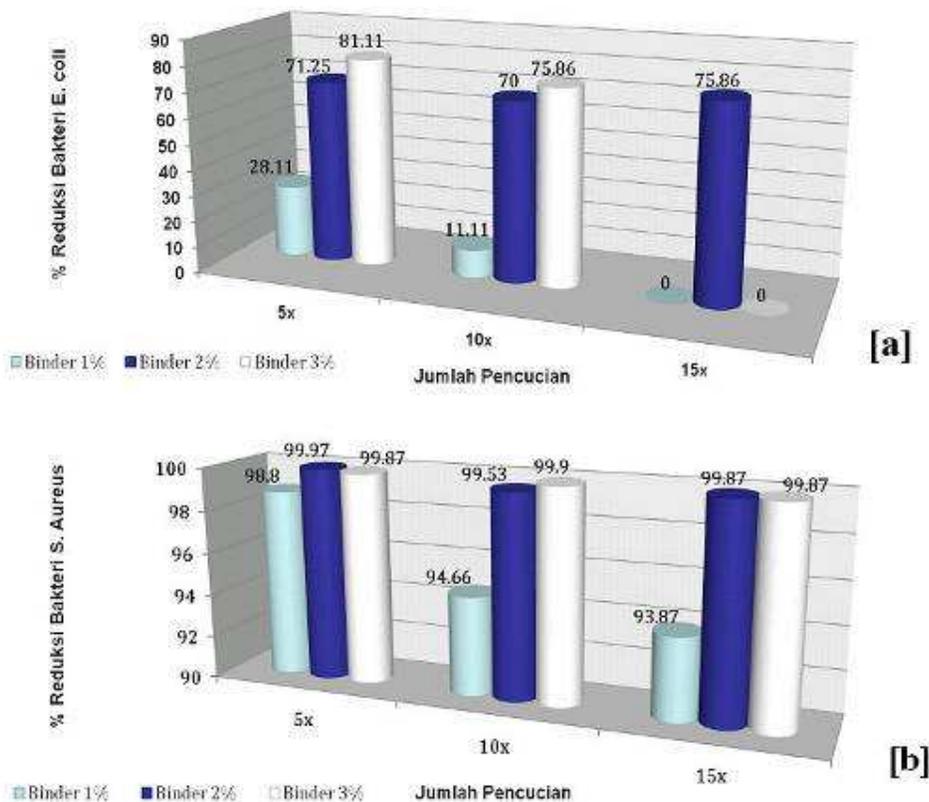
Berdasarkan diagram pada Gambar 6 tinggi konsentrasi binder akrilat yang digunakan pada proses aplikasi berdampak pada peningkatan persentase reduksi perkembangan kedua bakteri tersebut, hal ini dikarenakan jumlah nanopartikel seng oksida yang menempel pada permukaan kain semakin banyak sehingga efektivitas antibakterinya semakin meningkat. Penggunaan jumlah binder sebesar 0,1% hingga 1% memperlihatkan trend persentase reduksi bakteri yang semakin meningkat hingga 93% untuk bakteri *Escherichia coli* dan 97% untuk bakteri *Staphylococcus aureus*. Pada penambahan jumlah berikutnya, peningkatan efektivitas antibakteri yang diperlihatkan tidak terlalu besar.



Gambar 6. Pengaruh konsentrasi zat pengikat terhadap persentase reduksi bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*

Pada Gambar 7 ditampilkan mengenai pengaruh jumlah pencucian tekstil terhadap aktivitas antibakteri pada *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Penggunaan binder akrilat sebesar 1% dan pencucian hingga 15 kali memperlihatkan efektivitas antibakteri yang menurun terhadap *Escherichia coli*, hal ini disebabkan oleh jumlah binder yang belum cukup kuat untuk mengikat partikel seng oksida pada kain. Lain halnya dengan aktivitas antibakteri yang

NaOH merupakan metode yang cukup sederhana dan mudah dilakukan. Dari hasil percobaan mereaksikan $Zn(NO_3)_2$ 0,05 M dengan NaOH 0,1 M diperoleh partikel seng oksida dengan ukuran 75 nm-125 nm. Penggunaan 0,5% surfaktan kationik atau nonionik dalam sintesis partikel seng oksida menghasilkan partikel dengan distribusi ukuran yang relatif lebih rata. Larutan koloid partikel seng oksida hasil sintesis memperlihatkan kemampuan dalam



