

KAJIAN PENGARUH RASIO MOL GLUKOSA DAN POLIETILENA GLIKOL 6000 DENGAN AgNO₃ TERHADAP EFEKTIVITAS SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK DAN STABILITASNYA PADA SAAT PENYIMPANAN

Study on effect of glucose mole ratio and polyethylene glycol with AgNO₃ on the effectivity of silver nanoparticles synthesis and its storage stability

Ahmad Budi Junaidi^{1,2)}, Nurul Zanah²⁾, & Sunardi^{1,2)}

¹⁾Laboratorium Biomaterial PS Kimia FMIPA ULM

²⁾Program Studi Kimia FMIPA ULM

Jl. Ahmad Yani Km. 35,8 Banjarbaru 70714 Kalimantan Selatan

Email : abjunaidi@ulm.ac.id

ABSTRAK

Kajian pengaruh rasio mol glukosa dan Polietilena Glikol 6000 dengan AgNO₃ terhadap efektivitas sintesis nanopartikel perak dan stabilitasnya pada saat penyimpanan telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data ilmiah mengenai pengaruh rasio mol agen pereduksi dan *capping agent* terhadap hasil sintesis nanopartikel perak (AgNP). Sintesis AgNP dilakukan dengan metode reduksi kimia dan monitoring pembentukan AgNP dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kestabilan AgNP terhadap penyimpanan dapat dilihat dari pergeseran λ_{maks} dan absorbansi yang kecil selama penyimpanan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi TEM digunakan untuk memperoleh morfologi, ukuran dan distribusi ukuran AgNP. Hasil penelitian menunjukkan rasio mol berpengaruh terhadap efektivitas sintesis maupun kestabilan AgNP. Rasio mol Ag⁺:D(+)-glukosa yang efektif yaitu 1:10 dan nanopartikel yang paling stabil adalah pada rasio mol Ag⁺ : PEG-6000 dengan perbandingan 10:4 ditandai dengan tidak berubahnya λ_{maks} yang signifikan selama 7 hari. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa ukuran partikel rata-rata AgNP dengan rasio mol Ag⁺ : D(+)-glukosa : PEG-6000 (1:10:4) yaitu $6,51 \pm 2,06$ nm dan morfologi berbentuk *spheric*.

Kata Kunci: *Nanopartikel perak, reduktor, glukosa, capping agent, polietilena glikol 6000*

ABSTRACT

A study on the effect of glucose mole ratio and polyethylene glycol with AgNO₃ on the effectivity of silver nanoparticles synthesis and its storage stability has been done. The aim of this study is to obtain scientific data on the effect of mole ratio of reductor agent and capping agent on silver nanoparticles sythesis. Silver nanoparticles were sythesized by reduction method and analyzed by UV-Vis spectrophotometer to observe the formation process of silver nanoparticles. The storage stability of silver nanoparticles were studied by observing the shifting of λ_{max} and a small absorbance during retention. Silver nanoparticles with the highest effectivity and stability were characterized using TEM to observe the morphology, particle size and size distribution. The results showed that mole ratio affected the effectivity of silver nanoparticle synthesis and its stability. Nanoparticle formation was marked by spesific absorbance on λ_{max} 400-442 nm. An Ag⁺:D(+)-glucosa mole ratio of 1:10 lead to an effective synthesis process, and the most stable nanoparticles were obtained when a 10:4 mole ratio of Ag⁺ : PEG-6000 were used, which was marked by no significant difference on λ_{max} for 7 days. This study also showed that the averagesize of the silver nanoparticles with a mole ratio Ag⁺:D(+)-glukosa:PEG-6000 (1:10:4) was $6.51 \text{ nm} \pm 2.06$ with a spheric morphology.

