

SINTESIS AgNPs SECARA REDUKSI KIMIA MENGGUNAKAN CAPPING AGENT KITOSAN DAN PEREDUKSI GLUKOSA

Synthesis OF AgNPs by Chemical Reduction Method with Chitosan as Capping Agent and Glucose as Reductor

Ahmad Budi Junaidi, Ari Wahyudi, Dewi Umaningrum

Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru
Koresponden : FMIPA Unlam Jl. Unlam III Kompleks Kampus Unlam Banjarbaru
E-mail : a_budi_j@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kajian sintesis AgNPs pada kitosan sebagai *capping agent* dan glukosa sebagai agen pereduksi telah dilakukan. Nanopartikel perak disintesis dengan menggunakan metode reduksi kimia selama 1, 2 dan 3 jam pada temperatur titik didihnya. Nanopartikel perak hasil sintesis dikarakterisasi dengan menentukan laju pembentukan, ukuran, morfologi, distribusi ukuran, dan gugus fungsi. Laju pembentukan dianalisis menggunakan spektroskopi UV-Vis. Ukuran, morfologi, dan distribusi ukuran ditentukan menggunakan *Transmission Electron Microscope*, sedangkan gugus fungsi yang berperan dalam pembentukan AgNPs dianalisis menggunakan spektroskopi FT-IR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AgNPs berhasil disintesis. Pembentukan AgNPs ditandai dengan adanya puncak serapan khas pada λ_{max} 320-430 nm. Penggunaan agen pereduksi glukosa meningkatkan laju pembentukan AgNPs. Distribusi ukuran partikel AgNPs yang dihasilkan berkisar antara 2-16 nm dengan ukuran partikel rata-rata antara 8-9 nm. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa morfologi AgNPs yang dihasilkan berbentuk sferis. Interaksi AgNPs dengan kitosan terjadi melalui gugus NH_2 , OH, C=O, dan -C-O-C-.

Kata kunci : AgNPs, kitosan, glukosa, dan metode reduksi kimia

ABSTRACT

Study on AgNPs synthesis with chitosan as capping agent and glucose as reductor has been done. Chemical reduction method was used to synthesis of AgNPs with various times (1, 2 and 3 hours) at flash point temperature. The silver nanoparticles were characterized formation rates, sizes, morphology, size distributions, and functional groups. The rates by determination of formation were analyzed by UV-Vis spectroscopy. Sizes, morphology, and size distributions were determined by transmission electron microscope and particle size analyzer, whereas the role of functional groups on the silver nanoparticles formation were analyzed by FT-IR. The results showed that AgNPs was synthesized successfully. The formation of silver nanoparticles showed characteristic peaks absorption at λ_{max} 420-430 nm. The glucose as reduction agent may increase the rate of AgNPs formation. AgNPs particle size distribution range between 2-16 nm and an average particle sizes of AgNPs between 8-9 nm. The results also showed that the morphology of silver nanoparticles were spherical. The interaction of silver nanoparticles at chitosan occurred at NH_2 , OH, and C=O groups.

Key words : AgNPs , chitosan, glucose, chemical reduction method

PENDAHULUAN

Nanopartikel perak (AgNPs) merupakan salah satu material nano yang banyak dipelajari karena memiliki sifat fisika, kimia, dan mikrobakterial yang unik terutama

dalam bidang optis, katalisis, dan biomedis (Korbekandi & Iravani, 2012). Ukuran perak dalam skala nano menjadi pertimbangan penting karena dapat meningkatkan reaktivitas pada permukaan perak (Raffi et

al., 2008; Guzman *et al.*, 2009). Beberapa metode yang digunakan dalam sintesis dan stabilisasi AgNPs yaitu secara kimia, fisika, dan biologi. Metode kimia merupakan metode yang paling sering digunakan dalam menghasilkan AgNPs (Korbekandi & Iravani, 2012). Metode kimia seperti reduksi kimia yang menggunakan agen pereduksi organik (Ahmad *et al.*, 2011; Ayala *et al.*, 2012) atau anorganik (El-Kheshen & El-Rab, 2012), elektrokimia (Roldan *et al.*, 2013), sonokimia (Dawy *et al.*, 2012), dan iradiasi sinar gamma (Hettiarachchi & Wickramarachchi, 2011) telah digunakan dalam sintesis AgNPs.

