



SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR DAUN JAMBU BIJI (*Psidium guajava* L.) DENGAN IRRADIASI *MICROWAVE*

Nurul Arifin*), Harjono dan Nanik Wijayati

Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Semarang

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

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima September 2016
Disetujui Oktober 2016
Dipublikasikan November 2016

Kata Kunci:
nanopartikel perak
bioreduktor
daun jambu biji
microwave
antibakteri

Abstrak

Penggunaan *microwave* dalam sintesis nanopartikel perak (NPP) telah banyak dilakukan, reduksi partikel perak dapat dilakukan secara cepat dengan menggunakan irradiasi *microwave*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi bioreduktor dan waktu sintesis NPP yang optimum dengan bantuan irradiasi *microwave*. Daun jambu biji mengandung senyawa metabolit sekunder yang memiliki aktivitas sebagai bioreduktor. Hasil penelitian menunjukkan ekstrak daun jambu biji yang dipreparasi dengan metode maserasi dan sokletasi dapat digunakan sebagai bioreduktor dalam sintesis NPP. Hasil pengukuran Spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa kondisi optimum adalah saat sintesis NPP menggunakan bioreduktor A 5%, B 3%, C dan D 1%. Waktu sintesis yang optimum dari penggunaan bioreduktor A dan C adalah 90 detik, sedangkan bioreduktor B antara 60-90 detik dan D adalah 120 detik. Karakterisasi TEM menunjukkan bahwa NPP mempunyai struktur *Face Centered Cubic (FCC)* dengan ukuran terkecil mencapai 6,41 nm dan rata-rata ukuran 21,04 nm. NPP hasil sintesis menunjukkan adanya aktivitas antibakteri terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. Daya hambat NPP terhadap bakteri *S. aureus* cenderung lebih kuat dibandingkan daya hambat terhadap bakteri *E. coli*.

Abstract

The uses of microwaves in the synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) have been widely applied, the reduction of the silver particles can be done quickly under microwave irradiation. This study aims to determine the bio-reductor concentration and time of optimum synthesis of AgNPs under microwave irradiation. Guava leaves contain secondary metabolites compounds that have activity as bio-reductor. The results show that guava leaf extract prepared by maceration and soxhlet method can be used as bio-reductor in the synthesis of AgNPs. The results of UV-Vis spectrophotometer measurements showed that the optimum condition is when the synthesis of AgNPs using bio-reductor A 5%, B 3% and C and D 1%. The optimum synthesis time to use of bio-reductor A and C is 90 s, while B 60-90 s and D is 120 s. TEM characterization showed that AgNPs have a structure Face Centered Cubic (FCC) with the smallest size reaches 6.41 nm and an average size 21.04 nm. AgNPs synthesized showed antibacterial activity against *E. coli* and *S. aureus* bacteria. Inhibition of AgNPs on *S. aureus* bacteria tend to be stronger than inhibition of *E. coli* bacteria.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
E-mail: nurularifin@students.unnes.ac.id

Pendahuluan

Perkembangan terkini memastikan bahwa nanoteknologi akan memainkan peran yang semakin penting dalam banyak teknologi (Mandal, *et al.*; 2006). Ada beberapa teknik sintesis nanopartikel secara kimia meliputi presipitasi, teknik hidrotermal, *micelle-assisted*, termolisis, fotolisis, sonolisis, sol-gel, poliol, dan reaksi temperatur tinggi poliol organik (Lalena, *et al.*; 2008). Metode produksi nanopartikel melalui rute fisik dan kimia yang berbeda memiliki kerugian tersendiri karena menghasilkan pencemaran lingkungan yang sangat besar dan produk sampingan berbahaya. Dengan demikian, perlu adanya kebutuhan untuk "green chemistry" yang menjamin metode bersih, tidak beracun, dan ramah lingkungan (Raghunandan, *et al.*; 2011). Penggunaan bioreduktor dalam sintesis nanopartikel telah dilakukan, diantaranya dengan ekstrak daun *Stigmaphyllon littorale* (Kudle, *et al.*; 2013), *Arbutus unedo* (Naik, *et al.*; 2013), *Azadirachta indica* (Renugadevi dan Aswinia; 2012) dan bunga *Datura metel* (Nethradevi, *et al.*; 2012).