Keyword: *Silver nanoparticle, reduktor, glucose, capping agent, polyehtylene glycol 6000*

PENDAHULUAN

Nanopartikel merupakan suatu partikel dengan ukuran nanometer, yaitu sekitar 1–100 nm. Material yang mempunyai ukuran nano akan mempunyai sifat-sifat yang berbeda dari material asalnya. Karakteristik spesifik dari nanopartikel tersebut bergantung pada ukuran, distribusi, morfologi, dan fasanya. Nanopartikel perak merupakan salah satu material nano yang banyak dipelajari karena memiliki sifat kimia, fisika dan mikrobakterial (Korbekandi & Iravani, 2012). Sifat ini telah digunakan dalam berbagai aplikasi dalam kehidupan manusia seperti industri produk pangan, bidang katalisis, elektronik, fotonik terutama dalam bidang tekstil sebagai anti jamur dan antibakteri (Salasa *et al.*, 2016).

Sintesis AgNP dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti reduksi kimia, dekomposisi termal, elektrokimia, sonokimia, *microwave*, dan mikroemulsi (Salasa *et al.*, 2016). Metode reduksi kimia sering digunakan dalam sintesis AgNP karena memiliki langkah kerja yang mudah, murah dan menggunakan temperatur rendah. Sintesis nanopartikel tanpa *capping agent* yang telah dilaporkan Sulistiawaty (2015) menghasilkan AgNP dengan kestabilan yang rendah karena mudah teraglomerasi. Sintesis AgNP dengan menggunakan kitosan sebagai *capping agent* menghasilkan AgNP yang baik, namun jika dilapiskan pada kain

menyebabkan kekakuan pada kain (Junaidi *et al.*, 2011).

Sintesis yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan agen penstabil *polietilena glikol-6000* (PEG-6000) dan D(+)-glukosa sebagai reduktor. Korbekandi & Iravani (2012) telah melaporkan bahwa PEG merupakan agen pelindung yang efektif untuk menstabilkan nanopartikel. Penggunaan D(+)-glukosa sebagai pereduksi dan PEG-6000 sebagai *capping agent* merupakan suatu alternatif pengganti bahan-bahan kimia yang tidak ramah lingkungan dan menyebabkan toksik terhadap makhluk hidup seperti natrium borohidrat (Salasa *et al.*, 2016).

Penelitian ini juga mengkaji pengaruh rasio mol D(+)-glukosa sebagai agen pereduksi dan PEG-6000 sebagai *capping agent*. Kajian pengaruh rasio mol agen pereduksi perlu dilakukan untuk mengetahui berapa rasio yang efektif untuk menghasilkan AgNP yang ditandai dengan absorbansi tertinggi. Pengaruh rasio mol PEG-6000 dilakukan agar menghasilkan AgNP yang memiliki kestabilan terbaik terhadap penyimpanan. Kestabilan terbaik ditandai dengan pergeseran panjang gelombang terkecil. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui perbandingan rasio mol pereduksi dan *capping agent* yang paling efektif dan memiliki kestabilan terbaik.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas seperti gelas piala, gelas ukur, labu takar, pengaduk gelas dan termometer; peralatan analisis seperti spektrofotometer UV-Vis, TEM, neraca analitik, *magnetic stirrer*.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah AgNO₃ (99,98%; Merck), PEG-6000 (Merck), D(+)-Glukosa (Merck), dengan spesifikasi pro analisis (p.a) dan akuades.

Prosedur Kerja

Sintesis AgNP

Sintesis AgNP mengikuti prosedur Ahmad *et al.* (2011) secara reduksi kimia dengan melakukan modifikasi pada rasio agen pereduksi organik yaitu D(+)-glukosa dan penggunaan PEG-6000 sebagai *capping agent* terhadap AgNO₃.

Sintesis AgNP dengan variasi rasio mol AgNO₃ dan glukosa sebagai agen pereduksi

Sintesis AgNP dilakukan dengan metode reduksi kimia dan diawali dengan membuat larutan Ag⁺ 500 ppm menggunakan AgNO₃ 99,98% yang dilarutkan dalam akuades dan ditambahkan PEG-6000 dengan rasio 10:1 serta diaduk selama 1 jam pada suhu 45°C. Ke dalam larutan [Ag-PEG]⁺ ditambahkan agen pereduksi D(+)-glukosa dengan variasi rasio mol Ag⁺: reduktor adalah 1:1, 1:10 & 1:20. Kemudian dipanaskan pada suhu 45 °C dan

dilakukan karakterisasi pada 1, 2 dan 3 jam menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 300-700 nm. Sampel dengan hasil absorbansi tertinggi diuji stabilitasnya terhadap waktu penyimpanan.

