

REVIEW ARTIKEL: SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR EKSTRAK TUMBUHAN SEBAGAI BAHAN ANTIOKSIDAN

ARTICLE REVIEW: SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING BIOREDUCTOR FROM PLANT EXTRACT AS AN ANTIOXIDANT

*Intan Nabilah Oktavia and Suyatno Sutoyo**

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Universitas Negeri Surabaya

Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

** Corresponding author, email: suyatno@unesa.ac.id*

Abstrak. *Review artikel ini ditujukan untuk membahas tentang metode pembuatan nanopartikel perak dan potensi pengaplikasian nanopartikel perak sebagai bahan antioksidan. Berdasarkan hasil review dapat dinyatakan bahwa nanopartikel perak merupakan suatu logam perak yang memiliki ukuran nano. Nanopartikel perak banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, misalnya optik, elektronik, biologi, katalis, kesehatan, pangan, dan lingkungan. Nanopartikel perak dapat dibuat dengan metode top-down maupun bottom-up. Sintesis dengan metode bottom-up dapat dilakukan melalui reaksi reduksi ion Ag^+ dengan penambahan pereduksi. Zat yang berperan sebagai zat pereduksi dapat diperoleh dari ekstrak tumbuhan atau yang dikenal dengan bioreduksi. Bioreduksi dapat dibuat dari ekstrak air atau ekstrak alkohol dari berbagai bagian tanaman. Nanopartikel hasil sintesis dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristik kimia dengan spektroskopi UV-Vis dan FTIR dan karakteristik fisik dengan TEM dan PSA. Nanopartikel hasil sintesis dengan bioreduksi memiliki potensi sebagai antioksidan, sebab nanopartikel perak mampu mendonorkan elektron valensinya ke radikal bebas dan capping agent dari ekstrak tanaman mampu mendonorkan atom hidrogen ke radikal bebas. Aktivitas antioksidan dapat ditentukan dengan metode DPPH, ABTS dan FRAP. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan hasil jika nanopartikel yang dihasilkan melalui reaksi reduksi menggunakan bioreduksi memiliki aktivitas antioksidan yang kuat. Hal tersebut yang mendasari banyaknya penelitian mengenai potensi nanopartikel perak sebagai bahan antioksidan.*

Kata kunci : *nanopartikel perak, bioreduksi, ekstrak tumbuhan, antioksidan*

Abstract. *This review article is intended to describe the method of making silver nanoparticles and the potential application of silver nanoparticles as an antioxidant material. Based on the results of the review it can be stated that silver nanoparticles are a silver metal that has a nano size. Silver nanoparticles are widely applied in various fields, such as optics, electronics, biology, catalysts, health, food, and the environment. Silver nanoparticles can be obtained by top-down or bottom-up methods. Synthesis by the bottom-up method can be done through Ag^+ ion reduction reaction with the addition of a reducing agent. Substances that act as reducing agents can be obtained from plant extracts, known as bioreductors. Bioreductors can be made from water extracts or alcohol extracts from various parts of the plant. Synthesized nanoparticles were characterized to determine chemical characteristics by UV-Vis and FTIR spectroscopy also for physical characteristics with TEM and PSA. Nanoparticles synthesized by bioreductors have potential as antioxidants because silver nanoparticles can donate its valence electrons to free radicals and capping agents from plant extracts can donate hydrogen atoms to free radicals. Antioxidant activity can be determined by DPPH, ABTS and FRAP methods. Based on several studies that have been done previously, the results show that nanoparticles produced through a reduction reaction using bioreductors have strong antioxidant activity. This is the basis of many studies regarding the potential of silver nanoparticles as an antioxidant.*

Key words: *silver nanoparticles, bioreductor, plant extract, antioxidant*

PENDAHULUAN

Nanopartikel perak merupakan suatu logam perak dalam ukuran nano. Nanopartikel perak banyak diteliti karena memiliki aplikasi yang luas dalam kehidupan sehari-hari. Untuk menyintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *top-down* (mengubah partikel berukuran lebih besar dari nano menjadi nanopartikel) dan *bottom-up* (mengubah partikel berukuran lebih kecil dari nano menjadi nanopartikel). Metode *bottom-up* memiliki kelebihan dibandingkan metode *top-down* karena pada metode *bottom-up* dapat dengan mudah untuk memanipulasi nanopartikel yang disintesis. Metode *bottom up* dapat dilakukan melalui reaksi reduksi. Prinsip sintesis nanopartikel perak menggunakan metode tersebut adalah reaksi reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 yakni berupa nanopartikel perak. Untuk mewujudkan terjadinya reaksi reduksi tersebut diperlukan suatu agen pereduksi [1].