Ketersediaan sumber daya alam di Indonesia sangat melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal. Hal ini memungkinkan untuk memperoleh reduktor alami. Bioreduktor dapat diperoleh dari bahan alam yang mengandung senyawa antioksidan atau poliol yang dapat mereduksi perak. Tumbuhan jambu biji dapat dilihat pada Gambar 1. Mailoa, *et al.* (2013) menyebutkan bahwa daun jambu biji mengandung saponin, flavonoid, tanin, eugenol, dan triterpenoid. Senyawa polifenol yang mendominasi yaitu flavonoid dan tannin.



Gambar 1. Daun jambu biji

Kedua senyawa fenolik tersebut memiliki potensial sebagai antioksidan dan mempunyai bioaktivitas sebagai obat. Selain flavonoid juga memiliki aktivitas sebagai antibakteri (Arima dan Danno; 2002). Tanaman ini sangat mudah ditemukan di Indonesia dan memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bioreduktor karena kandungan senyawa di dalamnya.

Sintesis NPP dapat dilakukan dengan cepat. Dengan bantuan irradiasi *microwave* reaksi hanya membutuhkan waktu yang singkat yaitu 90 detik. Rute ini dipilih untuk sintesis agar reaksi menjadi cepat dan untuk menjaga proses dengan lingkungan yang bersih dan hijau (Raghunandan, *et al.*; 2011). Penelitian lain menggunakan irradiasi *microwave* juga sudah dilakukan Kudle, *et al.* (2013) dan Renugadevi dan Aswinia (2012).

Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *hot plate* (Ika CERAMAG Midi), *heating mantle* (Electrothermal EM0500/CEX1), seperangkat soxhlet, *microwave* (LG MH6343BAK), spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UVmini-1240), TEM (JEOL JEM 1400), *Particle Size Analysis* (Malvern 1.20), *autoclave*. Bahan yang dipakai meliputi daun jambu biji yang diperoleh dari daerah Sekaran Gunungpati Semarang, perak nitrat *pro analyst* buatan Merck, etanol teknis, akuades, kertas saring, kertas *Whatman*, nutrient agar (NA), nutrient broth (NB), kertas cakram, suspensi bakteri *Eschericia coli* dan *Staphylococcus aureus*.

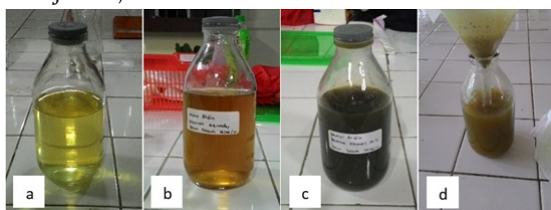
Preparasi ekstrak dilakukan dengan mencuci bersih daun jambu biji yang kemudian ditimbang 20 g dan diekstraksi dengan empat variasi. Ekstraksi yang pertama (bioreduktor A) mengacu pada Naik, *et al.* (2013) yang dimodifikasi, daun jambu biji dimasukkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditambah dengan akuades sebanyak 250 mL dan dipanaskan pada temperatur 60°C selama 2 jam. Ekstraksi kedua (bioreduktor B) dilakukan sesuai dengan Zhu, *et al.* (2010) yang dikembangkan, 20 g daun jambu biji diekstrak menggunakan soklet dengan pelarut 250 mL akuades selama 2 jam. Ekstraksi ketiga (bioreduktor C) dan keempat (bioreduktor D) dilakukan seperti ekstraksi kedua dengan pelarut yang berbeda, masing-masing dengan etanol 25% dan 15%. Selanjutnya ekstrak kasar disaring menggunakan kertas *Whatman* dan dianalisis fitokimia.

Sintesis NPP dilakukan menurut Kudle, *et al.* (2013) yang dimodifikasi. Bioreduktor diencerkan sehingga konsentrasinya menjadi 1, 3 dan 5%. NPP disintesis dengan mencampurkan 10 mL bioreduktor ke dalam 20 mL AgNO_3 10^{-3} M, kemudian dimasukkan ke dalam *microwave* selama 60, 90 dan 120 detik. Perubahan warna larutan menjadi kuning kecoklatan menunjukkan NPP telah terbentuk. NPP dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, PSA dan TEM.

Aktivitas antibakteri NPP diuji secara kualitatif sesuai dengan Wahyudi, *et al.* (2011) yang dimodifikasi. Bakteri yang digunakan adalah *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Uji daya hambat dilakukan dengan membasahi cakram kertas steril dengan larutan NPP, kemudian diletakkan pada cawan petri yang berisi bakteri uji yang ditumbuhkan pada media NA dan diinkubasi selama 24 jam pada temperatur 37°C. Daya hambat material uji diketahui dengan mengukur lebar zona bening di sekitar kertas cakram. Kontrol dilakukan terhadap ekstrak bioreduktor daun jambu biji.