Sintesis AgNP dengan Variasi Rasio Mol AgNO₃ dan PEG sebagai *Capping Agent*

Sintesis AgNP diawali dengan membuat larutan Ag⁺ 500 ppm menggunakan AgNO₃ 99,98% yang dilarutkan dalam akuades dan ditambahkan PEG-6000 dengan rasio mol Ag⁺ dengan PEG adalah 10:1, 10:2 dan 10:4. Larutan [Ag-PEG]⁺ diaduk selama 1 jam pada suhu 45°C dan ditambahkan D(+)-glukosa dengan rasio mol yang memiliki absorbansi tertinggi pada sintesis sebelumnya. Kemudian sintesis larutan [glukosa/Ag-PEG]⁺ dilanjutkan hingga 1, 2 dan 3 jam serta dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Efektivitas sintesis dan stabilitas AgNP

Efektivitas sintesis AgNP dari reduksi ion Ag⁺ dan stabilitasnya setelah 1, 3, 5, 7 dan 14 hari penyimpanan diamati menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Selain untuk memonitor efektivitas pembentukan AgNP, spektrofotometer UV-Vis juga dapat digunakan untuk mempelajari stabilitas AgNP pada periode waktu tertentu dengan adanya pergeseran λ_{maks} . Sampel larutan AgNP yang disintesis ditempatkan dalam kuvet untuk selanjutnya dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang

gelombang 300-700 nm. Data tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh agen pereduksi terhadap efektivitas dan *capping agent* terhadap stabilitas AgNP.

Ukuran dan distribusi ukuran AgNP

Sampel AgNP yang telah diketahui efektivitas dan stabilitas terbaik dianalisis menggunakan TEM untuk menentukan ukuran dan distribusi ukuran AgNP yang terbentuk.

Analisis data

Hasil analisis spektrofotometri UV-Vis dibuat dalam bentuk grafik serta tabel untuk mengetahui pengaruh rasio mol PEG-6000 sebagai *capping agent* dan D(+)-glukosa sebagai pereduksi terhadap efektivitas pembentukan AgNP. Kestabilan AgNP dapat diketahui dengan melihat pergeseran panjang gelombang yang diperoleh pada pengukuran waktu penyimpanan hari ke-1, 3, 5, 7 dan 14. Hasil pengukuran AgNP pada pergeseran panjang gelombang terkecil dianalisis menggunakan TEM. Gambar TEM yang diperoleh diolah menggunakan *Software Simple Measure* untuk mengetahui ukuran dan distribusi ukuran AgNP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Rasio Mol AgNO₃ dan Glukosa dalam Sintesis AgNP

Sintesis yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode kimia yaitu melalui reduksi kimia. Komponen penting yang dibutuhkan pada sintesis ini yaitu AgNO₃, D(+)-glukosa dan PEG-6000. Perubahan warna larutan menjadi warna kuning menunjukkan terbentuknya AgNP.

Sintesis dengan variasi rasio mol Ag⁺:D(+)-glukosa berpengaruh terhadap warna AgNP yang terbentuk. Hasil sintesis AgNP dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan visual pada Gambar 1 terlihat bahwa pada rasio mol Ag⁺ terhadap D(+)-glukosa 1:1 hasil sintesis tidak berwarna yang mengindikasikan tidak terbentuknya AgNP. Sedangkan pada perbandingan 1:10 hasil sintesis berwarna kuning kecoklatan yang mengindikasikan terbentuknya AgNP dan selaras dengan penelitian Ahmad *et al.*, (2011) yang melaporkan semakin pekatnya warna seiring dengan lamanya waktu sintesis. Semakin pekatnya warna menunjukkan semakin banyak AgNP yang terbentuk.

Berbeda halnya pada rasio mol 1:20 yang menunjukkan bertambahnya AgNP yang terbentuk pada waktu sintesis 1 dan 2 jam yang kemudian berkurang setelah reaksi berjalan selama 3 jam. Memudarnya warna kuning pada koloid nanopartikel dengan rasio mol 1:20 disebabkan karena terjadinya aglomerasi.