Reduksi kimia merupakan metode yang umum digunakan karena relatif sederhana, mudah, dan efektif menghasilkan AgNPs (Ahmad *et al.*, 2011). Dua proses penting pada sintesis AgNPs secara metode reduksi kimia yaitu proses reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 dan proses stabilisasi ukuran partikel (Korbekandi & Iravani, 2012). Permasalahan sintesis AgNPs sekarang yang banyak menjadi perhatian adalah penggunaan bahan-bahan kimia yang tidak ramah lingkungan dan toksik bagi manusia seperti natrium borohidrida/ NaBH_4 (El-Kheshen & El-Rab, 2012; Mostafa *et al.*, 2011), dimetilaminoboran/DMAB (Rivero *et al.*, 2013), *N,N*-dimetilformamida/DMF (Maciollek & Ritter, 2014), dan hidrazina/ N_2H_4 (Guzman *et al.*, 2009; Ghorbani *et al.*, 2011). Penggunaan bahan non-toksik seperti sakarida (Ayala *et al.*, 2012), polisakarida

(Ahmad *et al.*, 2011; Usman, *et al.*, 2012), dan asam organik (Saputra *et al.*, 2011) merupakan alternatif pengembangan sintesis AgNPs yang ramah lingkungan. Ahmad *et al.* (2011) telah melaporkan sintesis nanopartikel perak secara reduksi kimia menggunakan kitosan dan polietilena glikol (PEG) sebagai *capping agent* dan penstabil tanpa penambahan agen pereduksi pada temperatur 60°C selama 12 jam. Hasil penelitian tersebut menunjukkan ukuran diameter rata-rata AgNPs yang diperoleh mencapai 5,50 nm dimana kitosan berperan sebagai agen pereduksi dan *capping agent*. Di sisi lain, Shameli *et al.* (2012) melaporkan sintesis AgNPs dalam media polimer PEG dan β -D-glukosa sebagai reduktor pada temperatur 45°C selama 3 jam. Ukuran diameter rata-rata AgNPs yang dihasilkan mencapai 10,60 nm.

Berdasarkan uraian di atas, diketahui bahwa AgNPs yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi percobaan, kinetika reaksi antara ion perak dengan reduktornya dan proses adsorpsi dari penstabil. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengkaji efektivitas glukosa sebagai agen pereduksi dan kitosan sebagai *capping agent* pada sintesis AgNPs dengan metode reduksi kimia.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah spektrofotometer UV-Vis LGS 53 BEL[®] Photonics, TEM tipe JEOL JEM-1400 Versi 1.0, PSA tipe Zetasizer Ver. 7.01 (*Malvern Instrument Ltd., Grovewood, Worcestershire, UK*), dan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) Shimadzu 8201PC; *centrifuge* Hitachi CT15RE, *hot plate stirrer* CB 302 Stuart[®]

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah AgNO₃ (99,98%; Merck), kitosan *low molecular weight* (derajat deasetilasi $\geq 75\%$; Sigma-Aldrich), asam asetat glasial (100%; Merck), D(+)-glukosa (Merck) dengan spesifikasi pro analisis (p.a) dan akuades.

Prosedur Kerja

Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis AgNPs secara reduksi kimia mengikuti prosedur Ahmad *et al.* (2011) secara reduksi kimia dengan melakukan modifikasi pada penggunaan agen pereduksi organik yaitu D(+)-glukosa dan hanya kitosan sebagai *capping agent*. Sintesis dilakukan dengan melarutkan 0,50 g kitosan dalam 50 ml asam asetat 1% v/v (larutan kitosan 1%) dan diaduk hingga homogen. Larutan Ag⁺ (500 ppm; 50 ml) ditambahkan ke dalam larutan kitosan. Larutan [Ag-kitosan]⁺ diaduk selama 1 jam pada temperatur 60°C,

selanjutnya ditambahkan agen pereduksi glukosadengan rasio mol reduktor : Ag⁺ adalah 2 : 1. Kemudian larutan dipanaskan hingga mendidih tanpa diaduk dengan waktu sintesis 1, 2, dan 3 jam dan selanjutnya dikarakterisasi.

Monitoring Laju Pembentukan Nanopartikel Perak

Laju pembentukan AgNPs dari reduksi ion Ag⁺ diamati menggunakan spektrofotometer UV-Vis LGS 53 BEL[®] Photonics pada panjang gelombang 300-700 nm. Sampel larutan AgNPs yang disintesis ditempatkan dalam kuvet untuk selanjutnya dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 300-700 nm.

