

KAJIAN TENTANG KAIN POLIESTER ANTIBAKTERI DAN ANTIKOTOR

STUDY OF ANTIBACTERIAL AND SELF-CLEANING POLYESTER FABRIC

Eli Rohaeti

Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

E-mail: eli_rohaeti@uny.ac.id

Abstrak

Tulisan ini mengkaji tentang karakteristik kain poliester, preparasi nanopartikel perak, pengaruh penambahan nanopartikel perak dan senyawa silan terhadap sifat antibakteri dan antikotor kain poliester, serta perbedaan sifat antibakteri dan antikotor dari kain poliester tanpa dan dengan penambahan nanopartikel perak dan senyawa silan. Secara alami poliester memiliki sifat hidrofob sehingga sering digunakan sebagai bahan pakaian olah raga, pakaian dalam, sprei, dan pakaian medis. Namun demikian kain poliester sebagai media yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme. Nanopartikel perak dapat mengisi kesenjangan dalam intramolekuler rantai kain sehingga memungkinkan terbentuknya ikatan kimia antara rantai polimer dan nanopartikel perak. Kain poliester dengan penambahan nanopartikel perak memiliki sifat antibakteri lebih baik dibandingkan dengan kain poliester murni. Modifikasi serat poliester dengan senyawa silan menyebabkan peningkatan hidrofobisitas atau antikotor serat poliester dan menurunkan aktivitas antibakteri serat poliester terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 dan *Escherichia coli* ATCC 35218.

Kata kunci: antibakteri, kain poliester, nanopartikel perak

Abstract

*This paper studied the characteristics of polyester fabrics, preparation of silver nanoparticles, the effect of the addition of silver nanoparticles and silane compound on the antibacterial and hydrophobicity properties of polyester fabrics, as well as differences in the antibacterial and hydrophobicity properties of polyester fabrics without and with the addition of silver nanoparticles and silane compound. Naturally, polyester has hydrophobic properties so often used as materials of sports clothing, underwear, bed sheets, and medical clothing. However, polyester fabrics is a good medium for the growth of microorganisms. Silver nanoparticles can fill the gaps in intramolecular fabric chains thus allowing the formation of chemical bonds between the polymer chains and the silver nanoparticles. The polyester fabric with the addition of silver nanoparticles has better antibacterial properties compared to pure polyester fabrics. Modified polyester fibers with silane compounds increased hydrophobicity polyester fibers and decreased the antibacterial activity of polyester fibers against *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 and *Escherichia coli* ATCC 35218.*

PENDAHULUAN

Tingkat pencemaran lingkungan di negara kita khususnya disebabkan oleh polusi udara semakin hari menunjukkan peningkatan yang signifikan. Polusi udara menyebabkan temperatur udara di lingkungan menjadi semakin panas. Udara panas membuat tubuh berkeringat dan akan menjadi media yang baik bagi pertumbuhan bakteri. Hal tersebut

menyebabkan munculnya berbagai penyakit pada tubuh manusia. Penularan bakteri dapat melalui pakaian maupun peralatan media yang terkontaminasi. Adapun beberapa penyakit yang disebabkan bakteri antara lain penyakit kulit (*folikulitis* dan *Staphylococcal scalded skin syndrome*/sindrom kulit terbakar), *impetigo*, *Staphylococcal toxic shock syndrome*, *bacteremia*,

endocarditis, dan *pneumonia*. Banyaknya strain *Staphylococcus aureus* resisten obat antimikrobal merupakan suatu permasalahan medis yang kini menjadi sorotan, karena strain ini resistan terhadap senyawa antibiotik (Bauman, 2009: 554-555). Bakteri *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri anaerob yang toleran terhadap kondisi permukaan kulit manusia dan dapat menyebabkan beberapa jenis penyakit kulit seperti impetigo.

Keadaan tersebut dapat diatasi dengan memberikan perlindungan pada tubuh manusia dari bakteri secara efektif menggunakan pakaian yang cocok dengan karakteristik antibakteri dan antimikroba lainnya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat antibakteri bahan tekstil adalah melakukan modifikasi-modifikasi pada tekstil.

Berbagai bahan dasar penutup luka, baju pelindung dokter, pasien dan para medis serta dalam bidang militer digunakan bahan tekstil dengan sifat antibakteri (El-Khatib, 2012). Namun, hingga saat ini bahan tekstil antibakteri masih jarang ditemui di pasaran. Kebutuhan akan produk tekstil antibakteri masih bergantung pada produk luar negeri dengan harga mahal. Sedikitnya produsen tekstil dengan sifat antibakteri di Indonesia menyebabkan meningkatnya kebutuhan impor bahan tekstil jenis tersebut.

Teknologi nanopartikel dapat diaplikasikan dalam industri tekstil untuk memodifikasi berbagai serat tekstil agar memiliki sifat antibakteri. Nanopartikel perak merupakan salah satu nanostruktur yang sudah terbukti menunjukkan aktivitas antibakteri efektif (Haryono dan Harmami, 2010). Nanopartikel perak terbukti menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*,

Staphylococcus aureus (Ariyanta, Wahyuni, dan Priatmoko, 2014), dan *Pseudomonas aeruginosa* (Guzman, Dille, and Godet, 2012).

