



PREPARASI NANOPARTIKEL PERAK DENGAN METODE REDUKSI DAN APLIKASINYA SEBAGAI ANTIBAKTERI PENYEBAB INFEKSI

Harits Atika Ariyanta*), Sri Wahyuni dan Sigit Priatmoko

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Pebruari 2014
Disetujui Pebruari 2014
Dipublikasikan Mei 2014

Kata kunci:
nanopartikel
perak
antibakteri
kain pembalut luka

Abstrak

Telah dipelajari sintesis nanopartikel perak dan aplikasinya sebagai antibakteri penyebab luka Infeksi. Nanopartikel perak disintesis dengan metode reduksi. Natrium sitrat dipakai sebagai reduktor sekaligus sebagai stabilisator. Koloid nanopartikel perak yang terbentuk selanjutnya dianalisis karakteristiknya menggunakan spektrometer UV-Vis, *Particle Size Analyser* (PSA) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM). Analisis terhadap spektra UV-Vis menunjukkan bahwa nanopartikel yang paling stabil adalah yang disintesis menggunakan natrium sitrat 1%. Karakterisasi dengan PSA menunjukkan nanopartikel perak yang terkecil berukuran 10 nm dengan ukuran rata-rata 26,4 nm. Karakterisasi menggunakan TEM menunjukkan bahwa nanopartikel yang terbentuk adalah nanopartikel perak dengan struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC). Nanopartikel perak hasil sintesis diaplikasikan pada kain pembalut luka dengan lama perendaman terbaik selama 36 jam. Performa hasil perendaman dalam menghambat pertumbuhan bakteri dievaluasi melalui uji aktivitas terhadap bakteri penyebab infeksi, yaitu *Eschericia coli*, *Bacillus subtilis*, dan *Staphylococcus aureus*. Hasil uji kuantitatif menunjukkan bahwa dengan perendaman selama 36 jam presentase reduksi bakteri mencapai 100%.

Abstract

Synthesis of silver nanoparticles and their application as antibacterial infection wound cause have been reported. Silver nanoparticles is synthesised by reduction method. Sodium citrate is used as reductor and stabilizing agent. Colloidal silver nanoparticles were produced then their were analyzed the characteristic by UV-Vis Spectrometer, *Particle Size Analyser* (PSA) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM). The analysis of UV-Vis spectra shows that the most stable silver nanoparticles is that use sodium citrate 1%. The characterization with PSA shows that the smallest particle size is 10 nm with the rate 26,4 nm. The Characterization of TEM shows that silver nanoparticle were produced by reduction method have *Face Centered Cubic* (FCC) structure. Silver nanoparticles are aplicated at wound dressing with the best impressing time for 36 h. The wound dressing was impressed by silver nanoparticles, was tested their antibacterial antibacterial activity by *Eschericia coli*, *Bacillus subtilis*, and *Staphylococcus aureus* that cause infection wound. The kuantitative test show that with 36 h of impressing time can reduced up to 100% bacteri.

Pendahuluan

Baru-baru ini telah berkembang dengan pesat teknologi nanopartikel atau sering disebut nanoteknologi. Nanoteknologi secara umum dapat didefinisikan sebagai teknologi perancangan (desain), pembuatan dan aplikasi struktur/material yang berdimensi nanometer. Nanoteknologi tidak hanya sebatas bagaimana cara menghasilkan material atau partikel yang berukuran nanometer, melainkan memiliki pengertian yang lebih luas termasuk bagaimana cara memproduksi serta mengetahui kegunaan sifat baru yang muncul dari material nano yang telah dibuat.

Koloid perak telah lama diketahui memiliki sifat antimikroba. Kemampuan antimikroba perak dapat membunuh semua mikroorganisme patogenik, dan belum dilaporkan adanya mikroba yang resisten terhadap perak.

Bentuk dan ukuran nanopartikel perak sangat penting dalam penentuan sifat optik, listrik, magnet, katalis dan antimikrobanya. Semakin kecil ukuran partikel semakin besar efek antimikroba. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ukuran partikel dalam sintesis yaitu temperatur larutan, konsentrasi garam dan agen pereduksi dan waktu reaksi (Sileikaite, *et al.*; 2006).