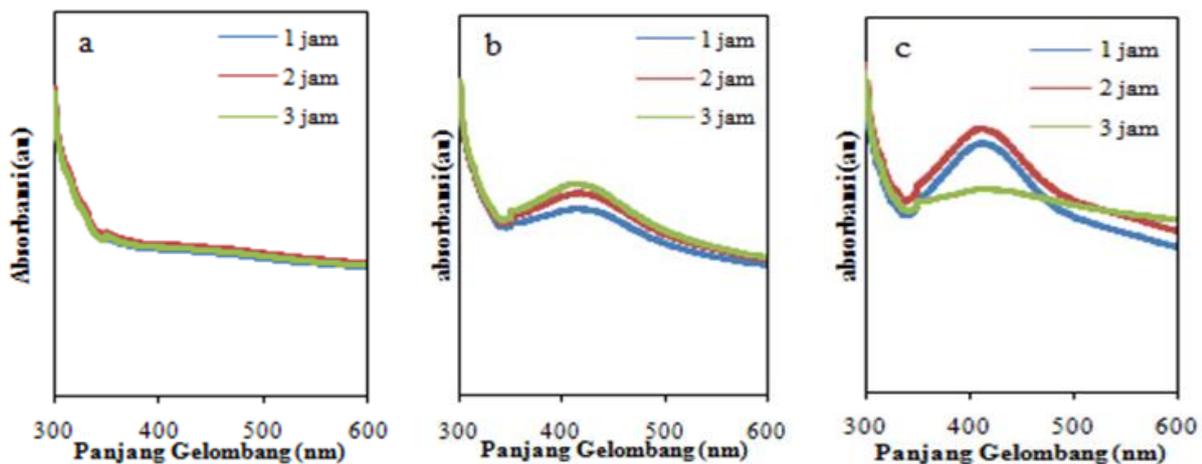
**Keterangan :**

1. Satu jam setelah penambahan D(+)-glukosa
2. Dua jam setelah penambahan D(+)-glukosa
3. Tiga jam setelah penambahan D(+)-glukosa

Gambar 1. Hasil sintesis AgNP secara reduksi kimia dengan variasi rasio mol $\text{Ag}^+:\text{D}(+)\text{-glukosa} = 1:1$ (a), $1:10$ (b), dan $1:20$ (c) berdasarkan fungsi waktu

Hasil sintesis AgNP menggunakan variasi rasio mol Ag^+ dengan D(+)-glukosa dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis berdasarkan fungsi waktu untuk mengetahui pembentukan AgNP. Absorbansi pada panjang gelombang

maksimum dari suatu AgNP menunjukkan banyaknya AgNP yang terbentuk (An *et al.*, 2011). Selain itu, juga panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) menggambarkan sebaran ukuran partikel yang dihasilkan dari proses sintesis (Nalawati, 2015).



Gambar 2. Spektrum UV-Vis AgNP $\text{Ag}^+ : \text{D}(+)\text{-Glukosa}$ pada rasio mol $1:1$ (a), $1:10$ (b), dan $1:20$ (c) berdasarkan fungsi waktu

Tabel 1. Data analisis spektrofotometer UV-Vis dengan berbagai rasio mol $\text{Ag}^+ : \text{D}(+)\text{-glukosa}$

No	rasio mol $\text{Ag}^+:\text{D}(+)\text{-glukosa}$	Waktu (jam)	Absorbansi	λ_{maks} (nm)
1	1:1	1	0,572	350
		2	0,597	350
		3	0,586	350
2	1:10	1	0,688	419
		2	0,745	417
		3	0,775	412
3	1:20	1	0,931	413
		2	0,985	415
		3	0,756	429

Gambar 2 dan Tabel 1 menunjukkan spektrum serta absorbansi dan λ_{maks} AgNP hasil sintesis berdasarkan fungsi waktu dengan rasio mol $\text{Ag}^+:\text{D}(+)\text{-glukosa}$ sebesar 1:1, 1:10 dan 1:20. Data tersebut menunjukkan bahwa rasio mol $\text{Ag}^+:\text{D}(+)\text{-glukosa}$ pada perbandingan 1:10 dan 1:20 menghasilkan AgNP sedangkan pada perbandingan 1:1 belum menghasilkan AgNP. Hal ini berdasarkan pada ciri khas AgNP yang umumnya memiliki absorbansi kuat pada panjang gelombang 400-442 nm (Salasa *et al.*, 2016).