Beberapa literatur mengungkapkan bahwa sifat antibakteri dari tekstil dapat dikembangkan dengan cara pelapisan nanopartikel perak pada bahan tekstil, misalnya pada katun (Rohaeti & Rakhmawati, 2017; Shateri-Khalilabad & Yazdanshenas, 2013), sutera (Zhang *et al.*, 2014), wol (Boroumand *et al.*, 2015) dan poliester (Rohaeti and Rakhmawati, 2017; Kavitha & Dasan, 2013). Aktivitas antibakteri ini dipengaruhi oleh ukuran partikel perak. Semakin kecil ukuran nanopartikel maka aktivitasnya semakin meningkat. Ukuran optimal nanopartikel perak adalah yang berukuran kecil dengan distribusi sangat sempit (Crespo *et al.*, 2012). Selain itu, pada konsentrasi rendah nanopartikel perak ini aman digunakan pada tubuh manusia karena nanopartikel perak ini non-toksik untuk manusia (Rai, Yadav, & Gade, 2009).

Preparasi nanopartikel perak dapat dilakukan dengan berbagai macam metode di antaranya: *sputtering* (Jiang, Qin, & Zhang, 2010), reduksi menggunakan reduktor organik (Ahmad dkk., 2011), reduksi menggunakan jamur (Duran & Marcato, 2007), dan reduksi menggunakan natrium sitrat (Ariyanta, Wahyuni, & Priatmoko, 2014).

Selain bahan tekstil antibakteri, tekstil dengan sifat antikotor atau *self-cleaning textile* sudah mulai dikembangkan dengan cara modifikasi bahan tekstil menggunakan senyawa silan. Pelapisan bahan serat oleh senyawa silan dengan energi permukaan yang rendah terbukti dapat meningkatkan hidrofobisitas serat (Khalil-Abad dan Yazdanshenas, 2010; Xue *et al.*, 2012).

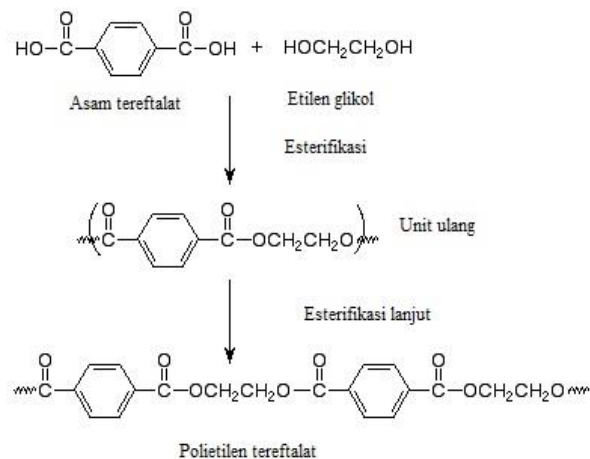
Pelapisan ini terinspirasi dari sifat permukaan daun tanaman *Nelumbo nucifera* atau yang sering disebut teratai yang bersifat hidrofob.

Beberapa jenis senyawa berbasis silan telah dipakai untuk memodifikasi tekstil seperti γ -methacryloxypropyl trimethoxy silane (MAPS) dan heksametildisilazen (HMDS) (Gao *et al.*, 2016); perfluorooctylated quaternary ammonium silane coupling agent (PFSC) (Yu *et al.*, 2007); polimetilhidrosilosan (PMHS) dan Tetraethoxysilane (TEOS) (Guo *et al.*, 2015); serta Heksadesiltrimetoksisilan (HDTMS) (Xue *et al.*, 2012). Tulisan ini preparasi nanopartikel perak dengan berbagai cara, mengkaji modifikasi serat poliester untuk meningkatkan sifat antibakteri dan antikotor (hidrofob) serat, serta deposit nanopartikel perak dan pelapisan senyawa berbasis silan untuk meningkatkan sifat antibakteri dan antikotor serat poliester.

PEMBAHASAN

Karakteristik Serat Poliester

Poliester memiliki koefisien elastisitas yang tinggi serta stabilitas dimensi baik, sehingga bahan ini sering dipakai sebagai bahan pakaian (Hartanto dan Watanabe, 1987). Poliester seperti polietilen tereftalat (PET) terbentuk dari reaksi antara etilen glikol dengan asam tereftalat atau etil ester seperti pada Gambar 1. Reaksi tersebut dilakukan pada suhu tinggi menggunakan *autoclave* selama 5-8 jam. Kemudian hasilnya didiamkan di dalam vakum untuk mendapatkan berat molekul tinggi sehingga membentuk serat dengan kualitas yang bagus (Purohit, Chawada, & Dholakiya, 2012).



Gambar 1. Polimerisasi Polietilen Tereftalat

Ketahanan dari serat poliester sangat bagus, sehingga poliester sering dicampur dengan serat alami lain yang bersifat mudah kusut (*less wrinkle-resistant*) untuk memproduksi serat jenis baru yang mudah dicuci dan mudah disetrika (*easy-care fabric*). Secara alami, serat poliester telah memiliki sifat hidrofob. Oleh karena itu, selain sebagai bahan pakaian jadi, serat poliester juga sering digunakan sebagai bahan pakaian olah raga, pakaian dalam, dan seperai (Hassan *et al.*, 2012).

Poliester memiliki massa jenis berkisar antara 1,22 sampai 1,38 bergantung dari jenis poliester. Tingkat kelembaban dari serat ini cukup rendah berkisar antara 0,2-0,8 % sehingga serat ini memiliki daya serap terhadap cairan yang rendah. Namun, serat ini memiliki kemampuan membawa uap air ke permukaan serat tanpa adanya absorpsi. Kemampuan tersebut disebut *wicking ability*. Dimensi poliester yang telah diberi perlakuan *heat-setting* di bawah suhu termosetnya sangat stabil. Poliester yang belum diberi perlakuan apapun akan mengkerut bila dipanaskan pada suhu tinggi.