Berdasarkan komposisinya terdapat dua jenis reduktor, yakni reduktor sintetis dan bioreduktor (reduktor yang berasal dari bahan alam). Kekurangan dari penggunaan reduktor sintetis pada proses sintesis nanopartikel perak yakni dapat menimbulkan adanya limbah berbahaya. Contohnya seperti reduktor sintetis NaBH_4 yang dapat menghasilkan limbah berupa gas diboran (B_2H_6) yang beracun [2]. Berbeda dengan penggunaan reduktor sintetis, penggunaan bioreduktor lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan reduktor sintetis. Hal ini disebabkan penggunaan bioreduktor dalam proses sintesis nanopartikel perak tidak menghasilkan limbah yang berbahaya. Terdapat berbagai macam bahan yang dapat digunakan sebagai bioreduktor, salah satu contohnya adalah ekstrak tumbuhan. Kandungan antioksidan dalam ekstrak tumbuhan seperti flavonoid, fenolik, tanin, dan lain-lain dapat berperan sebagai bioreduktor dan *capping agent* yang dapat mereduksi ion Ag^+ menjadi nanopartikel perak [2]. Oleh karena itu bioreduktor dari ekstrak tumbuhan dapat dijadikan pilihan alternatif dari bioreduktor sintetis.

Pemanfaatan nanopartikel perak dalam kehidupan sehari-hari cukup luas, salah satu aplikasinya adalah dalam bentuk produk kosmetik. Hal tersebut didasarkan oleh aktivitas nanopartikel perak sebagai antibakteri, antikanker, antiinflamasi, antioksidan, dan lain-lain [3]. Hal-hal yang akan dikaji dalam artikel *review* antara

lain: nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor dari ekstrak tanaman dan potensi antioksidan nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak tumbuhan

Antioksidan merupakan suatu zat yang dapat meredam radikal bebas. Zat tersebut penting untuk dikonsumsi karena dapat mencegah timbulnya berbagai penyakit degeneratif dan kanker, mengingat berdasarkan data dari WHO [4] pada tahun 2018 menunjukkan cukup besarnya kasus penyakit kanker di Indonesia, yakni sebanyak 348.809 kasus. Jumlah kasus penyakit kanker di Indonesia cukup tinggi, sehingga diperlukan langkah preventif. Langkah preventif tersebut perlu dilakukan agar jumlah kasus penyakit kanker di Indonesia tidak semakin bertambah. Antioksidan dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan bahan penyusunnya, yaitu: antioksidan organik dan anorganik. Salah satu contoh dari antioksidan anorganik adalah nanopartikel perak. Nanopartikel perak dapat meredam aktivitas radikal bebas dengan mendonorkan elektron pada radikal bebas, sehingga dapat menghambat terjadinya reaksi berantai pembentukan radikal bebas [5].

Dari uraian di atas, penggunaan ekstrak tumbuhan sebagai bioreduktor dapat dijadikan sebagai upaya dalam mewujudkan proses sintesis nanopartikel perak yang ramah lingkungan. Senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam ekstrak tumbuhan dapat mereduksi ion Ag^+ menjadi nanopartikel perak. Nanopartikel perak juga memiliki potensi sebagai bahan antioksidan jika ditinjau dari kemampuannya dalam meredam radikal bebas.

NANOPARTIKEL PERAK

Nanopartikel didefinisikan sebagai partikel yang memiliki ukuran diameter antara 10^{-9} m (1 nm) hingga kurang dari 100 nm ($1 \mu\text{m}$). Nanopartikel logam memiliki sifat optis aktif yang khas yang membedakannya dengan ukuran makro. Hanya unsur logam dengan elektron bebas (seperti Au, Ag, Cu dan logam alkali) yang memiliki *Surface Plasmon Resonance* (SPR). SPR berperan penting pada penentuan penyerapan spektrum oleh nanopartikel logam. Jika terjadi pergeseran panjang gelombang dengan nilai yang lebih besar, maka terjadi pula peningkatan ukuran partikel. Baik material organik maupun anorganik dapat berwujud nanopartikel. Sebagian besar penerapan

material anorganik yang berbentuk nanopartikel adalah material yang berasal dari logam di antaranya logam Au, Cu, Ti, Zn dan Ag [1].