Ukuran, Morfologi, dan Distribusi Ukuran Nanopartikel Perak

Sampel AgNPs yang telah disintesis dianalisis menggunakan TEM tipe JEOL JEM-1400 untuk menentukan ukuran, morfologi, dan distribusi ukuran AgNPs yang terbentuk. *Droplet* suspensi AgNPs diteteskan pada *grid* tembaga yang telah dilapisi karbon, setelah kering selanjutnya dianalisis menggunakan TEM tipe JEOLJEM-1400.

Identifikasi Gugus Fungsi Capping Agent dan Nanopartikel Perak

Spektra dari FT-IR digunakan untuk mengetahui interaksi gugus fungsi kitosan yang berperan sebagai *capping agent* dan

penstabil AgNPs yang telah disintesis menggunakan kitosan. Keberadaan gugus fungsi seperti OH, C=O, dan NH₂ menjadi kajian dalam mempelajari mekanisme interaksi kitosan dengan AgNPs. Sampel larutan AgNPs disentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 2x10 menit. Kemudian sampel dipreparasi menjadi pelet KBr untuk selanjutnya dianalisis menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) Shimadzu 8201PC.

Analisis Data

Pembentukan AgNPs dimonitor dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 300-700 nm. Spektra UV-Vis AgNPs yang diperoleh kemudian diolah dalam bentuk grafik untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu terhadap banyaknya AgNPs yang terbentuk. Gambar TEM yang diperoleh diolah menggunakan *software Scion Image* dan *Origin Pro 8* sehingga dapat diketahui ukuran rata-rata dan distribusi ukuran AgNPs. Data tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh waktu sintesis terhadap ukuran, dan distribusi ukuran AgNPs yang dihasilkan. Data spektra spektrofotometer FT-IR digunakan untuk mengetahui interaksi gugus fungsi kitosan sebagai *capping agent* dan penstabil pada AgNPs. Data diolah dalam bentuk grafik sehingga dapat diketahui perbedaan spektra dari masing-masing sampel kitosan dan AgNPs-kitosan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis AgNPs pada penelitian ini menggunakan metode kimia yaitu melalui reduksi kimia. Secara umum terdapat tiga komponen penting dalam sintesis AgNPs secara reduksi kimia yaitu prekursor logam, agen pereduksi, serta *capping agent* dan penstabil. Pada penelitian ini digunakan prekursor logam perak berupa garam AgNO₃ sedangkan kitosan *low molecular weight* digunakan sebagai *capping agent* dan penstabil AgNPs. Kitosan memiliki gugus amina (-NH₂) dan hidroksil (-OH) (Rinaudo, 2006) yang dapat terlibat interaksi dengan kation logam transisi sehingga mampu bertindak sebagai penstabil AgNPs. Sintesis AgNPs-kitosan diawali dengan membuat larutan kitosan dalam asam asetat 1% dan direaksikan dengan larutan AgNO₃ sehingga terbentuk *metallopolymer* [Ag-kitosan]⁺. Campuran kemudian diaduk secara kontinyu dan ditambahkan agen pereduksi serta dipanaskan pada suhu 60°C. Warna kuning pucat menandakan terbentuknya AgNPs-kitosan dan semakin lama semakin pekat yang mengindikasikan semakin banyak AgNPs yang terbentuk. Warna larutan AgNPs ialah manifestasi dari *localized surface plasmon absorption* (LSPR). Hasil reaksi seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



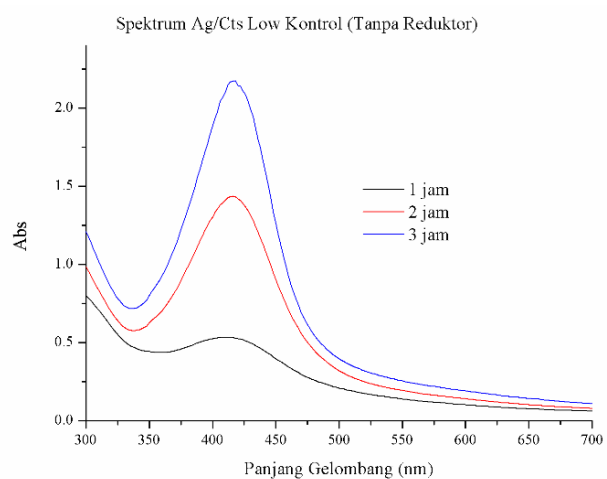
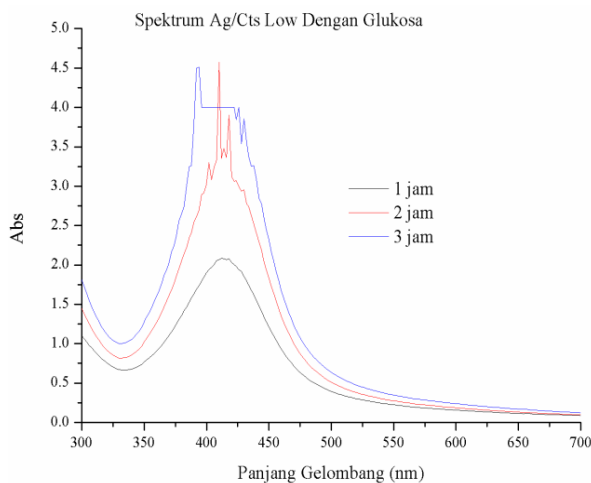
Gambar 1. Hasil sintesis AgNPs secara reduksi kimia pada kitosan dengan agen pereduksi glukosa