Titik leleh serat poliester berkisar antara 480-550°F. Serat poliester juga memiliki sifat *chemical resistance* seperti yang dipakai pada proses *dry-cleaning* atau bahan pemutih pakaian. Poliester tahan terhadap asam namun tidak tahan terhadap adanya basa kuat. Poliester juga tahan terhadap bakteri, jamur, dan ngengat. Serat poliester adalah material yang disintesis melalui reaksi antara etilen glikol dengan asam tereftalat atau etil ester. Secara alami, serat poliester telah memiliki sifat hidrofob, *wicking ability*, *less wrinkle-resistant*, *easy-care* (Tortora, 1982: 55-57).

Pembuatan dan Karakteristik Nanopartikel Perak

Nanoteknologi pada abad ke-21 menjadi suatu tren penelitian di kalangan peneliti dan industri sehingga banyak dihasilkan produk-produk berbasis nanomaterial dan nanoteknologi dalam berbagai bidang kehidupan. Industri tekstil telah menggunakan nanoteknologi sebagai metode modifikasi produk tekstil untuk meningkatkan kualitas produknya. Salah satu modifikasi pada serat kain adalah deposit nanopartikel untuk memunculkan sifat antibakterinya (Jiang, Yuen, & Kan, 2007; Rohaeti & Rakhmawati, 2017).

Nanopartikel merupakan suatu partikel dengan ukuran 1-100 nm. Salah satu nanopartikel yang banyak dan sering sekali diteliti dan memiliki nilai manfaat serta nilai ekonomis tinggi adalah nanopartikel perak. Nanopartikel perak memiliki sifat antibakteri dan katalitik serta memiliki potensi aplikasi yang luas seperti untuk tekstil (Rohaeti & Rakhmawati, 2017), kosmetik, biosensor, dan katalis (Ristian, Wahyuni, dan Supardi, 2014).

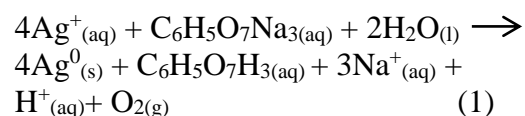
Nanopartikel perak dapat disintesis menggunakan berbagai macam metode, misalnya menggunakan senyawa pengompleks (Ghorashi & Kamali, 2011), metode *magnetron sputtering* (Jiang, Qin, & Zhang, 2010), metode reduksi (Zhang *et al.*, 2014; Rohaeti & Rakhmawati, 2017), metode elektrokimia (Stefan *et al.*, 2011), dan metode *green synthesis* (Wang *et al.*, 2015).

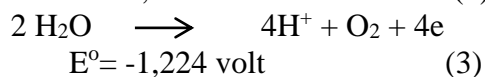
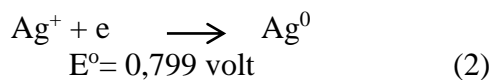
Tabel 1 menunjukkan puncak serapan pada spektrum UV-Vis koloid nanopartikel perak yang dipreparasi baik menggunakan reduktor senyawa kimia maupun reduktor mikroorganisme.

Tabel 1. Puncak Serapan Koloid Nanopartikel Perak

Jenis Reduktor	Panjang Gelombang (nm)	Warna Koloid	Referensi
Natrium sitrat	429	kuning	Rohaeti & Rakhmawati, 2017
Ekstrak Kulit Manggis	434	coklat tua	Rohaeti & Rakhmawati, 2017
<i>Bacillus methylotrophicus</i>	416	coklat	Wang <i>et al.</i> , 2015
<i>Novosphingobium sp.</i>	406	coklat	Du <i>et al.</i> , 2016
<i>Pseudomonas deceptionensis</i>	428	coklat	Jo <i>et al.</i> , 2015

Reaksi antara ion Ag^+ , H_2O , dan natrium sitrat pada reaksi secara kimia terjadi seperti reaksi (1) (Ariyanta, Wahyuni dan Priatmoko, 2014). Berdasarkan nilai potensial standarnya, reaksi (1) dapat dituliskan seperti reaksi (2) dan (3). Reaksi (2) dan (3) ini memiliki nilai potensial sel -0,445 volt. Nilai potensial sel yang negatif menunjukkan bahwa reaksi redoks ini tidak dapat terjadi secara spontan.





$$E^{\circ}_{\text{sel}} = E^{\circ}_{\text{reduksi}} + E^{\circ}_{\text{oksidasi}}$$
$$E^{\circ}_{\text{sel}} = 0,779 \text{ volt} + (-1,224) \text{ volt}$$
$$E^{\circ}_{\text{sel}} = -0,445 \text{ volt}$$

Meskipun reaksi (2) dan (3) ini memiliki nilai potensial sel negatif, reaksi reduksi Ag^+ menjadi Ag^0 tetap dapat berlangsung dengan adanya ion sitrat. Ion sitrat dan ion Ag^+ dapat membentuk kompleks $[\text{Ag}^+ \dots (\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)^-]$ atau $[\text{Ag}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_{n+1}]^{3n-}$. Kedua macam kompleks memiliki peran yang penting dalam reduksi dan pembentukan nanopartikel perak (Jiang, Qin, & Zhang, 2010). Ion sitrat akan mengkatalis reaksi ini sehingga reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 tetap dapat berlangsung walaupun secara lambat.

Modifikasi Serat Poliester dengan Nanopartikel Perak dan Senyawa Silan

Ketika serat poliester maupun hasil modifikasinya dengan penambahan nanopartikel perak dihidrofobisasi dengan senyawa silan berupa HDTMS, maka ikatan Si-O-Si terbentuk. Vibrasi Si-O-Si ulur muncul di sekitar $1060\text{-}1090 \text{ cm}^{-1}$. Vibrasi Si-C ulur juga akan muncul pada kisaran 787 cm^{-1} dengan intensitas cukup tinggi. Hidrokarbon dengan rantai panjang yang dimiliki oleh senyawa HDTMS juga akan menunjukkan vibrasi pada kisaran bilangan gelombang 2850 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi C-H simetris (Gao, Zhu, & Guo, 2009; Manatunga, de Silva, & de Silva, 2016: 777-788).