Nanopartikel perak telah banyak dibuat dengan beberapa metode dan kondisi yang berbeda seperti metode reduksi kimia, foto kimia, sonokimia, radiasi ultrasonik, sintesis solvotermal, dan lainnya (Guzman, *et al.*; 2008). Diantara banyak metode yang dapat dilakukan, metode reduksi kimia dipilih sebagai metode yang paling efektif untuk menghasilkan nanopartikel perak. Hal ini dikarenakan langkah kerja yang mudah, cepat, murah, dan menggunakan temperatur rendah.

Pada umumnya ketika dilakukan preparasi nanopartikel logam dengan metode reduksi kimia, ion logam direduksi oleh agen pereduksi dengan penambahan agen protektif untuk menstabilkan nanopartikel. Stabilitas nanopartikel memegang peranan yang sangat penting terutama ketika nanopartikel tersebut dikarakterisasi dan diaplikasikan ke dalam sebuah produk (Haryono, *et al.*; 2008).

Dalam penelitian ini sintesis nanopartikel perak akan dilakukan sesuai prosedur Mailu, *et al.* (2010) karena prosesnya yang sederhana dan materialnya yang mudah didapatkan. Larutan perak nitrat direduksi menggunakan natrium sitrat yang konsentrasinya divariasi dengan

tujuan mengetahui pengaruh konsentrasi pereduksi terhadap ukuran partikel. Karakterisasi produk yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan spektrometer UV-Vis, *Particle Size Analyzer* (PSA) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM).

Berdasarkan kegunaannya sebagai agen antibakteri, nanopartikel perak yang dihasilkan akan diaplikasikan sebagai lapisan antibakteri penyebab luka infeksi. Mikroba penyebab infeksi yang paling sering dijumpai adalah *Staphylococcus aureus*, *Eschericia coli* dan *Bacillus subtilis*. Ketiga bakteri tersebut merupakan bakteri penghasil toksin yang berbahaya bagi manusia dan kebal terhadap antibiotik. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan upaya pengendalian kehidupan bakteri penyebab infeksi luka.

Berdasarkan pemaparan diatas, pengendalian kehidupan bakteri dalam penyebab infeksi luka dalam penelitian ini dilakukan dengan menambahkan sifat antibakteri nanopartikel perak pada kain pembalut luka. Nanopartikel perak yang terdapat dalam kain pembalut luka akan bereaksi dengan cairan luka dimana terdapat bakteri penyebab infeksi. Nanopartikel perak tersebut secara perlahan akan membebaskan ion perak yang dapat merusak RNA dan DNA bakteri sehingga menghambat replikasi bakteri (Blaker, *et al.*; 2004). Replikasi bakteri yang terhambat akan menekan pertumbuhan bakteri sehingga penyembuhan luka akan semakin cepat.

Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat gelas (Pirex), *magnetic stirrer* (IKAMAG), *oven*, neraca analitik (Ohaus), spektrometer UV-Vis (Simadzu tipe UV mini 1240), *Particle Size Analyzer* (Malvern), dan *Transmission Electron Microscope* (JEM-1400), *coloni counter*, cawan petri, inkubator, jarum ose, autoklaf, lampu spiritus. Bahan dari penelitian ini meliputi trisodium sitrat (Merck), perak nitrat (Merck), aquades steril, kain pembalut luka, *Nutrien Broth* (NB), *Nutrien Agar* (NA), suspensi bakteri *Staphylococcus aureus*, *Eschericia coli* dan *Bacillus subtilis*.

Sintesis nanopartikel perak dibuat dengan cara memanaskan 50 mL AgNO₃ dengan konsentrasi 1,0 mM hingga mendidih dalam labu erlenmeyer. Pada larutan tersebut, tambahkan 5 mL Na₃C₆H₅O₇ 1% tetes demi tetes. Selama proses pemanasan, campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga

berwarna kuning pucat. Warna kuning pucat menandakan bahwa nanopartikel perak telah terbentuk.

Nanopartikel perak yang terbentuk kemudian dikarakterisasi. Dalam penelitian ini karakterisasi dilakukan menggunakan spektrometer UV-Vis, PSA dan TEM. Tujuan dari karakterisasi ini adalah untuk menentukan konsentrasi reduktor (natrium sitrat) yang optimum. Keadaan optimum yang diharapkan adalah munculnya puncak absorbansi pada panjang gelombang ± 410 nm yang mengindikasikan bahwa sitrat-nanopartikel perak telah terbentuk. Selain itu, sitrat-nanopartikel perak yang diperoleh diharapkan memiliki spektra absorbansi yang stabil. Stabilitas tersebut dapat diukur secara berkala pada 0 sampai 19 hari setelah sintesis untuk mengetahui ukuran nanopartikel perak. Koloid sitrat-nanopartikel perak yang memiliki ukuran terkecil dan paling stabil akan dikarakterisasi lagi menggunakan TEM. Tujuan karakterisasi ini adalah untuk mengetahui morfologi, diameter dan memastikan bahwa nanopartikel benar-benar terbentuk atau tidak melalui gambar difraksi yang dihasilkan. Sitrat-nanopartikel perak yang memiliki ukuran terkecil dan paling stabil juga akan diaplikasikan dalam kain pembalut luka dan diuji sifat antibakterinya.