Nanopartikel perak merupakan salah satu jenis nanopartikel logam yang luas dalam pengaplikasiannya dan memiliki tingkat komersial yang tinggi. Hal ini disebabkan nanopartikel perak memiliki beberapa kelebihan dibanding nanopartikel logam lainnya. Perak telah mendapatkan banyak perhatian karena sifat fisik dan kimianya yang khas, termasuk konduktivitas, stabilitas termal, dan aktivitas katalitik, sehingga menghasilkan berbagai produk baru dan aplikasi ilmiah [6]. Akibat sifat luas permukaan yang besar, AgNPs telah digunakan secara luas sebagai agen antibakteri dalam industri, kesehatan, penyimpanan makanan, pelapis tekstil, dan sejumlah aplikasi lingkungan, dan biomedis. Selain itu, nanosilver dapat diaplikasikan sebagai antijamur dan antibakteri dalam berbagai produk antara lain seperti kaos kaki, tisu basah, wadah penyimpanan makanan, tekstil, dan lain-lain [7]. Nanopartikel perak memiliki toksisitas dan resistansi yang cenderung lebih rendah karena setelah bekerja untuk melawan strain bakteri dapat mengalami perbaikan yang kemudian dapat menyebabkan kerusakan DNA bakteri [2].

METODE PEMBUATAN NANOPARTIKEL PERAK

Secara umum nanopartikel dapat dibuat melalui 2 metode yakni: *top-down* (memecah material yang berukuran lebih besar dari nano menjadi berukuran nano) dan *bottom-up* (pembentukan nanopartikel dari material yang berukuran lebih kecil dari nano) [1]. Salah satu metode *bottom-up* yang sering digunakan yakni reaksi reduksi ion Ag^+ menjadi nanopartikel perak, Ag^0 oleh reduktor. Ilustrasi kedua metode tersebut disajikan pada Gambar 1.

Berdasarkan komposisinya terdapat dua jenis reduktor, yakni reduktor sintetis dan bioreduktor (reduktor yang berasal dari bahan alam). Salah satu contoh reduktor sintetis yang dapat digunakan untuk menyintesis nanopartikel yaitu $NaBH_4$. $NaBH_4$ merupakan suatu senyawa yang bersifat toksik [9]. Senyawa ini jika direaksikan dengan air akan menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang bersifat mudah terbakar dan

mudah meledak serta jika direaksikan dengan H_2SO_4 pekat maupun HCl pekat akan menghasilkan gas diboran (B_2H_6) yang beracun [10]. Oleh sebab itu penggunaan reduktor sintetis dapat menimbulkan limbah yang tidak ramah lingkungan. Berbeda dengan limbah dari penggunaan bioreduktor yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Di samping itu bahan baku untuk pembuatan bioreduktor mudah didapatkan dengan harga yang relatif murah karena tersebar luas di alam.

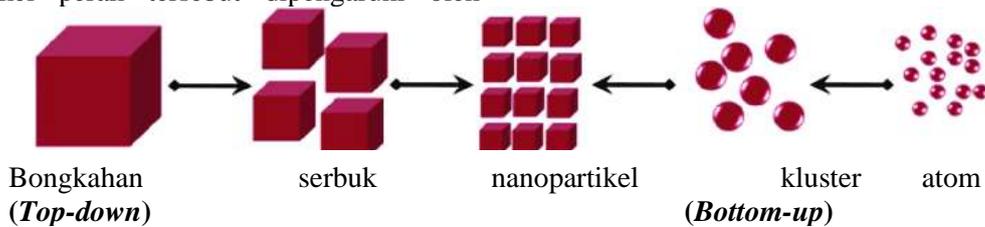
Tabel 1. Sumber tumbuhan sebagai bioreduktor dan karakteristik fisik nanopartikel perak yang dihasilkan [12]

Tumbuhan	Bagian tumbuhan	Ukuran AgNP
<i>Metha piperita</i>	Daun	90 nm
Mulberi	Daun	20-40 nm
<i>Nicotiana tobaccum</i>	Daun	8 nm
<i>Ocimum sanctum</i>	Akar dan batang	5-10 nm
<i>Parthenium hystrophorus</i>	Daun	20-70 nm
Lada	Daun	5-60 nm
<i>Pinus desiflora</i> , <i>Diopyros kaki</i> , <i>Ginko biloba</i> , <i>Magnolia kobus</i> dan <i>Platanus orientalis</i>	Daun	15-500 nm
<i>Piper betle</i>	Daun	17-120 nm
<i>Plumbago indica</i>	Akar	50-70 nm
<i>Rosa ugosa</i>	Daun	12 nm
<i>Sesbania grandiflora</i>	Daun	10-25 nm
<i>Shorea roxburghii</i>	Kulit batang	4-50 nm
<i>Solanum lycopersicum</i>	Buah	10 nm
<i>Sorghum spp</i>	biji	50 nm