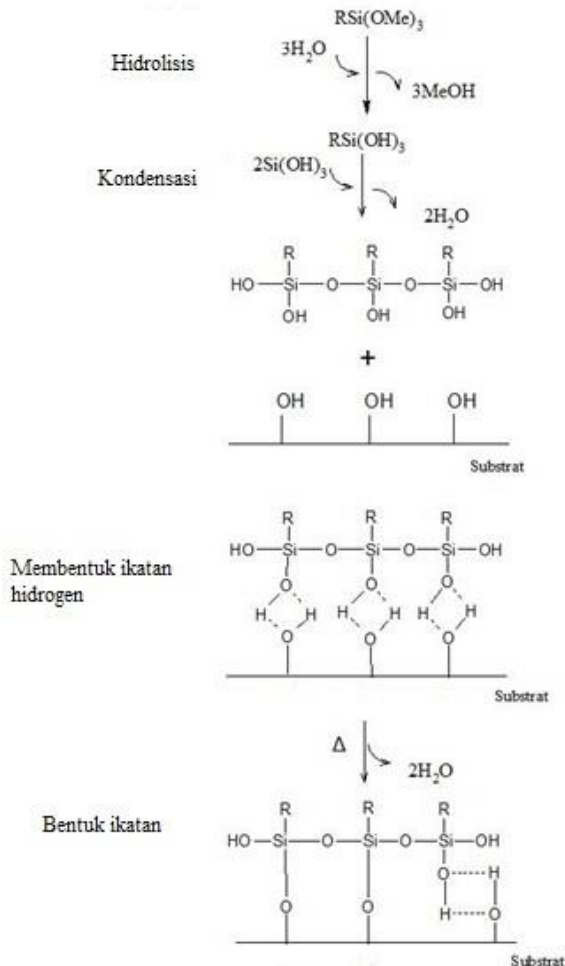
Spektra FTIR dari serat poliester dan serat poliester terdeposit nanopartikel perak setelah dilapisi dengan silan memperlihatkan pita vibrasi pada $3278,61 \text{ cm}^{-1}$, $1088,38 \text{ cm}^{-1}$, $2838,07 \text{ cm}^{-1}$, dan $813,18$

cm^{-1} yang berturut-turut menunjukkan vibrasi dari gugus -OH alkohol, gugus Si-O-Si ulur, C-H simetris, dan Si-C ulur. Adanya gugus -OH alkohol diperkuat dengan serapan karbonil pada $1710,13 \text{ cm}^{-1}$. Adapun vibrasi pada $3278,91 \text{ cm}^{-1}$, $1087,98 \text{ cm}^{-1}$, $2838,00 \text{ cm}^{-1}$, dan $813,14 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi dari gugus -OH alkohol, Si-O-Si ulur, C-H simetris, dan Si-C ulur. Sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Manatunga, de Silva, & de Silva (2016), spektrum IR poliester hasil modifikasi menunjukkan bahwa poliester telah terhidrofobisasi dengan senyawa HDTMS.

Senyawa HDTMS termasuk ke dalam senyawa organosilan. Kebanyakan dari senyawa organosilan memiliki satu substituen organik dan tiga substituen yang kurang stabil sehingga mudah dihidrolisis. Reaksi pelapisan permukaan kain dengan senyawa organosilan terbagi menjadi 4 tahap seperti pada Gambar 2. Reaksi hidrolisis yang terjadi pada ketiga substituen kurang stabil, kemudian terjadi reaksi kondensasi membentuk oligomer. Senyawa oligomer ini kemudian membentuk ikatan hidrogen dengan gugus OH yang terdapat pada ujung rantai poliester. Ketika pengeringan atau reaksi *curing* berlangsung, H_2O akan terlepas dan terbentuk ikatan kovalen antara senyawa oligomer dengan substrat (Arkles, 2006).

Tamimi dan Herdyastuti (2013) mengungkapkan bahwa penambahan senyawa seperti HDTMS pada polimer mengakibatkan penurunan intensitas pita serapan beberapa gugus fungsi yang ada pada poliester. Beberapa serapan gugus fungsi seperti serapan karbonil pada daerah sekitar 1700 cm^{-1} , dua serapan gugus C-O pada sekitar daerah 1700 dan 700 cm^{-1} . Penambahan senyawa pada permukaan

poliester mengakibatkan tertutupnya gugus fungsi yang terkandung sehingga menurunkan kemampuan gugus fungsi dalam mengabsorpsi maupun mengemisikan radiasi IR.



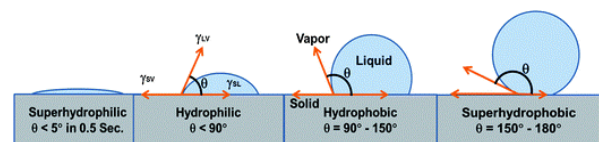
Gambar 2. Reaksi Pelapisan Senyawa Silan Pada Serat Poliester

Sifat Hidrofobitas Poliester Hasil Modifikasi

Interaksi antara permukaan suatu material dengan cairan dipengaruhi oleh berbagai hal seperti gaya van der Waals, interaksi dipol, ikatan hidrogen dan pertukaran proton. Suatu permukaan dikatakan antikotor atau hidrofobik apabila cairan yang ditetaskan di atas permukaan membentuk butiran air dengan sudut kontak cukup besar. Keadaan ini disebabkan gaya interaksi antar molekul air (kohesif) lebih besar dibandingkan gaya interaksi air

dengan permukaan (adhesif). Seperti pada Gambar 3, permukaan yang memiliki sudut kontak lebih dari 90° dapat dikatakan sebagai permukaan yang hidrofobik. Secara teori, sudut kontak maksimal untuk permukaan yang halus adalah 120° . Permukaan dengan *micro-texture* atau *micro-patterned* dengan sifat hidrofobik dapat memiliki sudut kontak hampir mencapai 150° dan sering disebut dengan permukaan *superhydrophobic* yang mirip dengan “*lotus effect*” (Arkles, 2006).