Proses pelapisan nanopartikel perak pada kain pembalut luka yakni dengan metode yang pernah dilakukan oleh Duran (2007). Pembalut luka dipotong dengan ukuran 3x3 cm kemudian dicuci bersih, disterilkan dan dikeringkan. Kain pembalut luka yang bersih dan steril direndam dalam koloid sitrat-nanopartikel perak sambil diaduk menggunakan *magnetik stirer* selama 12, 24 dan 36 jam kemudian didiamkan 5 menit. Kain yang telah terlapsi sitrat-nanopartikel perak dikeringkan kembali dengan *oven* pada temperatur 70°C selama 5 menit.

Pengujian aktivitas antibakteri dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Uji kualitatif dilakukan sesuai dengan prosedur penelitian Wahyudi, *et al.*; (2011), sedangkan uji kuantitatif menggunakan metode *Shake flask* sesuai dengan prosedur yang dilakukan oleh Duran (2007).

Uji kualitatif dilakukan dengan merendam cakram kertas ke dalam koloid nanopartikel perak kemudian ditempelkan pada permukaan NA. NA yang telah ditempelkan cakram kertas diinkubasi selama 24 jam pada temperatur 37°C. Hasil uji kualitatif dapat dilihat dengan

mengamati besarnya zona bening yang terbentuk disekitar cakram kertas.

Sedangkan pada uji kuantitatif, pembalut luka yang telah dilapsi dan belum dilapsi nanopartikel perak dengan ukuran 1x1 cm dimasukkan ke dalam *vial* steril. Dalam *vial* steril tersebut kemudian ditambahkan 0,8 mL akuades dan dikocok selama 10 menit. Setelah itu ditambahkan NB sebagai media pertumbuhan bakteri sebanyak 2,2 mL sehingga volume total campuran menjadi 3 mL. Suspensi bakteri yang sebelumnya juga ditanam pada NB ditambahkan pada campuran tersebut sebanyak 10 μ L. Campuran kemudian diinkubasi selama 24 jam pada temperatur 37°C.

Setelah diinkubasi, campuran dari *vial* diambil 1 mL untuk ditanam dalam NA. Biakan bakteri dalam medium tersebut diinkubasi selama 24 jam pada temperatur 37°C dan kemudian dihitung jumlah koloninya menggunakan *coloni counter*. Aktivitas antibakteri dapat ditentukan melalui % reduksi dari bakteri yang mampu bertahan hidup menggunakan rumus (Duran, 2007):

$$\text{Reduksi \%} = \frac{B-A}{B} \times 100$$

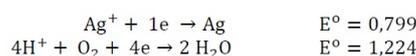
Dalam hal ini A merupakan jumlah koloni bakteri setelah diberi kain pembalut luka yang dilapsi nanopartikel perak dan B merupakan koloni bakteri setelah diberi kain pembalut luka yang tidak dilapsi nanopartikel perak.

Hasil dan Pembahasan

Prinsip koloid nanopartikel perak yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan cara menambahkan tetes demi tetes larutan pereduksi sekaligus penstabil, natrium sitrat ke dalam larutan AgNO₃ yang telah mendidih. Reaksi kimia yang terjadi:



Berdasarkan energi potensial reduksinya maka reaksi di atas dapat dituliskan sebagai berikut:



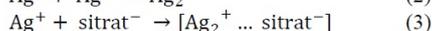
$$E^\circ_{\text{sel}} = E^\circ_{\text{reduksi}} - E^\circ_{\text{oksidasi}}$$

$$E^\circ_{\text{sel}} = 0,779 - 1,224$$

$$E^\circ_{\text{sel}} = -0,445$$

Harga energi potensial sel yang negatif menunjukkan bahwa reaksi di atas merupakan reaksi tidak spontan. Oleh karena itu seharusnya reaksi tersebut tidak dapat berlangsung. Akan tetapi, reaksi antara ion Ag⁺ dan ion (C₆H₅O₇)⁻ dapat membentuk kompleks