Gambar 1 menunjukkan bahwa terjadi perubahan warna larutan pada sampel [Ag/Kitosan] dari tidak berwarna menjadi kuning-kecoklatan dan warna larutan semakin pekat dengan semakin lamanya waktu reaksi sintesis. Perubahan warna larutan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ahmat, *et al.*, 2011. Hal ini mengindikasikan telah terjadi pembentukan AgNPs di dalam larutan. Warna larutan semakin pekat berdasarkan fungsi waktu reaksi menandakan terus terbentuk AgNPs selama 3 jam waktu sintesis.

Hasil Karakterisasi Nanopartikel Perak

a. Laju pembentukan nanopartikel perak

Larutan AgNPs hasil sintesis dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis sesuai waktu sintesis. Ini bertujuan untuk mengetahui pembentukan AgNPs dengan waktu sintesis 1, 2, dan 3 jam secara kualitatif. Hasil pengukuran spektrofotometer UV-Vis pada Gambar 2 menunjukkan bahwa pembentukan AgNPs ditandai dengan adanya puncak serapan khas pada λ_{\max} 420-430 nm. Hal ini selaras dengan penelitian Ahmad *et al.* (2011) dimana spektra serapan nanopartikel perak terbentuk pada λ_{\max} 415-430 nm.



Gambar 2. Spektra UV-Vis AgNPs dalam kitosan berdasarkan fungsi waktu sintesis dengan dan tanpa pereduksi

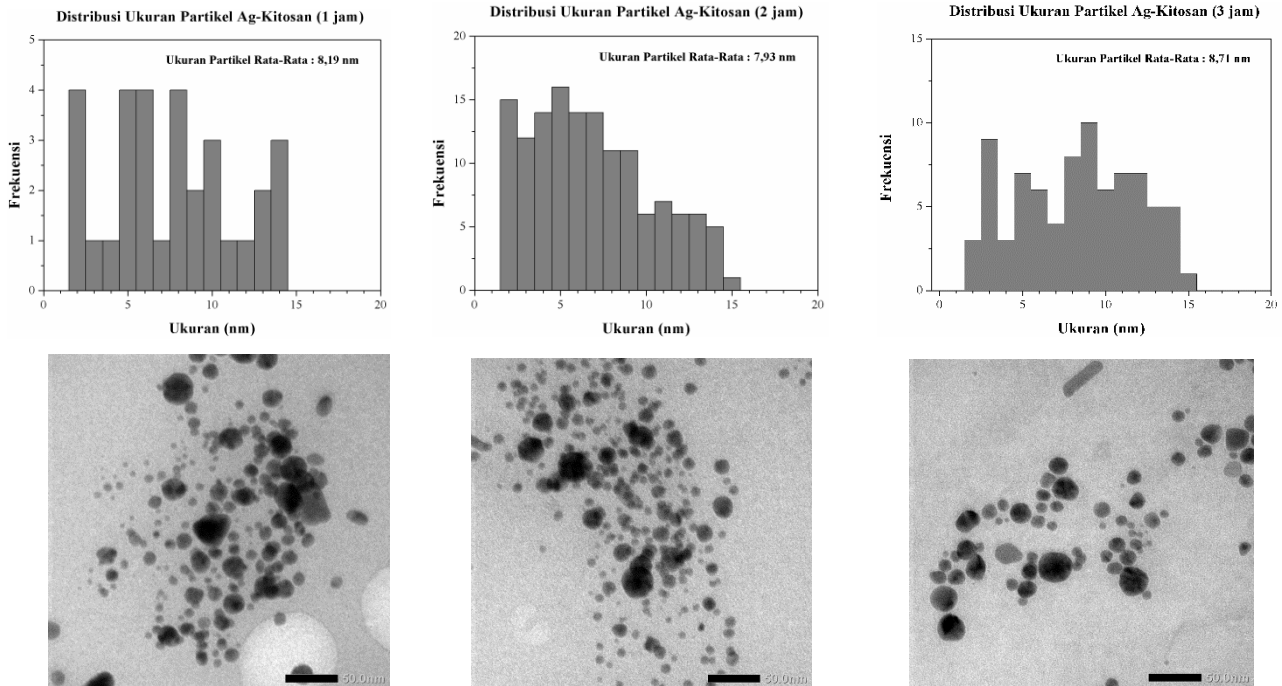
Hasil monitoring pembentukan AgNPs dalam kitosan dengan dan tanpa reduktor glukosa menggunakan spektrofotometer UV-Vis seperti terlihat pada Gambar 2 juga menunjukkan nilai absorbansi pada λ_{\max} yang terus meningkat menandakan bahwa AgNPs terus terbentuk selama 3 jam waktu sintesis. Jika dibandingkan besarnya nilai absorbansi larutan AgNPs dalam kitosan yang disintesis menggunakan reduktor glukosa dan tanpa menggunakan reduktor terlihat bahwa nilai absorbansi AgNPs yang disintesis dengan reduktor glukosa lebih tinggi dibandingkan tanpa reduktor. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan glukosa yang berfungsi sebagai reduktor dalam sintesis ini mampu meningkatkan laju pembentukan AgNPs.