Pengukuran sudut kontak biasanya dilakukan menggunakan metode *sessile drop*. Tiap-tiap pengukuran sampel dilakukan dengan meneteskan sejumlah tertentu air ke permukaan serat poliester yang telah terdeposit nanopartikel perak dan HDTMS serta serat poliester murni sebagai pembanding. Kemudian tetesan yang telah berada pada permukaan serat difoto atau diambil video untuk menentukan sudut kontak pada kedua bagian tepi. Besarnya sudut kontak permukaan bahan terhadap tetesan air diukur menggunakan busur derajat. Rata-rata besar sudut kontak dihitung menggunakan persamaan (4) (Darmawan, Darsono, & Nuraeni, 2011). Suatu permukaan memiliki sifat anti air apabila memiliki tegangan permukaan kritis yang lebih kecil dibandingkan tegangan permukaan kritis air 72 dyne/cm (Wahyudi dan Rismayani, 2008).



Gambar 3. Sudut Kontak Permukaan

$$\text{Sudut kontak} = \frac{\text{sudut kontak kiri} + \text{sudut kontak kanan}}{2} \quad (4)$$

Besar sudut kontak yang terbentuk merupakan parameter penentuan hidrofobitas suatu materi. Permukaan yang memiliki sudut kontak lebih dari 90° dapat

dikatakan sebagai permukaan yang hidrofobik. Penentuan sudut kontak dilakukan menggunakan metode *sessile drop*.

Permukaan yang memiliki sudut kontak lebih dari 90° dapat dikatakan sebagai permukaan yang hidrofobik. Secara teori, sudut kontak maksimal untuk permukaan yang halus adalah 120° . Permukaan dengan *micro-texture* atau *micro-patterned* dengan sifat hidrofobik dapat memiliki sudut kontak hampir mencapai 150° dan sering disebut dengan permukaan *superhydrophobic* yang mirip dengan “*lotus effect*” (Arkles, 2006).

Sudut kontak poliester sebesar $105,5^\circ$, Poliester - Ag sebesar $96,5^\circ$, Poliester - HDTMS sebesar $114,5^\circ$, dan Poliester - Ag - HDTMS sebesar 109° (Rohaeti & Rakhmawati, 2017). Data tersebut menunjukkan bahwa permukaan semua sampel bersifat hidrofob karena memiliki sudut kontak $> 90^\circ$. Secara alami serat poliester memiliki permukaan yang hidrofob (Messiry, Ouffy, & Issa, 2015).

Penambahan senyawa HDTMS dapat meningkatkan sudut kontak poliester. Hal ini disebabkan senyawa silan berinteraksi dengan permukaan suatu bahan dengan membentuk ikatan kovalen dan menurunkan tegangan permukaan kritis permukaan hingga lebih kecil dari tegangan permukaan kritis air sehingga permukaan serat poliester menjadi bersifat lebih hidrofob. Arkles (2006) mengungkapkan bahwa senyawa silan dapat meningkatkan hidrofobitas permukaan suatu material. Namun, penambahan nanopartikel perak sebagai bahan antibakteri menimbulkan penurunan sudut kontak yang terjadi pada serat. Deposit nanopartikel perak pada poliester menyebabkan luas daerah kontak poliester dengan HDTMS semakin sempit.

Aktivitas Antibakteri Poliester terhadap Bakteri *Escherichia coli* ATCC 35218 dan *Staphylococcus aureus* ATCC 25923

Secara umum nanopartikel perak memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* ATCC 35218 maupun *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (Rohaeti & Rakhmawati, 2017). Zona hambat pada bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* sudah mulai terlihat dengan jelas dan dapat diukur pada inkubasi 24 jam pertama (Rohaeti & Rakhmawati, 2017). Terbentuknya zona bening pada 24 jam inkubasi awal menunjukkan telah terjadi perusakan protein pada bakteri *Escherichia coli* maupun *Staphylococcus aureus* akibat ada maupun tidaknya modifikasi pada serat.

Modifikasi poliester menggunakan nanopartikel perak, HDTMS, dan kombinasi keduanya memberikan pengaruh yang berbeda terhadap aktivitas antibakteri poliester. Poliester murni (P) memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Escherichia coli* terendah diikuti oleh sampel P-HDTMS, sampel P-Ag-HDTMS dan yang paling tinggi adalah sampel P-Ag. Sampel P-HDTMS menunjukkan aktivitas antibakteri lebih baik bila dibandingkan dengan sampel P. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa HDTMS juga memiliki kemampuan menekan pertumbuhan bakteri. Akan tetapi, penambahan senyawa HDTMS pada serat poliester yang telah terdeposit nanopartikel perak (P-Ag-HDTMS) menunjukkan aktivitas antibakteri lebih rendah dibandingkan dengan poliester yang terdeposit nanopartikel (P-Ag).