Hasil dan Pembahasan

Hasil ekstraksi daun jambu biji dapat dilihat pada Gambar 2. Ekstrak bioreduktor A berwarna kuning bening, bioreduktor B kuning kecoklatan, bioreduktor C hijau kehitaman dan bioreduktor D coklat kehijauan. Sebelum digunakan sebagai reduktor, ekstrak diencerkan terlebih dahulu sehingga konsentrasinya menjadi 1, 3 dan 5%.



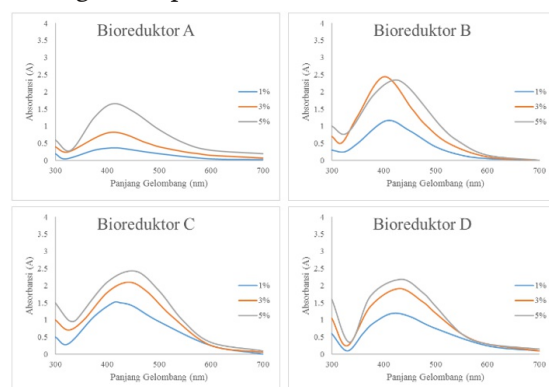
Gambar 2. Hasil ekstraksi daun jambu biji: (a) bioreduktor A, (b) bioreduktor B, (c) bioreduktor C dan (d) bioreduktor D



Gambar 3. Nanopartikel perak hasil sintesis

NPP disintesis menggunakan bioreduktor daun jambu biji dengan bantuan irradiasi *microwave* berdaya rendah yaitu 160 W (20%). Gambar 3. menunjukkan NPP telah terbentuk yang ditandai dengan perubahan warna menjadi kecoklatan. NPP di *scanning* menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 300-700 nm, menurut Ariyanta, *et al.* (2014) adanya puncak serapan pada daerah panjang gelombang sekitar 410 nm mengindikasikan NPP telah terbentuk. Gambar 4. merupakan spektrum NPP, dapat dilihat penggunaan bioreduktor A dan B dalam sintesis menunjukkan nilai λ_{max} berada pada daerah panjang gelombang 410 nm ini sesuai dengan

penelitian sebelumnya. Sedangkan bioreduktor C dan D terlihat adanya pergeseran λ_{max} yang cukup signifikan, nilai λ_{max} terbesar masing-masing mencapai 454 nm dan 433 nm.

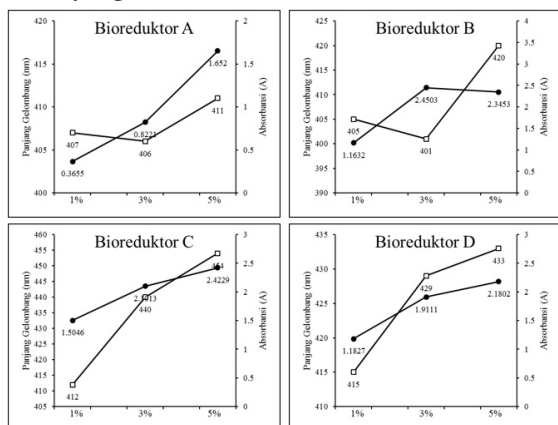


Gambar 4. Spektrum UV-Vis NPP dengan variasi konsentrasi bioreduktor, waktu sintesis 120 detik

Gambar 5. memperlihatkan hubungan antara λ_{max} dan absorbansi dengan variasi konsentrasi bioreduktor. Untuk bioreduktor A, nilai absorbansi konsentrasi 5% mempunyai absorbansi yang lebih tinggi daripada konsentrasi 1 maupun 3%. Hal ini menunjukkan bahwa NPP yang terbentuk banyak. Di sisi lain nilai λ_{max} yang relatif sama sehingga dapat disimpulkan penggunaan bioreduktor A dengan konsentrasi 5% dalam sintesis nanopartikel merupakan kondisi yang optimum. Hal ini dibuktikan dengan konsentrasi tersebut mampu menghasilkan NPP yang banyak dengan ukuran yang relatif kecil.