Peningkatan absorbansi menandakan AgNP yang terbentuk semakin banyak. Ahmad *et al.* (2011) menjelaskan bahwa hal tersebut terjadi karena proses reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 masih berlangsung sehingga konsentrasi AgNP yang terbentuk mengalami peningkatan.

Fenomena yang terjadi pada rasio mol 1:20 yaitu terjadi penambahan jumlah AgNP setelah waktu sintesis 2 jam dan berkurangnya jumlah AgNP setelah reaksi berjalan 3 jam. Hal ini menandakan waktu optimal pembentukan AgNP pada perbandingan rasio mol 1:20 adalah selama 2 jam. Berdasarkan hasil penelitian tersebut

maka dapat diketahui bahwa rasio mol $\text{Ag}^+ : \text{D}(+)\text{-glukosa}$ yang paling efektif adalah 1:10.

Pengaruh Rasio Mol AgNO_3 dan PEG-6000 sebagai *Capping Agent* dalam Sintesis AgNP

Kajian sintesis variasi rasio mol PEG-6000 dengan Ag^+ bertujuan untuk menentukan rasio mol yang paling efektif dalam menghasilkan AgNP dengan kestabilan yang tinggi. Gambar 3 menunjukkan bahwa AgNP telah terbentuk pada rasio mol $\text{Ag}^+ : \text{PEG-6000}$ dengan perbandingan 10:2 dan 10:4. Sedangkan jumlah PEG-6000 pada rasio mol 10:1 belum efektif digunakan saat sintesis.

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa AgNP telah terbentuk pada rasio mol 1:10 saat waktu sintesis 1 jam. Namun, pada waktu reaksi yang ke 2 dan 3 jam dengan λ_{maks} 350 nm menandakan bahwa nanopartikel menghilang dan membentuk ion perak. Sedangkan pada rasio mol 10:2 dan 10:4 terbentuk AgNP dengan kisaran λ_{maks} sebesar 416-419 nm. Selain menandakan terbentuknya AgNP λ_{maks} juga dapat mengindikasikan ukuran partikel. Panjang gelombang maksimum yang membesar ini menandakan membesarnya ukuran AgNP.



Keterangan :

1. Satu jam setelah penambahan $\text{D}(+)\text{-glukosa}$
2. Dua jam setelah penambahan $\text{D}(+)\text{-glukosa}$
3. Tiga jam setelah penambahan $\text{D}(+)\text{-glukosa}$

Gambar 3. Hasil sintesis AgNP secara reduksi kimia $\text{Ag}^+ : \text{PEG-6000}$ dengan variasi rasio mol 10:11 (a), 10:2 (b), dan 10:4 (c) berdasarkan fungsi waktu

Tabel 2. Data Analisis Spektrofotometer UV-Vis dengan Berbagai Rasio Mol Ag⁺ : PEG-6000

No	rasio mol Ag ⁺ :PEG-6000	Waktu (jam)	Absorbansi	λ_{maks} (nm)
1	10:1	1	0,637	434
		2	0,645	350
		3	0,580	350
2	10:2	1	0,934	416
		2	0,984	417
		3	0,999	416
3	10:4	1	0,893	419
		2	1,164	418
		3	1,287	417

Absorbansi pada λ_{maks} dengan rasio mol 10:2 dan 10:4 meningkat seiring berjalannya waktu sintesis. Rasio mol Ag⁺ : PEG-6000 perbandingan 10:4 dalam sintesis AgNP memberikan peningkatan absorbansi yang relatif signifikan dibandingkan dengan rasio mol 10:2. Rasio mol yang efektif digunakan dalam sintesis ditandai dengan banyaknya jumlah nanopartikel yang terbentuk. Berdasarkan data hasil absorbansi yang didapatkan dapat diketahui rasio mol Ag⁺ : PEG-6000 paling efektif adalah 10:4.