Poliester menunjukkan aktivitas antibakteri lebih tinggi terhadap bakteri

Staphylococcus aureus dibandingkan bakteri *Escherichia coli*. Poliester juga memiliki aktivitas antibakteri lebih tinggi dibandingkan dengan P-HDTMS. Hal ini dapat diartikan aktivitas antibakteri dari P-HDTMS lebih efektif terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* bila dibandingkan dengan bakteri *Escherichia coli*. Poliester - Ag menunjukkan efektifitas paling tinggi di antara jenis poliester lainnya. Aktivitas antibakteri P-Ag-HDTMS terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* lebih rendah bila dibandingkan dengan P-Ag seperti yang terjadi pada bakteri *Escherichia coli*.

Nanopartikel perak digunakan sebagai zat antibakteri pada modifikasi poliester. Apabila nanopartikel perak yang telah terdeposit pada serat poliester terlapisi senyawa HDTMS maka intensitas interaksi nanopartikel perak dan bakteri semakin berkurang. Berkurangnya interaksi nanopartikel perak dengan bakteri mengakibatkan terhambatnya aktivitas antibakteri sampel poliester. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi pada poliester berpengaruh terhadap aktivitas antibakteri poliester tersebut.

Zat antibakteri merupakan suatu senyawa kimia alami maupun sintetik yang dapat menghambat maupun menghentikan pertumbuhan bakteri dalam kadar yang rendah. Antibakteri alami dapat didapatkan dengan ekstraksi organisme yang mengandung senyawa antibakteri di dalamnya. Adapun senyawa antibakteri sintetik dapat dihasilkan dengan mensintesis senyawa yang sifatnya mirip senyawa antibakteri alami dan diproduksi secara besar-besaran (Madigan, 2005: 254).

Menurut Pelczar dan Chan (1998: 266), senyawa antibakteri dapat dibedakan

berdasarkan mekanisme kerjanya seperti berikut:

✓ Menghambat sintesis dinding sel bakteri

Bakteri memiliki dinding sel untuk mempertahankan bentuk bakteri dan melindungi bakteri dari tekanan osmotik internal yang tinggi. Tekanan internal gram positif lebih besar 3-5 kali dibandingkan pada gram negatif. Trauma pada dinding sel akan menimbulkan lisis pada sel bakteri.

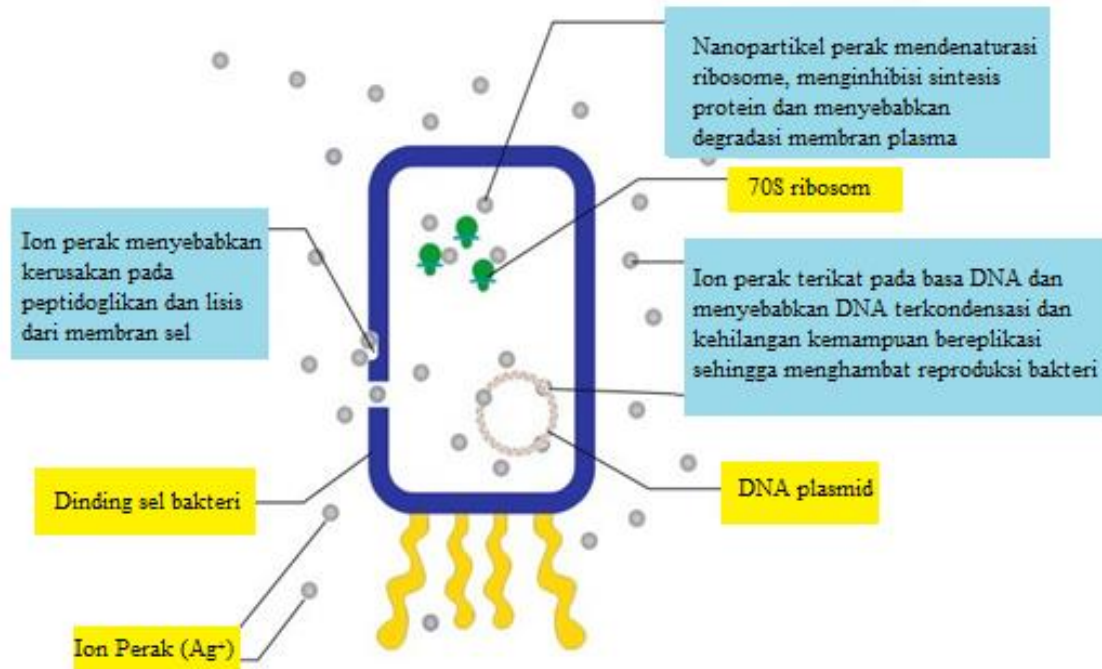
✓ Mengganggu permeabilitas membran sel bakteri

Membran sitoplasma pada bakteri berperan sebagai *barrier* permeabilitas selektif dan berfungsi dalam transpor aktif serta mengontrol komposisi internal sel. Bila fungsi integritas membran sel dirusak akan terjadi lisis yang mengakibatkan kematian. Membran sel bakteri memiliki struktur yang berbeda dibanding sel binatang sehingga sangat mudah dikacaukan oleh senyawa tertentu.

✓ Menghambat sintesis protein sel bakteri
Jenis ribosom bakteri berbeda dengan mamalia, ribosom jenis 70S dimiliki oleh bakteri dan jenis 80S dimiliki oleh mamalia. Sub unit masing-masing tipe ribosom memiliki komposisi kimia dan fungsi yang berbeda. Hal ini dapat menjelaskan mekanisme zat antibakteri dapat menghambat sintesis protein bakteri tanpa mempengaruhi ribosom pada mamalia.

✓ Menghambat sintesis atau merusak asam nukleat bakteri

Terjadinya ikatan yang kuat antara antibakteri dan enzim DNA *Dependent RNA Polymerase* bakteri menimbulkan penghambatan sintesis RNA bakteri sehingga bakteri tidak mampu tumbuh dan berkembang.