[Ag⁺ sitrat⁻] atau [Ag₃(C₆H₅O₇)_{n+1}]³ⁿ⁻ yang memiliki peran lebih dominan dalam mereduksi ion Ag⁺ menjadi Ag⁰ secara perlahan sehingga reaksi tetap dapat berlangsung (Jiang, *et al.*; 2010). Reaksi pembentukan kompleks dituliskan dalam reaksi berikut:



Ketika penambahan tetes demi tetes larutan natrium sitrat dalam AgNO₃ berakhir belum ada perubahan yang tampak secara signifikan. Larutan campuran masih jernih tidak berwarna. Setelah waktu berjalan ± 9 menit dari penetesan natrium sitrat terakhir, reaksi yang terjadi adalah perubahan warna larutan secara bertahap menjadi kuning pucat hingga kuning kemerahan. Warna tersebut merupakan karakteristik dari koloid nanopartikel perak (Zielinska, *et al.*; 2009). Hasil sintesis larutan koloid nanopartikel perak ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Larutan koloid nanopartikel perak hasil sintesis dengan metode reduksi AgNO₃ dengan reduktor C₆H₅O₇Na₃ 0,5% (A); 1,0% (B) dan 1,5% (C)

Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel perak dengan cara memvariasikan konsentrasi reduktor (C₆H₅O₇Na₃) yang digunakan. Hasil sintesis selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

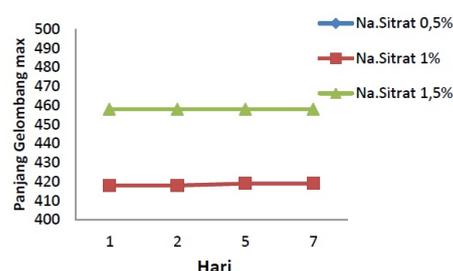
Tabel 1. Sintesis nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi reduktor (C₆H₅O₇Na₃)

Konsentrasi dari 50 mL AgNO ₃ (M)	Kadar dari 5 mL C ₆ H ₅ O ₇ Na ₃ (%)	Ukuran partikel Ag rata-rata (nm)
1x10 ⁻³	0,5	37,75
1x10 ⁻³	1,0	28,5
1x10 ⁻³	1,5	20,9

Tabel 1 memperlihatkan bahwa penambahan natrium sitrat dengan konsentrasi yang semakin besar menyebabkan ukuran nanopartikel perak yang terbentuk semakin kecil. Namun, ukuran partikel yang semakin kecil belum tentu juga memiliki stabilitas yang baik. Hal tersebut dikarenakan suatu nanopartikel memiliki kecenderungan untuk beraglomerasi. Partikel berukuran nanometer memiliki *surface area* spesifik yang sangat besar. Pada *surface area* yang besar ikatan kimia antar partikel mem-

bentuk dipol listrik yang kuat sehingga dapat beraglomerasi. Oleh karena itu stabilisator dalam sintesis nanopartikel perak memiliki peran yang sangat penting.

Kestabilan larutan koloid nanopartikel perak dapat diketahui dari terjadinya perubahan puncak serapannya. Jika terjadi pergeseran puncak serapan ke panjang gelombang yang lebih besar menunjukkan bahwa kestabilan larutan koloid nanopartikel perak rendah dikarenakan telah terjadi peristiwa aglomerasi. Hasil penentuan kestabilan koloid nanopartikel perak dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pergeseran puncak serapan panjang gelombang maksimum koloid nanopartikel perak setelah periode waktu hingga 7 hari

Grafik pada Gambar 2 merupakan hasil pengukuran koloid nanopartikel perak dari hasil sintesis menggunakan variasi konsentrasi reduktor (natrium sitrat) hingga periode waktu 7 hari. Nanopartikel perak yang direduksi menggunakan natrium sitrat 0,5% dan 1% keduanya berhimpitan dan memiliki puncak absorbansi diantara 418-419 nm. Keadaan ini menunjukkan bahwa koloid hasil sintesis relatif stabil. Natrium sitrat yang cenderung bermuatan negatif teradsorpsi oleh nanopartikel perak, sehingga menimbulkan gaya tolak menolak diantara partikel perak dan mencegah terjadinya aglomerasi. Berbeda dengan nanopartikel perak yang direduksi menggunakan natrium sitrat 1,5%, puncak absorbansi bergeser pada 458-459 nm. Hal ini terjadi karena dalam konsentrasi perak nitrat yang sama, nanopartikel perak hasil reduksi yang dihasilkan lebih banyak. Sehingga tumbukan antar partikel lebih sering terjadi dan akhirnya teraglomerasi.