Stabilitas AgNP Terhadap Penyimpanan selama 14 Hari

Spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk mempelajari stabilitas AgNP pada periode waktu tertentu. Monitoring stabilitas AgNP dapat dipastikan dengan

berdasarkan pergeseran λ_{maks} dan absorbansi dalam penyimpanan selama 14 hari pada suhu ruangan. Uji stabilitas dilakukan pada sampel dengan rasio mol Ag⁺ : PEG-6000 dengan perbandingan 10: 2 dan 10:4 karena pada sampel 10:1 tidak menghasilkan AgNP. Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa λ_{maks} AgNP tidak mengalami perubahan yang signifikan hingga hari ke 7. Namun, setelah penyimpanan dilanjutkan hingga 14 hari ukuran AgNP membesar ditandai dengan pergeseran λ_{maks} yang signifikan. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa AgNP hanya stabil dalam penyimpanan selama 7 hari. Kestabilan larutan AgNP diketahui dari terjadinya perubahan puncak serapan.

Tabel 3. Data analisis spektrofotometer UV-Vis dengan rasio mol Ag⁺ terhadap PEG-6000

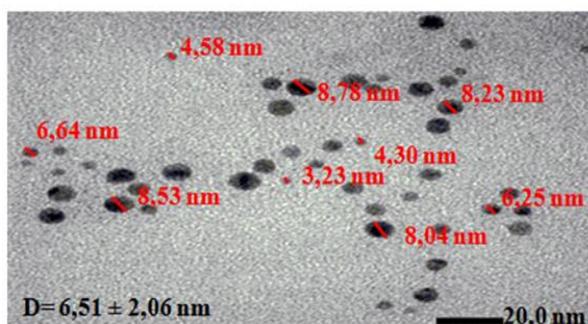
No	rasio mol Ag ⁺ :PEG-6000	Waktu (jam)	Absorbansi	λ_{maks} (nm)
1	10:2	1	0,875	417
		3	0,797	418
		5	0,732	419
		7	0,740	420
		14	0,622	430
2	10:4	1	1,190	416
		3	1,132	416
		5	1,053	417
		7	1,021	418
		14	0,876	425

Tabel 3 juga menunjukkan terjadinya penurunan absorbansi sedikit demi sedikit hingga 14 hari akibat adanya proses agregasi. Absorbansi berkorelasi dengan jumlah nanopartikel. Turunnya absorbansi menandakan berkurangnya jumlah nanopartikel yang terbentuk.

Berdasarkan hasil yang didapatkan maka diketahui bahwa rasio mol yang efektif dan memiliki stabilitas terbaik adalah 10:4 karena memiliki absorbansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan rasio 10:2 sehingga menandakan bahwa nanopartikel yang terbentuk lebih banyak. Selain itu memiliki kestabilan yang cukup baik karena tidak mengalami perubahan puncak serapan yang signifikan hingga hari ke-7.

Ukuran, Morfologi, dan Distribusi Ukuran AgNP

Analisis menggunakan TEM bertujuan untuk mengetahui karakteristik ukuran, morfologi dan distribusi ukuran dari AgNP yang telah disintesis dan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Morfologi dan ukuran partikel pada waktu sintesis 3 jam dengan rasio mol Ag^+ : D(+)-glukosa : PEG-6000 (1:10:4)

Berdasarkan Gambar 4 ukuran AgNP yang dihasilkan memiliki diameter rata-rata sebesar $6,51 \pm 2,06$ nm. Distribusi ukuran AgNP cenderung heterogen. Distribusi ukuran yang heterogen dipengaruhi oleh kemampuan *capping agent* dan penstabil yang kurang mampu membatasi pertumbuhan partikel perak.