Bioreduktor B dengan konsentrasi 1% memperlihatkan nilai λ_{max} yang kecil namun belum cukup untuk menghasilkan jumlah nanopartikel yang banyak, ini ditandai dengan absorbansi yang kecil. Konsentrasi bioreduktor B 3% menjadi kondisi yang paling optimum, hal ini ditunjukkan oleh λ_{max} yang kecil dengan absorbansi yang cukup besar. Jumlah bioreduktor sudah mencukupi untuk mereduksi Ag^+ dalam larutan serta cukup untuk membuat NPP tidak cepat teraglomerasi, sehingga absorbansi yang dihasilkan besar dan λ_{max} yang dihasilkan kecil, hal ini menunjukkan bahwa jumlah nanopartikel yang terbentuk banyak dengan ukuran partikel yang kecil. Sedangkan konsentrasi 5% λ_{max} mengalami pergeseran ke kanan, λ_{max} yang besar ini mengindikasikan bahwa ukuran NPP yang dihasilkan besar. Kondisi ini disebabkan karena bioreduktor mereduksi beberapa partikel Ag^+ dalam waktu yang cepat sehingga mempercepat pertumbuhan aglomerasi (Shabrina; 2011). Di

sisi lain bioreduktor 5% sudah mencukupi untuk mereduksi seluruh Ag^+ yang berada dalam larutan sehingga jumlah nanopartikel yang terbentuk juga banyak, ini menyebabkan absorbansi yang dihasilkan besar.



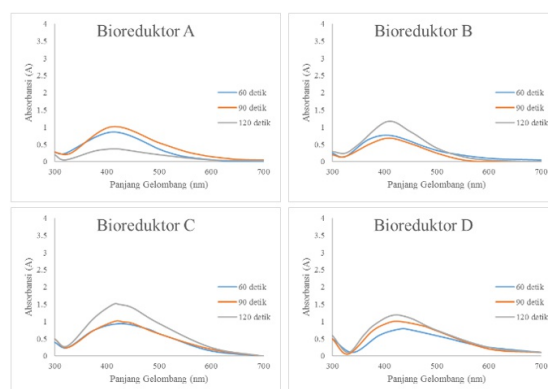
Gambar 5. Kurva hubungan antara panjang gelombang maksimum (□) dan absorbansi (●) terhadap konsentrasi bioreduktor, waktu sintesis 120 detik

Nilai λ_{max} NPP menggunakan bioreduktor C yang besar mengindikasikan bahwa ukuran NPP yang dihasilkan juga besar, hal ini disebabkan karena terjadinya aglomerasi. Kurva bioreduktor C pada Gambar 5 menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara λ_{max} dan absorbansi NPP. Semakin besar nilai λ_{max} semakin besar pula nilai absorbansi. Menurut Shabrina (2011), absorbansi yang besar dapat disebabkan karena jumlah bioreduktor sudah mencukupi untuk mereduksi seluruh Ag^+ yang ada dalam larutan, hal ini mengakibatkan jumlah inti NPP yang terbentuk banyak. Keadaan optimum yang dicapai adalah saat λ_{max} mencapai titik terendah yaitu pada konsentrasi bioreduktor 1%, yang dapat dikatakan ukuran NPP yang terbentuk adalah yang kecil. Sedangkan konsentrasi 3 dan 5% memiliki λ_{max} yang besar, artinya ukuran partikel yang terbentuk besar. Ukuran partikel yang besar mengindikasikan terjadinya aglomerasi NPP. Pelarut yang digunakan pada bioreduktor C, yaitu etanol 25%, juga dapat memiliki pengaruh dalam sintesis NPP. Gugus hidroksil pada etanol dapat mereduksi ion perak, sehingga selain reduktor dari ekstrak daun jambu biji juga terdapat reduktor dari pelarut etanol.

Sama halnya seperti bioreduktor C, bioreduktor D juga menggunakan etanol sebagai pelarut dengan konsentrasi 15%. Hal ini mengakibatkan rata-rata λ_{max} yang terukur besar, yang artinya ukuran partikel perak yang dihasilkan juga besar. Keadaan optimum terjadi pada penggunaan bioreduktor D dengan konsentrasi

1%, yaitu pada saat λ_{max} mencapai titik terendah 415 nm dengan absorbansi yang cukup tinggi. Jumlah nanopartikel yang terbentuk pada konsentrasi 3% cukup banyak, dapat dilihat dari nilai absorbansi yang cukup besar, akan tetapi λ_{max} yang dihasilkan besar. Ini disebabkan karena ukuran partikel yang terbentuk juga besar, yang disebabkan oleh pertumbuhan aglomerasi yang cepat. Begitupun dengan konsentrasi 5%, jumlah bioreduktor yang banyak mampu mereduksi beberapa partikel Ag^+ dalam waktu yang cepat sehingga mempercepat terjadinya aglomerasi.