Gambar 4. Mekanisme Aktivitas Antibakteri Nanopartikel Perak (Chaloupka, Malam, & Sheifalian, 2010)

Mekanisme aktivitas antibakteri nanopartikel perak masih belum dapat dijelaskan secara pasti hingga saat ini. Beberapa peneliti mempercayai bahwa nanopartikel perak kembali menjadi ion perak dalam larutan garam dan ion perak tersebut berinteraksi dengan dinding sel bakteri sehingga mengakibatkan lisis. Menurut Chaloupka, Malam, & Sheifalian (2010), *bactericidal effect* disebabkan oleh interaksi antara ion perak dengan 3 komponen penting dari sel bakteri yaitu: peptidoglikan pada dinding sel dan membran plasma; DNA bakteri; dan protein bakteri khususnya enzim yang bekerja pada proses vital sel seperti transpor elektron (Gambar 4).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Nanopartikel perak dapat disintesis baik menggunakan senyawa kimia sintetik maupun mikroorganisme sebagai reduktor. Modifikasi kain poliester dengan

penambahan nanopartikel perak meningkatkan sifat antibakteri kain poliester. Modifikasi serat poliester dengan senyawa silan menyebabkan peningkatan hidrofobisitas atau antikotor serat poliester dan menurunkan aktivitas antibakteri serat poliester terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 dan *Escherichia coli* ATCC 35218. Poliester antibakteri dapat diperoleh melalui modifikasi dengan nanopartikel perak, sedangkan poliester antikotor dapat diperoleh melalui modifikasi dengan senyawa silan.

Saran

Perlu dikaji lebih lanjut tentang gugus fungsi yang berperan sebagai reduktor dalam komponen mikroorganisme pereduksi larutan perak nitrat. Kajian lanjut perlu diungkap pula tentang mekanisme penghambatan nanopartikel perak yang dideposit ke kain poliester.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., M.Y. Tay, K. Shameli, M.Z. Hussein, & J.J. Lim. 2011. Green Synthesis and Characterization of Silver/Chitosan/Polyethylene Glycol Nanocomposites without any Reducing Agent. *Int. J. Mol. Sci.* 12: 4872-4884.
- Ariyanta, H.A., Wahyuni, S., & Priatmoko, S. (2014). Preparasi Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi dan Aplikasinya sebagai Antibakteri Penyebab Infeksi. *Indonesian Journal of Chemical Science.* 3(1): 1-6.
- Arkles, B. (2006). Hydrophobicity, Hidrophilicity and Silanes. *Paint and Coating Industry.*10.
- Bauman, R. W. (2009). *Microbiology: With Diseases by Body System.* San Fransisco: Pearson Education.
- Boroumand, M. N., Montazer, M., Simon, F., Liesiene, J., Šaponjic, Z., & Dutschk, V. (2015). Novel method for synthesis of silver nanoparticles and their application on wool. *Applied Surface Science*, 347: 477-483.
- Chaloupka, K., Malam, Y. & Seifalian, A. M. (2010). Nanosilver as a New Generation of Nanoproduct in Biomedical Application *Trends in Biotechnology.* 28: 580-588.
- Crespo, J., García-Barrasa, J., López-de-Luzuriaga, J.M., & Monge, M. (2012). Organometallic Approach to Polymer-Protected Antibacterial Silver Nanoparticles: Optimal Nanoparticle Size-Selection for Bacteria Interaction. *J Nanopart Res.* 14: 1281-1293.
- Darmawan, T., Darsono, & Nuraeni, E. (2011). Analisis Sifat Mekanik untuk Feedthrough. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII.* Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN.
- Du, J., Singh, H., & Yi, T. (2016). Biosynthesis of Silver Nanoparticles by *Novosphingobium* sp. THG-C3 and Their Antimicrobial Potential. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology.* DOI: 10.1080/21691401.2016.1178135.
- Duran, N. & Marcato, P.D. (2007). Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Produced by Fungal Process on Textile Fabrics and Their Effluent Treatment. *Journal of Biomedical Nanotechnology.* 3(2): 203-208.
- El-Khatib, E.M. (2012). Antimicrobial and Self-cleaning Textiles using Nanotechnology. *Research Journal of Textile and Apparel.* 16(3): 156-174.
- Gao, S., Watanabe, H., Nakane, K., & Zhao, K. (2016). Fabrication and Characterization of Superhydrophobic and Superhydrophilic Silica Nanofibers Mats with Excellent Heat Resistance. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy.* 52(1): 87-92.
- Gao, Q., Zhu, Q., & Guo, Y. (2009). Formation of Highly Hydrophobic Surface on Cotton and Polyester Fabrics using Silica Sol Nanoparticles and Nonfluorinated Alkylsilane. *Ind Eng Chem Res.* 48: 9797-9803.
- Ghorashi, S.A.A., & Kamali, Mahdi. (2011). Synthesis of Silver Nanoparticle Using Complexing Agent Method: Comparing the Effect of Ammonium Hydroxide and Nitric Acid on Some Physical Properties of Nanoparticles. *J Clusts Sci.* 22: 667-672.
- Guo, P., Zhai, S., Xiao, Z., & An, Q. (2015). One-step Fabrication of Highly Stable, Superhydrophobic Composites from Controllable and Low-cost PMH/TEOS Sols for