b. Ukuran, morfologi, dan distribusi ukuran nanopartikel perak

Larutan AgNPs dianalisis menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM) yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik ukuran, morfologi, dan distribusi ukuran dari AgNPs dalam kitosan yang telah disintesis. Gambar 3 menunjukkan distribusi ukuran partikel dan ukuran partikel rata-rata sampel AgNPs dalam kitosan yang diperoleh dari hasil

sintesis selama 1, 2 dan 3 jam. Ukuran partikel rerata AgNPs yang terbentuk selama 1, 2 dan 3 jam waktu sintesis memiliki besar yang hampir sama berkisar 8-9 nm dengan distribusi ukuran yang cukup lebar berkisar antara 2-16 nm. Ukuran partikel rerata yang hampir sama antara hasil sintesis 1 jam, 2 jam, dan 3 jam menunjukkan bahwa ukuran partikel AgNPs dalam kitosan yang disintesis dalam kurun waktu 3 jam tidak terpengaruh oleh lamanya waktu sintesis. Hal ini membuktikan bahwa kitosan sebagai *capping agent* memiliki kemampuan untuk membatasi pertumbuhan partikel AgNPs (mencegah terjadinya agregasi).

Distribusi ukuran partikel yang cukup lebar menandakan kitosan sebagai *capping agent* dalam sintesis AgNPs ini kurang mampu membuat partikel AgNPs agar ukurannya homogen. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh sifat kitosan yang memiliki derajat polimerisasi yang sangat heterogen walaupun dalam spesifikasi yang sama, terutama kitosan yang dipreparasi secara kimiawi. Berdasarkan hasil analisis TEM ini juga dapat ditentukan bahwa morfologi AgNPs yang dihasilkan sebagian besar berbentuk *spheric*.