Untuk mengetahui morfologi dan difraksi nanopartikel perak hasil sintesis, karakterisasi dilanjutkan dengan menggunakan TEM. Dalam penelitian ini sampel yang digunakan untuk karakterisasi TEM adalah nanopartikel perak yang direduksi menggunakan natrium sitrat 1%. Nanopartikel perak tersebut digunakan karena berdasarkan data hasil UV-Vis dan PSA merupakan nanopartikel perak yang paling stabil dibandingkan dengan nanopartikel perak

yang direduksi menggunakan natrium sitrat 0,5% dan 1,5%. Hasil foto TEM menunjukkan adanya korelasi dengan ukuran nanopartikel perak yang dianalisis menggunakan PSA. Ukuran rata-rata nanopartikel perak yang terukur oleh PSA berkisar antara 26,4-30,6 nm. Hasil tersebut mirip dengan hasil TEM yang menunjukkan ukuran partikel mencapai 7,36-36,68 nm.

Selain untuk melihat diameter nanopartikel perak, karakterisasi TEM juga digunakan untuk mengetahui difraksinya. Berdasarkan pola difraksinya, struktur kristal nanopartikel perak dapat ditentukan secara teoritik dan eksperimen. Secara teoritik struktur kristal dapat ditentukan menggunakan rumus pada Tabel 2 seperti yang dijelaskan oleh Klug & Alexander (1974).

Tabel 2. Analisis data difraksi nanopartikel secara teoritik

No	$2\theta(^{\circ})$	$\sin^2\theta$	$\frac{\sin^2\theta}{\sin^2\theta_{\min}}$	$\frac{\sin^2\theta}{\sin^2\theta_{\min}} \times 2$	$\frac{\sin^2\theta}{\sin^2\theta_{\min}} \times 3$	M ($h^2 + k^2 + l^2$)	hkl
1	0,77	$4,493 \times 10^{-5}$	1	2	3	3	111
2	0,88	$5,897 \times 10^{-5}$	1,313	2,626	3,393	4	200
3	1,25	$1,189 \times 10^{-4}$	2,647	5,294	7,941	8	220
4	1,48	$1,668 \times 10^{-4}$	3,713	7,426	11,139	11	311
5	1,92	$2,778 \times 10^{-4}$	6,184	12,368	18,552	19	331

Nilai *m* yang diperoleh dari analisis data diatas dicocokkan dengan tabel penentuan struktur kristal untuk mengetahui susunan struktur kristal. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penentuan struktur kristal berdasarkan nilai hkl (Ismul, *et al.*; 2011)

Struktur kristal	$h^2 + k^2 + l^2$
Simple Cubic (SC)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,.....
Body Centered Cubic (BCC)	2,4,6,8,10,12,14,16,.....
Face Centered Cubic (FCC)	3,4,8,11,12,16,19,20,24,27,.....

Berdasarkan tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa nanopartikel perak pada penelitian ini mempunyai struktur *Face Centered Cubic* (FCC).

Ketika kain pembalut luka diujikan terhadap bakteri *Eschericia coli*, presentase reduksi bakteri tertinggi terdapat pada kain pembalut luka yang telah direndam dalam koloid nanopartikel perak selama 36 jam. Presentase reduksi bakteri tersebut mencapai 100%. Sedangkan kain pembalut luka dengan durasi perendaman 12 dan 24 jam dalam koloid nanopartikel perak secara berturut-turut memiliki presentase reduksi bakteri sebesar 97,54% dan 99,59%.

Hal serupa juga terlihat pada uji kain pembalut luka terhadap bakteri *Bacillus subtilis*, dan *Staphylococcus aureus*. Presentase reduksi bakteri tertinggi terdapat pada kain pembalut

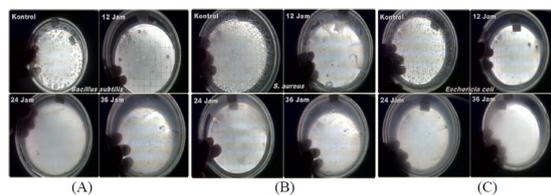
luka yang telah direndam dalam koloid nanopartikel perak selama 36 jam.