Gambar 7. Pengaruh jumlah pencucian tekstil terhadap aktivitas antibakteri nanopartikel seng oksida [a] *Escherichia coli*, [b] *Staphylococcus aureus*

diperlihatkan terhadap *Staphylococcus aureus*, dimana dengan binder akrilat 1% efektivitas antibakteri cukup tinggi hingga lebih dari 90%.

Keadaan ini sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa bakteri gram negatif *Escherichia coli* lebih tahan terhadap sifat antibakteri seng oksida dibanding dengan bakteri gram positif *Staphylococcus aureus*. Peningkatan jumlah penggunaan binder akrilat sebesar 2%-3% menambah efektivitas antibakteri baik terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* masing sebesar 70% lebih dan 90% lebih, tampaknya peningkatan penggunaan jumlah binder dapat meningkatkan kekuatan partikel seng oksida melekat pada kain.

KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel seng oksida dengan metode presipitasi hasil reaksi antara Zn^{2+} dengan

menghambat pertumbuhan bakteri *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli*. Kemampuan daya hambat partikel seng oksida terhadap bakteri gram positif *Bacillus cereus* lebih besar dibandingkan dengan daya hambatnya terhadap bakteri gram negatif *Escherichia coli*. Dari pengamatan menggunakan SEM, contoh uji kain kapas yang telah diproses dengan larutan koloid seng oksida hasil sintesis terbukti mengandung nanopartikel seng oksida. Peningkatan jumlah binder akrilat yang digunakan dapat meningkatkan efektivitas antibakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Siegfried, B. 2007. NanoTextiles: Functions, nanoparticles and commercial applications. Semester Thesis in the frame of the "Nanosafe-Textiles project TVS Textilverband Schweiz and Empa. Empa St. Gallen.

- ² Hong, R.Y. et.al. 2008. Synthesis, Surface Modification and Photocatalytic Property of ZnO Nanoparticles. *Powder Technology*, Elsevier.
- ³ Fan, Zhiyong. et.al. 2005. Zinc Oxide Nanostructures: Synthesis and Properties. *University of California*. Amerika Serikat.
- ⁴ Gumu, C. et.al. 2006. Structural and optical properties of zinc oxide thin films prepared by spray pyrolysis method. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. Vol. 8, No. 1, p. 299 – 303.
- ⁵ Rajendran, R. et.al. 2010. Use of Zinc Oxide Nanoparticles for Production of Antimicrobial Textiles. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. Vol. 2, No. 1, pp. 202-208.
- ⁶ Zhong, J.B. et.al. 2011. Fabrication and photocatalytic activity of ZnO prepared by different precipitants using parallel flow precipitation method. *Materials Letters*. Elsevier.
- ⁷ Donkova, B. et.al. 2010. Catalytic and Photocatalytic Activity of Lightly Doped Catalysts M:ZnO (M=Cu, Mn). *Materials, Chemistry and Physics*. Elsevier.
- ⁸ Gupta, A. et.al. 2006. Nano and Bulk Crystals of ZnO: Synthesis and Characterization. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. Vol. 1 No. 1.
- ⁹ Guo, L. et.al. 2000. Highly Monodisperse Polymer-capped ZnO Nanoparticles: Preparation and Optical Properties. *Applied Physics Letter*.
- ¹⁰ Nemeth, J. 2004. Synthesis of ZnO Nanoparticles on a Clay Mineral Surface in Dimethyl Sulfoxide Medium. *Langmuir*.
- ¹¹ Yadav, A. et.al. 2006. Functional Finishing in Cotton Fabrics Using Zinc Oxide Nanoparticles. *Bulletin Mater. Sci Vol 29, Indian Academy of Sciences*. Mumbai, India.
- ¹² Ramachandran, T., et.al. 2004. Antimicrobial Textiles – an Overview, *IE (I) Journal – TX*. Vol. 84.
-