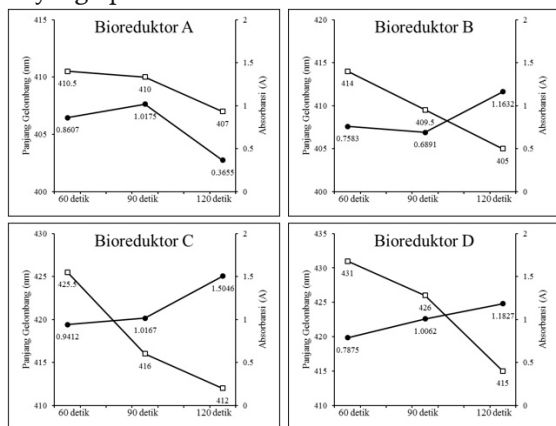
Optimasi waktu irradiasi *microwave* dilakukan dengan cara memvariasikan waktu sintesis NPP selama 60, 90 dan 120 detik. Menurut Hayes (2004), *microwave* secara langsung mengarah ke kenaikan suhu yang cepat terhadap molekul seluruh campuran reaksi. Karena proses ini tidak dibatasi oleh konduktivitas termal dari bejana, hasilnya adalah pemanasan berlebihan yang terlokalisasi, sehingga zat apapun akan merespon baik rotasi dipol atau konduksi ionik, dua mekanisme dasar untuk mentransfer energi dari gelombang mikro untuk zat yang dipanaskan. Spektrum hasil optimasi waktu sintesis NPP ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum UV-Vis NPP dengan variasi waktu sintesis, konsentrasi bioreduktor 1%

Gambar 7. menunjukkan kurva hubungan antara λ_{max} dan absorbansi terhadap waktu sintesis. Dapat dicermati adanya perubahan absorbansi yang terjadi pada penggunaan bioreduktor A, nilai absorbansi bertambah ketika waktu sintesis dinaikkan dari 60 ke 90 detik, kemudian absorbansi menurun ketika waktu ditambah menjadi 120 detik. Ini sesuai dengan penelitian Shabrina (2011), dimana saat waktu reaksi sintesis nanopartikel dinaikkan absorbansi terus bertambah hingga absorbansi maksimum kemudian setelah itu terjadi penurunan absorbansi. Kenaikkan absorbansi menunjukkan

bahwa konsentrasi NPP yang terbentuk semakin banyak, sedangkan penurunan absorbansi menunjukkan NPP mengalami aglomerasi. Dari hasil tersebut dapat ditarik simpulan bahwa waktu sintesis NPP menggunakan bioreduktor A yang optimal adalah 90 detik.



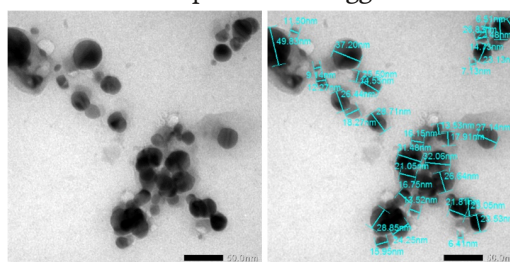
Gambar 7. Kurva hubungan antara panjang gelombang maksimum (\square) dan absorbansi (\bullet) terhadap waktu sintesis, konsentrasi bioreduktor 1%

Kondisi optimal sintesis NPP menggunakan bioreduktor B terjadi pada waktu sintesis 120 detik, dapat dilihat bahwa λ_{max} cenderung turun seiring dengan bertambahnya waktu sintesis, sedangkan nilai absorbansi semakin bertambah. Hal ini menunjukkan bahwa NPP yang terbentuk banyak dengan ukuran yang relatif kecil. Purnamasari (2015), menyebutkan bahwa waktu sintesis yang semakin lama dapat menyebabkan meningkatnya intensitas absorbansi dan λ_{max} bergeser semakin kecil sampai kondisi optimal. Waktu sintesis 60 detik sudah cukup untuk menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang kecil, tetapi jumlah NPP yang terbentuk sedikit. Saat waktu sintesis dinaikkan menjadi 90 hingga 120 detik ukuran NPP semakin kecil, disisi lain absorbansi yang dihasilkan besar.