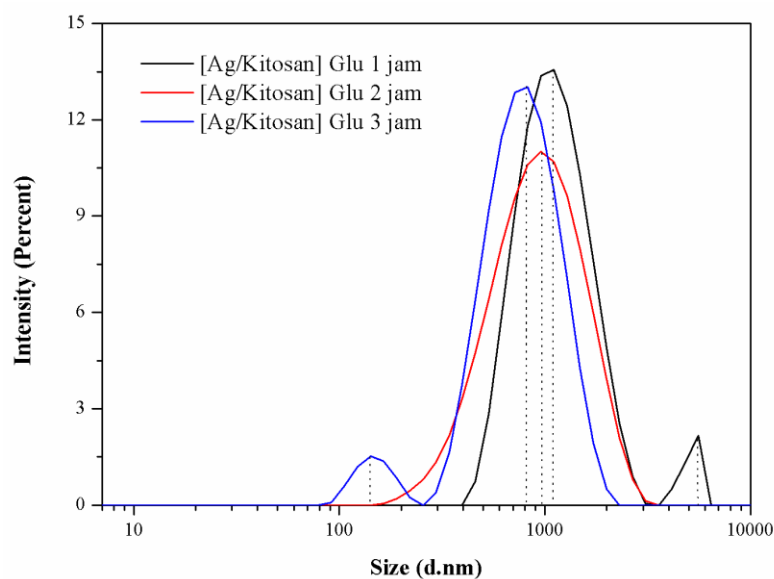


Gambar 3. Hasil karakterisasi TEM dan distribusi ukuran AgNPs-kitosan dengan lama sintesis 1, 2 dan 3 jam (Perbesaran 80.000x)

c. Distribusi nanopartikel perak pada kitosan berdasarkan Karakterisasi PSA

Particle Size Analyzer (PSA) merupakan instrumen yang digunakan untuk menganalisis distribusi ukuran suatu partikel berukuran 0,1 nm-10 μm yang didasarkan

metode *Dynamic Light Scattering* yang memanfaatkan hamburan inframerah yang ditembakkan ke sampel sehingga menghasilkan gerak *Brown* (gerak acak dari partikel yang sangat kecil dalam cairan akibat benturan dengan molekul-molekul yang ada dalam zat cair).