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa morfologi AgNP berbentuk *spheric* dengan ukuran yang cenderung bervariasi akibat efek dari agregasi nanopartikel. Kecenderungan nanopartikel untuk beragregasi disebabkan oleh adanya gerak *brown* dan gaya Van Der Waals dalam larutan AgNP (Haryani *et al.*, 2016). Hal tersebut menyebabkan ukuran atau diameter AgNP cenderung tidak seragam (Masakke *et al.*, 2014).

KESIMPULAN

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

1. Rasio mol Ag^+ terhadap agen pereduksi D(+)-glukosa mempengaruhi efektivitas sintesis AgNP dengan rasio mol yang paling efektif adalah 1:10.
2. Rasio mol Ag^+ terhadap *capping agent* PEG-6000 mempengaruhi efektivitas dan stabilitas AgNP dengan rasio mol yang paling efektif adalah 10:4.
3. Ukuran partikel rata-rata AgNP pada rasio mol Ag^+ : D(+)-glukosa : PEG-6000 (1:10:4) sebesar $6,51 \pm 2,06$ nm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada Program Studi Kimia dan Laboratorium FMIPA Universitas Lambung Mangkurat yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M.B., Tay, M.Y., Shameli, K., Hussein, M.Z. and Lim, J.J., 2011. Green synthesis and characterization of silver/chitosan/ polyethylene glycol nanocomposites without any reducing agent. *International journal of molecular sciences*, 12(8), pp.4872-4884.
- An, J., Luo, Q., Yuan, X., Wang, D. and Li, X., 2011. Preparation and characterization of silver-chitosan nanocomposite particles with antimicrobial activity. *Journal of Applied Polymer Science*, 120(6), pp.3180-3189.
- Haryani, Y., Kartika, G.F., Yuharmen, Y., Putri, E.M., Alchalis, D.T. and Melanie, Y., 2016. Pemanfaatan Ekstrak Air Rimpang Jahe Merah (*Zingiber officinale* Linn. var. *rubrum*) pada Biosintesis Sederhana Nanopartikel Perak. *Chimica et Natura Acta*, 4(3), pp.151-155.
- Junaidi, A.B., Wahyudi, A. and Umaningrum, D., 2015. Sintesis AgNPs Secara Reduksi Kimia Menggunakan Capping Agent Kitosan dan Pereduksi Glukosa. *Sains dan Terapan Kimia*, 9(2), pp.70-80.
- Junaidi, A.B., Kamil, I. and Sunardi, S., 2016. Stabilitas Lapisan Kitosan pada Kain Katun: Pengaruh Berat Molekul Kitosan. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 5(2), pp.96-104.
- Korbekandi, H. and Iravani, S., 2012. Silver Nanoparticles, The Delivery of Nanoparticles. Dr. Abbass A. Hashim (Ed.), ISBN: 978-953-51-0615-9. *InTech*.–2012. <http://www.intechopen.com/books/the-delivery-of-nanoparticles/silver-nanoparticles> (diakses tanggal 15 Agustus 2017)
- Nalawati, A. N. 2015. *Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) dengan Metode yang Ramah Lingkungan dan Kajian Aktifitasnya dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif*. Skripsi Program Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rifai, Y., 2017. Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Metanol Daun Kemangi (*Ocimum Citriodorum*). *Jurnal Chemistry*. 15(2), pp. 45-57.
- Salasa, D., Aritonang, H.F. and Kamu, V.S., 2016. Sintesis Nanopartikel Perak (Ag) Dengan Reduktor Natrium Borohidrida (NaBH_4) Menggunakan Matriks Nata-De-Coco. *Chemistry Progress*, 9(2), p.40-47.
- Saputra, A.H., Haryono, A., Laksmono, J.A. and Anshari, M.H., 2018. Preparasi koloid nanosilver dengan berbagai jenis reduktor sebagai bahan anti bakteri. *Jusamij Indonesian Journal of Materials Science*, 12(3), pp.202-208.
- Sulistiawaty, L. 2015. *Sintesis Nanopartikel Perak Terstabilkan Gelatin dan Tween 20 untuk Deteksi Ion Logam Hg^{2+}* . Tesis Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Wahyudi, T., Sugiyana, D. and Helmy, Q., 2011. Sintesis nanopartikel perak dan uji aktivitasnya terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. *Arena Tekstil*, 26(1).