- Efficient Oil Cleanup. *Journal of Colloid and Interface Science*. 446: 155-162.
- Guzman, M., Dille, J., & Godet, S. (2012). Synthesis and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Against Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria. *Nanomedicine*. 8(1): 37-45
- Hartanto, N. S. & Watanabe, S. (1993). *Teknologi Tekstil Edisi Ketiga*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Haryono, A. & Harmami, S.R. (2010). Aplikasi Nanopartikel Perak pada Serat katun sebagai Produk Jadi Tekstil Antimikrobia. *Jurnal Kimia Indonesia*. 5(1): 1-6.
- Hassan, M., Qashqary, K., Hassan, H.A., Shady, E., & Alansary, M. (2012). Influence of Sportware Fabrics Properties on the Health and Performance of Athlete. *Fibers & Textile in Eastern Europe*. 20(4): 82-88.
- Jiang, S.Q., Yuen, C.W.M. & Kan, C.W. (2007). Disign Application of Polyester with Chemical Silver Plating. *Fiber and Polymers*. 8(3): 313-318.
- Jiang, S.X., Qin, W.F., & Zhang, L. (2010). Surface Functionalization of Nanostructured Silver-coated Polyester Fabric by Magnetron Sputtering. *Surface & Coating Technology*. 204: 3662-3667.
- Jiang, X.C., Chen., C.Y., Chen, W.M., & Yu A.B. (2010). Role of Citric Acid in Formation of Silvel Nanoplates through a Synergistic Reduction Approach. *Langmuir Article*. 26(6):4400-4408.
- Jo, J. H., Singh, P., Kim, Y. J., Wang, C., Mathiyalagan, R., Jin, C., & Yang, D. C. (2015). Pseudomonas Deceptionensis DC5-Mediated Synthesis of Extracellular Silver Nanoparticles. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. DOI: 10.3109/21691401.2015.1068792.
- Kavitha, C., & Dasan, K.P. (2013). Nanosilver/Hyperbranched Polyester (HBPE): Synthesis, Characterization, and Antibacterial Activity. *Journal of Coating Technology and Research*. 10(5): 669-678.
- Madigan, M. (2005). *Brock Biology of Microorganisms*. London: Prentice Hall.
- Manatunga, D.C., de Silva, R.H., & de Silva, K. M. N. (2015). Double Layer Approach to Create Durable Superhydrophobicity on Cotton Fabric using Nano Silica and Auxiliary non Fluorinated Material. *Applied Surface Science*. 360: 777-788.
- Pelczar, M. J. & Chan, E.C.S. 1998. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. (Alih bahasa: Hadioetomo, R. S., Imas, T., Tjitrosomo, S.S. dan Angka, S. L.). Jakarta: UI Press.
- Purohit, J., Chawada, G., Choubisa, B., & Dholakiya, B. (2012). Polyester Polyol Derived from Waste Poly (Ethylene Terephthalate) for Coating Application on Mild Steel. *Chemical Science Journal*. CSJ-76: 1-8.
- Rai, M., Yadav, A. & Gade, Aniket. (2009). Silver Nanoparticles as a New Generation of Antimicrobial. *Biotechnology Advance*. 27: 76-83.
- Ristian, I., Wahyuni, S., & Supardi, K.I. (2014). Kajian Pengaruh Konsentrasi Perak Nitrat terhadap Ukuran Partikel pada Sintesis Nanopartikel Perak. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 3(1): 7-11.
- Rohaeti, E. & Rakhmawati, A. (2017). Antibacterial Activity and The

- Hydrophobicity of Cotton Coated with Hexadecyltrimethoxysilane. *AIP Conference Proceedings*. DOI: 10.1063/1.4995096.
- Rohaeti, E. & Rakhmawati, A. (2017). Antibacterial Activity of Cotton Fabrics with Addition of Nanoparticle and Silane Compound. *Basic and Applied Sciences Interdisciplinary Conference*. 18-19 Agustus 2017.
- Shateri-Khalilabad, M. & Yazdanshenas, M. E. (2013). One-pot Sonochemical Synthesis of Superhydrophobic Organic-Inorganic Hybrid Coating on Cotton Cellulose. *Cellulose*. 20: 3039-3051.
- Stefan, M., Hritcu, L., Mihasan, M., Pricop, D., Gostin, I., Olariu, R-I., Dunca, S., & Melnig, V. (2011). Erratum to: Enhanced Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Obtained by Electrochemical Synthesis in Poly(amide-hydroxyurethane) Media. *J. Mater Sci: MaterMed*. 22: 1783.
- Tamimi, M. & Herdyastuti, N. (2013). Analisis Gugus Fungsi dengan Menggunakan Spektroskopi FT-IR Variasi Kitin sebagai Substrat Kinetase Bakteri *Pseudomonas* sp. THN-54. *UNESA Journal of Chemistry*. 2(2): 47-51.
- Tortora, P. G. (1982). *Understanding Textile 2nd Edition*. New York: Macmillan Publishing Co., Inc.
- Wang, C., Kim, Y. J., Singh, P., Mathiyalagan, R., Jin, Y., & Yang, D. C. (2015). Green Synthesis of Silver Nanoparticles by *Bacillus methylotrophicus*, and Their Antimicrobial Activity. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. DOI: 10.3109/21691401.2015.1011805.
- Xue, C-H., Chen, J., Yin, W., Jia, S-T., Ma, & Jian-Zhong. (2012). Superhydrophobic Conductive Textiles with Antibacterial Property by Coating Fibers with silver Nanoparticles. *Applied Surface Science*. 258: 2468-2472.
- Yu, M., Gu, G., Meng, W-D., & Qimg, F-L. (2007). Superhydrophobic Cotton Fabric Coating Based on a Complex layer of Silica Nanoparticles and Perfluorooctylated Quaternary Ammonium Silane Coupling Agent. *Applied Surface Science*. 253: 3669-3673.
- Zhang, G., Liu, Y., Gao, X., & Chen, Yuyu. (2014). Synthesis of Silver Nanoparticles and Antibacterial Property of Silk Fabrics Treated by Silver Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*. 9: 216-223.