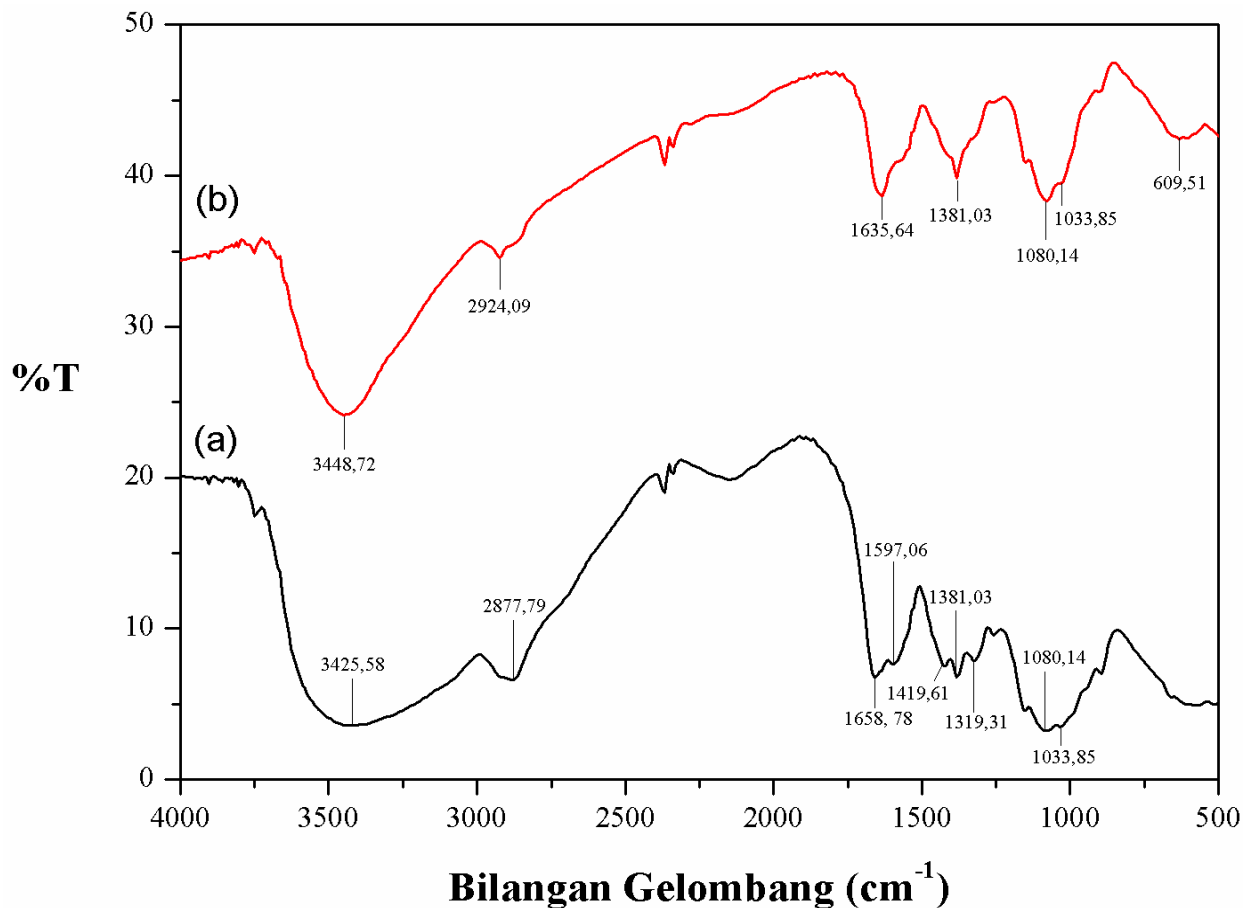


Gambar 4. Hasil karakterisasi PSA sampel AgNPs-kitosan dengan variasi lama sintesis 1, 2 dan 3 jam

Gambar 4 menunjukkan bahwa distribusi ukuran AgNPs dalam kitosan memiliki ukuran partikel rata-rata (Z_{Ave}) di atas 500 nm dengan distribusi ukuran berkisar antara 100-10.000 nm, jauh dari ukuran partikel perak hasil analisis TEM. Hal ini menandakan bahwa AgNPs yang disintesis telah terkompositkan dengan kitosan sehingga mobilitas partikel perak yang terukur pada PSA teranalisis sebagai komposit [Ag-Kitosan].

d. Identifikasi gugus fungsi *capping agent* dan nanopartikel perak

Identifikasi gugus fungsi *capping agent* dan penstabil yaitu kitosan terhadap AgNPs menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared*. Larutan sampel AgNPs dalam kitosan disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 2x10 menit. Larutan didekantir sehingga diperoleh endapan yang selanjutnya dipreparasi menjadi pelet KBr untuk dianalisis.



Gambar 5. Spektre FTIR serbuk : (a) kitosan dan (b) Ag-kitosan

Tabel 2. Perbandingan bilangan gelombang (cm^{-1}) dan gugus fungsi pada kitosan dan Ag-Kitosan

Gugus Fungsi	Kitosan(a)	[Ag/Kitosan]/(b)	[Ag/Kitosan]*
OH ulur	3425,58	3448,72	3420
NH (-NH ₂) ulur	3340,71	-	3286
CH (-CH ₂ -) ulur	2877,79	2924,09	2895
C=O (-NHCOCH ₃ -) ulur	1658,78	1635,64	1634
NH (R-NH ₂) tekuk	1597,06	-	1544
C-O (-C-O-C-) ulur (asimetris/simetris)	1080,14; 1033,85	1080,14; 1033,85	1080; 1053

*Sumber : Ahmad *et al.* (2011)

Berdasarkan Gambar 5 dan data Tabel 2, spektra FTIR Ag-Kitosan mengalami perubahan pada beberapa puncak serapan yaitu pada bilangan gelombang gugus OH ulur ($3425,58 \text{ cm}^{-1}$), dan C=O ulur ($1658,78 \text{ cm}^{-1}$). Vibrasi gugus NH ulur dan NH tekuk mengalami kehilangan serapan dibandingkan pada spektra FTIR kitosan. Data tersebut selaras dengan penelitian Ahmad *et al.* (2011). Selain itu, Modrzejewska *et al.* (2009) menjelaskan adanya perubahan di daerah sidik jari pada bilangan gelombang yang lebih rendah ($650\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$) memungkinkan terjadi reaksi reduksi pada ion Ag^+ menjadi Ag^0 . Hal tersebut ditandai dengan adanya puncak serapan yang lemah pada bilangan gelombang $609,51 \text{ cm}^{-1}$. Dari hasil karakterisasi FT-IR tersebut, dapat disimpulkan bahwa interaksi antara AgNPs pada kitosan sebagai *capping agent* dan penstabil terjadi melalui atom N pada gugus NH_2 dan atom O pada gugus OH, dan C=O.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. AgNPs berhasil disintesis menggunakan kitosan sebagai *capping agent* dan glukosa sebagai pereduksi.
2. Glukosa sebagai agen pereduksi mampu mempercepat laju reaksi pembentukan AgNPs
3. Kitosan sebagai *capping agent* memiliki kemampuan yang baik membatasi terjadinya agregasi partikel AgNPs. Ukuran partikel rerata AgNPs dalam kitosan berkisar antara 8-9 nm, berbentuk sferis dengan distribusi ukuran antara 2-16 nm, dan terkompositkan pada kitosan
4. Interaksi AgNPs dengan kitosan terjadi melalui atom N pada gugus NH_2 dan atom O pada gugus OH dan C=O.