Spektrum UV-Vis NPP menggunakan bioreduktor C memperlihatkan λ_{max} yang dihasilkan rata-rata cukup besar, λ_{max} yang besar mengindikasikan ukuran NPP yang terbentuk besar. Titik optimal terjadi saat penurunan λ_{max} yaitu pada saat waktu sintesis dinaikkan dari 60 ke 90 detik. Konsentrasi berlebih dari penggunaan bioreduktor C juga mempercepat terjadinya aglomerasi, karena bioreduktor mereduksi beberapa partikel Ag^+ dalam waktu yang cepat. Semakin bertambahnya waktu sintesis semakin cepat pula pertumbuhan aglomerasi, sehingga λ_{max} yang dihasilkan juga besar. Pelarut etanol dalam bioreduktor C juga memiliki peran untuk mempercepat reduksi Ag^+

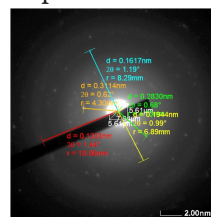
menjadi NPP, sehingga rata-rata λ_{max} yang dihasilkan juga besar.

Penggunaan bioreduktor D juga memiliki rata-rata nilai λ_{max} yang besar, ini disebabkan karena pelarut yang digunakan adalah etanol. Selain sebagai pelarut, etanol juga dapat berperan untuk mereduksi ion perak sehingga dapat mempercepat pertumbuhan aglomerasi saat NPP terbentuk. Dilihat dari nilai absorbansi, semakin lama waktu sintesis absorbansi yang dihasilkan semakin besar. Keadaan optimal adalah pada saat waktu sintesis 120 detik, yaitu ketika λ_{max} mencapai titik terendah dengan nilai absorbansi yang cukup tinggi. Kurva hubungan antara λ_{max} dan absorbansi terhadap waktu sintesis menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik antara λ_{max} dan absorbansi seiring meningkatnya waktu sintesis. Ketika waktu sintesis dinaikkan dari 60 ke 90 dan 120 detik, nilai λ_{max} mengalami penurunan yang menandakan ukuran NPP semakin kecil, di sisi lain absorbansi mengalami kenaikan sehingga mencapai titik optimal yaitu pada waktu sintesis 120 detik. Sesuai penelitian Shabrina (2011), kondisi optimal dapat terjadi ketika λ_{max} mencapai titik terendah dan absorbansi mencapai titik tertinggi.



Gambar 8. Hasil analisis NPP menggunakan TEM

Hasil karakterisasi TEM pada Gambar 8. memperlihatkan ukuran NPP yang telah disintesis. Ukuran diameter partikel terkecil yaitu 6,41 nm dan yang terbesar mencapai 49,83 nm dengan rata-rata ukuran 21,04 nm, ini membuktikan bahwa partikel perak yang dihasilkan memiliki ukuran dalam skala nano. Berdasarkan pola difraksi NPP pada Gambar 9, secara teoritik struktur kristal dapat ditentukan menggunakan rumus dari Klug dan Alexander (1974) yang ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 9. Pola difraksi NPP

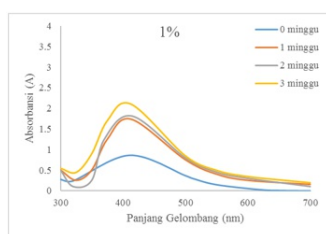
Tabel 1. Analisis data difraksi NPP secara teoritik

No	2θ	$\sin^2\theta$	$1 \times \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\theta_{\min}}$	$2 \times \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\theta_{\min}}$	$3 \times \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\theta_{\min}}$	$h^2+k^2+l^2$	hkl
1	0,62	$2,9273 \times 10^{-5}$	1,000	2,000	3,000	3	111
2	0,68	$3,5213 \times 10^{-5}$	1,202	2,404	3,606	4	200
3	0,99	$7,4637 \times 10^{-5}$	2,549	5,098	7,647	8	220
4	1,19	$1,0783 \times 10^{-4}$	3,683	7,366	11,049	11	311
5	1,44	$1,5790 \times 10^{-4}$	5,394	10,788	16,182	16	400