Tabel 4. Hasil uji kuantitatif aktifitas antibakteri kain pembalut luka yang dilapisi nanopartikel perak terhadap pertumbuhan bakteri *Eschericia coli*, *Bacillus subtilis*, dan *Staphylococcus aureus*

No.	Lama perendaman (jam)	B (koloni)			A (koloni)			% Reduksi		
		SA	EC	BS	SA	EC	BS	SA	EC	BS
1.	12	298	244	247	15	6	25	94,97	97,54	89,88
2.	24	298	244	247	4	1	2	98,66	99,59	99,19
3.	36	298	244	247	2	0	0	99,33	100	100
		Rata-rata						97,65	99,04	96,35

Keterangan:
 [A] = Jumlah Koloni bakteri setelah diberi kain pembalut luka yang dilapisi nanopartikel perak
 [B] = Jumlah Koloni bakteri setelah diberi kain pembalut luka yang tidak dilapisi nanopartikel perak

Pada perendaman 36 jam persebaran nanopartikel perak diduga lebih merata dan lebih kuat menempel pada serat kain. Oleh karena itu pada perndaman 36 jam aktivitas antibakteri menjadi lebih hebat dibandingkan dengan perendaman 12 dan 24 jam.



Gambar 3. Uji kuantitatif aktifitas antibakteri kain pembalut luka yang dilapisi nanopartikel perak terhadap pertumbuhan bakteri *Bacillus subtilis* (A), *Staphylococcus aureus* (B), dan *Eschericia coli* (C)

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan yaitu konsentrasi reduktor yang menghasilkan nanopartikel perak dengan ukuran paling kecil dan stabil adalah natrium sitrat 1%. Hasil karakterisasi meggunakan PSA menunjukkan distribusi ukuran rata-rata nanopartikel perak terkecil 18,2 nm. Hasil karakterisasi dengan TEM menunjukkan ukuran diameter nanopartikel perak berdasarkan gambar morfologi nanopartikel peraknya. Diameter nanopartikel terkecil yang diperoleh dari analisis ini adalah 7,36 nm. Selain itu, dengan TEM dapat dilihat bahwa nanopartikel perak yang terbentuk memiliki struktur kristal *face centered cubic* (fcc) sesuai dengan data difraksinya. Presentase reduksi bakteri *Eschericia coli*, *Bacillus subtilis*, dan *Staphylococcus aureus* dalam durasi perendaman 36 jam secara berturut-turut mencapai 100, 100 dan 99,33%.

Daftar Pustaka

Blaker J.J., Nazhat S.N. & Boccaccini A.R. 2004. Development and characterisation of silver-doped bioactive glasscoated sutures for tissue engineering and wound healing applications. *Journal of Bio-materials*. 25: 1319-1329

- 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: 203-208
- Guzman M.G., Dille J. & Godet S. 2008. Synthesis of Silver Nanoparticles by Chemical Reduction Method and Their Antibacterial Activity. *World Academy of Science*. 43: 357-364
- Haryono A., Sondari D., Harmami S.B. & Randy M. 2008. Sintesa Nanopartikel Perak dan Potensi Aplikasinya. *Jurnal Riset Industri*. 2 (3): 155-163
- Ismul H.A., Sumariah D. & Mohtar. 2011. Penentuan Struktur Kristal AlMg₂ Alloy dengan Difraksi Neutron. *Berkala Fisika*. 12 (2): 41-48
- Jiang X.C., Chen C.Y., Chen W.M. & Yu A.B. 2010. Role of Citric Acid in the Formation of Silver Nanoplates through a Synergistic Reduction Approach. *Langmuir Article*. 26 (6): 4400-4408
- Klug H.P. & Alexander L.E. 1974. *X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials*. New York: John Wiley & Sons
- Mailu S.N. & Waryo T.T. 2010. Determination of Anthracene on Ag-Au Alloy Nanoparticles/Overoxidized-Polypyrrole Composite Modified Glassy Carbon Electrodes. *Sensors*. 10: 9449-9465. Tersedia di www.mdpi.com/journal/sensors [diakses 11-1-2012]
- Sileikaite A., Prosycevas I., Puiso J., Juraitis A. & Guobiene A. 2006. Analysis of silver nanoparticles produced by chemical reduction of silver salt solution. *Materials Science*. Vol. 12 (4)
- Wahyudi T., Sugiyana & Helmy. 2011. Sintesis Nanopartikel Perak dan Uji Aktivitasnya Terhadap Bakteri *E. Coli* dan *S. Aureus*. *Arena Tekstil*. 26 (1): 1-6