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.
- Ayala, G., L. C. O. Vercik, T. A. V. Menezes, & A. Vercik. 2012. A Simple and Green Method for Synthesis of Ag and Au Nanoparticles using Biopolymers and Sugars as Reducing Agent. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **1386**: 645-652.
- Dawy, M., H. M. Rifaat, S.A. Moustafa, & H.A. Mousa. 2012. Physicochemical Studies on Nano Silver Particles Prepared by Different Techniques. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences.* **6**: 257-262.
- El-Kheshen, A. A. & S. F. G. El-Rab. 2012. Effect of Reducing and Protecting Agents on Size of Silver Nanoparticles and Their Anti-bacterial Activity. *Der Pharma Chemica.* **4**: 53-65.
- Ghorbani, H. R., A. A. Safekordi, H. Attar, & S. M. R. Sorkhabadib. 2011. Biological and Non-biological Methods for Silver Nanoparticles Synthesis. *Chem. Biochem. Eng. Q.* **25**: 317-326.
- Guzman, M. G., J. Dille, & S. Godet. 2009. Synthesis of Silver Nanoparticles by Chemical Reduction Method and Their Antibacterial Activity. *International Journal of Chemical and Biomolecular Engineering.* **2**: 104-111.
- Hettiarachchi, M. A. & P. A. S. R. Wickramarachchi. 2011. Synthesis of Chitosan Stabilized Silver Nanoparticles Using Gamma Ray Irradiation and Characterization. *J Sci. Univ. Kelaniya.* **6**:65-75.
- Korbekandi, H. & S. Irvani. 2012. *Silver Nanoparticles, The Delivery of Nanoparticles.* Editor A.A. Hashim. InTech.
<http://www.intechopen.com/books/the-delivery-of-nanoparticles/silver-nanoparticles>
- Maciolk, A. & H. Ritter. 2014. One Pot Synthesis of Silver Nanoparticles Using a Cyclodextrin Containing Polymer as Reductant and Stabilizer. *Beilstein J. Nanotechnol.* **5**:380–385.
- Modrzejewska, Z., M. Dorabialska, R. Zarzycki, & A. W. Pająk. 2009. The Mechanism of Sorption of Ag⁺ Ions on Chitosan Microgranules: IR and NMR Studies. *Progress on Chemistry and Application of Chitin and Its Derivatives* **14**: 49-64.
- Mostafa, A., H. Oudadesse, Y. Legal, E. Foad, & G. Cathelineau. 2011. Characteristics of Silver-Hydroxyapatite/PVP Nanocomposite. *Bioceramics Development and Applications.* **1**: 1-3.
- Raffi, M., F. Hussain, T. M. Bhatti, J. I. Akhter, A. Hameed, & M. M. Hasan. 2008. Antibacterial Characterization of Silver Nanoparticles against *E. Coli* ATCC-15224. *J. Mater. Sci. Technol.* **24**: 192-196.
- Rinaudo, M. 2006. Chitin and Chitosan: Properties and Applications. *Prog. Polym. Sci.* **31**: 603-632.
- Rivero, P. J., J. Goicoechea, A. Urrutia, & F. J. Arregui. 2013. Effect of Both Protective and Reducing Agents in The Synthesis of Multicolor Silver Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters.* **8**: 1-9.
- Roldan, M.V., N. Pellegrini, & O. de Sanctis. 2013. Electrochemical Method for Ag-PEG Nanoparticles Synthesis. *Journal of Nanoparticles* **2013**: 1-7.
- Saputra, A. H., A. Haryono, J. A. Laksmono, & M. H. Anshari. 2011. Preparasi Koloid *Nanosilver* Dengan Berbagai Jenis Reduktor Sebagai Bahan Anti Bakteri. *Jurnal Sains Materi Indonesia.* **12**: 202-208.
- Shameli, K., M. Ahmad, S. D. Jazayeri, S. Sedaghat, P. Shabanzadeh, H. Jahangirian, M. Mahdavi, & Y. Abdollahi. 2012. Synthesis and Characterization of Polyethylene Glycol Mediated Silver

Nanoparticles by the Green Method. *Int. J. Mol. Sci.* **13**: 6639-6650.

Usman, M. S., N. A. Ibrahim, K. Shameli, N. Zainuddin, & W. M. Z. W. Yunus. 2012. Copper Nanoparticles Mediated by Chitosan: Synthesis and Characterization via Chemical Methods. *Molecules* **17**: 14928-14936.