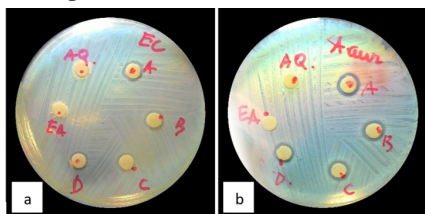
Hasil analisis secara teoritik kemudian dicocokkan dengan tabel penentuan struktur kristal pada Tabel 2. (Hadi, *et al.*; 2011), sehingga dapat disimpulkan bahwa NPP hasil sintesis mempunyai struktur *Face Centered Cubic* (FCC). Hal ini juga menunjukkan bahwa nanopartikel yang terbentuk merupakan NPP sesuai JCPDS Ag yang mempunyai hkl {111}, {200}, {220} dan {311}.

Tabel 2. Penentuan struktur kristal

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

**Gambar 10.** Stabilitas NPP dengan bioreduktor A, waktu sintesis 60 detik

NPP yang telah disintesis diukur panjang gelombang maksimalnya selama periode 3 minggu untuk mengetahui stabilitasnya. Gambar 10. memperlihatkan kurva stabilitas NPP untuk bioreduktor A, konsentrasi 1% tidak menunjukkan adanya perubahan yang terlalu signifikan hingga periode waktu 3 minggu dimana puncak serapan berkisar diantara 4011,5 -415,5 nm. Menurut Apriandanu (2013), hal ini terjadi karena stabilisator berperan untuk mengontrol ukuran NPP. Apabila konsentrasi stabilisator yang ditambahkan di atas kondisi optimum dapat mengakibatkan pencegahan stabilitas NPP sehingga menyebabkan aglomerasi. Bioreduktor pada penelitian ini berperan sebagai pereduksi sekaligus memiliki fungsi sebagai stabilisator NPP.

**Gambar 11.** Aktivitas NPP terhadap bakteri (a) *E. coli* dan (b) *S. aureus*

Hasil uji kualitatif aktivitas antibakteri NPP dapat dilihat pada Gambar 11. NPP memperlihatkan aktivitas daya hambat terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus* dengan terbentuknya zona bening pada media agar. Menurut Wahyudi, *et al.* (2011), ukuran zona bening yang terbentuk menunjukkan kekuatan daya hambat NPP. Semakin lebar zona bening yang ditimbulkan menunjukkan semakin kuatnya daya hambat senyawa tersebut terhadap pertumbuhan bakteri.

Tabel 3. Diameter zona hambat NPP terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*

Kode	Sampel	Diameter Zona Hambat* (mm)	
		<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
A	Nanopartikel Perak dengan bioreduktor A	10	11
B	Nanopartikel Perak dengan bioreduktor B	10	10,5
C	Nanopartikel Perak dengan bioreduktor C	9	10
D	Nanopartikel Perak dengan bioreduktor D	10	9,5
AQ	Ekstrak Akuades (kontrol)	-	-
EA	Ekstrak Etanol-Air (kontrol)	-	-

*Diameter zona hambat artinya termasuk diameter cakram 6 mm.

Berdasarkan Tabel 3. daya hambat NPP terhadap bakteri *S. aureus* cenderung lebih kuat dibandingkan daya hambat terhadap bakteri *E. coli*. Menurut Biswas, *et al.* (2013), ketahanan bakteri Gram negatif, dalam hal ini bakteri *E. coli*, bisa dikaitkan dengan struktur dinding selnya. Bakteri Gram negatif memiliki penghalang permeabilitas yang efektif, yaitu lapisan tipis lipopolisakarida pada membran bagian luar yang dapat membatasi penetrasi larutan NPP. Sedangkan bakteri Gram positif hanya memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih mudah diakses untuk permeasi oleh larutan NPP.

Simpulan

Kondisi yang optimal dalam sintesis NPP adalah penggunaan rasio konsentrasi 5% bioreduktor A, konsentrasi 3% bioreduktor B, konsentrasi 1% bioreduktor C dan konsentrasi 1% bioreduktor D. Waktu sintesis yang optimal dalam sintesis NPP menggunakan bioreduktor A, B, C dan D berturut-turut yaitu 90, 120, 90 dan 120 detik. Karakterisasi TEM menunjukkan NPP yang terkecil berukuran 6,41 nm dan rata-rata ukuran 21,04 nm. NPP hasil sintesis menunjukkan adanya aktivitas antibakteri terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. Daya hambat NPP terhadap bakteri *S. aureus* cenderung lebih kuat dibandingkan terhadap bakteri *E. coli*.

Daftar Pustaka

- Apriandanu, D.O.B. 2013. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Metode Poliol dengan Agen Stabilisator Polivinilalkohol (PVA). *Skripsi*. Semarang: Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang
- Arima, H. dan G. Danno. 2002. Isolation of

- Antimicrobial Compounds from Guava (*Psidium guajava* L.) and their Structural Elucidation. *Bioscience Biotechnologi Biochem*, 66 (8): 1727-1730
- Ariyanta, H.A., S. Wahyuni dan S. Priatmoko. 2014. Preparasi Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi dan Aplikasinya sebagai Antibakteri Penyebab Infeksi. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(1): 1-6
- Biswas, B., K. Rogers, F. McLaughlin, D. Daniels dan A. Yadav. 2013. Antimicrobial Activities of Leaf Extracts of Guava (*Psidium guajava* L.) on Two Gram-Negative and Gram-Positive Bacteria. *International Journal of Microbiology*, 2013: 1-7
- Hadi, A.I., Sumariah, M. Dahlan, dan Mohtar. 2011. Penentuan Struktur Kristal AlMg₂ Alloy dengan Difraksi Neutron. *Berkala Fisika*, 14(2): 41-48
- Hayes, B.L. 2004. Recent Advances in Microwave-Assisted Synthesis. *Aldrichimica ACTA*, 37(2): 66-76
- Klug, H.P. dan Alexander, L.E. 1974. *X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials*. New York: John Wiley & Sons
- Kudle, K.R., M.R. Donda, R. Merugu, Y. Prashanthi dan M.P.P. Rudra. 2013. Microwave Assisted Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Stigmaphyllon Littorale Leaves, Their Characterization and Anti-microbial Activity. *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 3(1): 13-16
- Lalena, J.N., D.A. Cleary, E.E. Carpenter dan N.F. Dean. 2008. *Inorganic Materials Synthesis and Fabrication*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc
- Mailoa, M.N., M. Mahendradatta, A. Laga dan N. Djide. 2013. Tannin Extract of Guava Leaves (*Psidium Guajava* L.) Variation with Concentration Organic Solvents. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2(9): 106-110
- Mandal, D., M.E. Bolander, D. Mukhopadhyay, G. Sarkar dan P. Mukherjee. 2006. The Use of Microorganisms for The Formation of Metal Nanoparticles and Their Application. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 69: 485-492
- Naik, L.S., K.P. Marx, P.S. Vennela dan V.R. Devi. 2013. Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Strawberry Leaf Extract (*Arbutus unedo*) and Evaluation of Its Antimicrobial Activity a Novel Study. *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 3(3): 47-50
- Nethradevi, C., P. Sivakumar dan S. Renganathan. 2012. Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Datura Metel Flower Extract and Evaluation of Their Antimicrobial Activity. *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 2(2): 16-21
- Purnamasari, M.D. 2015. Sintesis Antibakteri Nanopartikel Perak Menggunakan Bio-reduktor Ekstrak Daun Sirih (*Piper betle linn*) dengan Irradiasi Microwave. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang
- Raghunandan, D., B.D. Mahesh, S. Basavaraja, S.D. Balaji, S.Y. Manjunath, dan A. Venkataraman. 2011. Microwave-Assisted Rapid Extracellular Synthesis of Stable Bio-Functionalized Silver Nanoparticles from Guava (*Psidium guajava*) Leaf Extract. *Journal Nanopart Res*, 3: 2021-2028
- Renugadevi, K., dan R.V. Aswinia. Microwave Irradiation Assisted Synthesis of Silver Nanoparticle using *Azadirachta indica* Leaf Extract as a Reducing Agent and Invitro Evaluation of Its Antibacterial and Anticancer Activity. *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 2(2): 5-10
- Shabrina, N. 2011. Nanopartikel Emas Termofikasi Kitosan sebagai Pendeteksi Ion Logam Berat. *Skripsi*. Depok: Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Indonesia
- Wahyudi, T., D. Sugiyana dan Q. Helmy. 2011. Sintesis Nanopartikel Perak dan Uji Aktivitasnya Terhadap Bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. *Arena Tekstil*, 20(1): 55-60
- Zhu, H., Y. Wang, Y. Liu, Y. Xia dan T. Tang. 2010. Analysis of Flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by UV-Vis Spectrophotometry with Comparative Study on Different Extraction Technologies. *Food Anal. Methods*, 3: 90-97