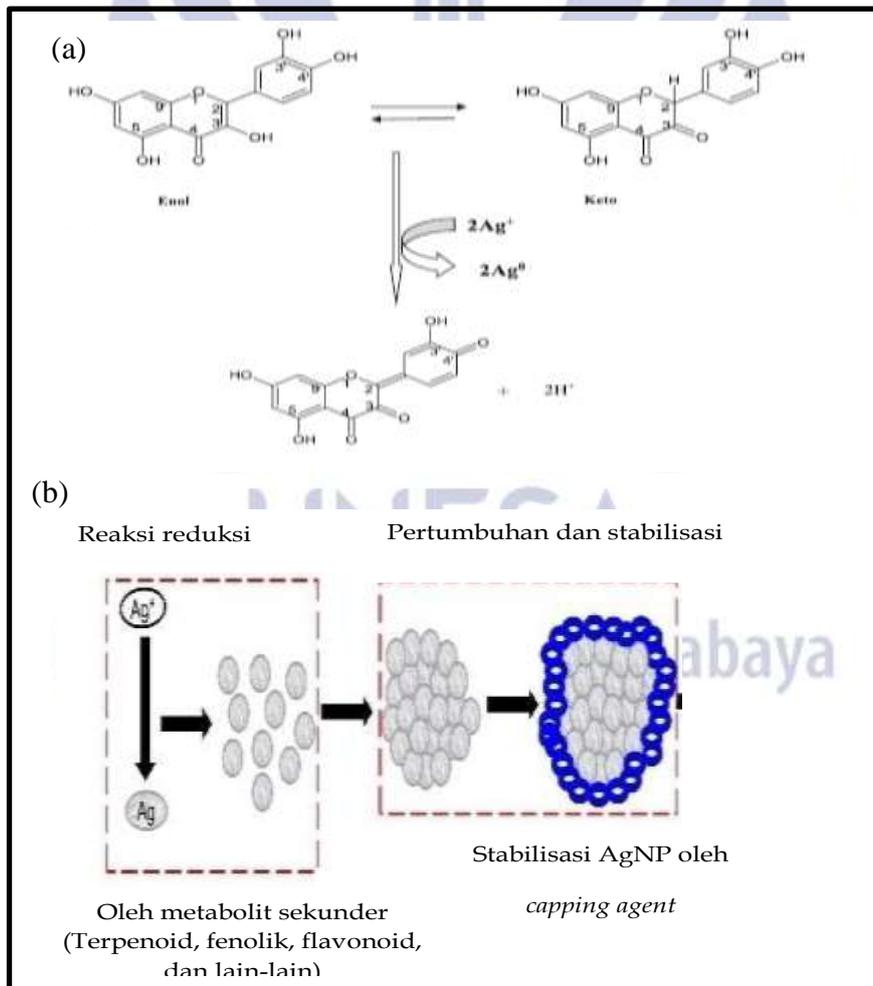
Penelitian terkait penggunaan bioreduktor dari ekstrak tumbuhan untuk sintesis nanopartikel perak telah banyak dilakukan. Beberapa contoh tumbuhan yang digunakan sebagai sumber bioreduktor disajikan pada Tabel 1. Zat yang dapat berperan sebagai bioreduktor Ag^+ dalam ekstrak tumbuhan adalah senyawa metabolit sekunder

golongan fenolik dan polifenol. Hal ini disebabkan senyawa tersebut memiliki potensial reduksi sebesar 0,33 V yang mampu mereduksi ion Ag^+ yang memiliki potensial reduksi sebesar 0,8 V [11]. Ekstrak dari bagian tumbuhan yang kaya akan kandungan antioksidan dimanfaatkan sebagai bioreduktor, seperti ekstrak daun, akar, kulit batang, batang, biji dan buah [12]. Ukuran nanopartikel perak yang dihasilkan pun beragam dari 5 hingga 500 nm. Keberagaman ukuran nanopartikel perak tersebut dipengaruhi oleh

jumlah senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam ekstrak bahan alam untuk berperan sebagai *capping agent*. Semakin tinggi jumlah senyawa metabolit sekunder terkandung dalam ekstrak tumbuhan yang berperan sebagai *capping agent*, maka semakin stabil pula ukuran nanopartikel perak yang dihasilkan. Contoh mekanisme reaksi reduksi oleh flavonoid kuersetin dalam pembentukan nanopartikel perak disajikan pada Gambar 2 [13,14].



Gambar 1. Metode sintesis nanopartikel perak [8]



Gambar 2. (a) Persamaan reaksi reduksi pembentukan nanopartikel perak oleh senyawa flavonoid kuersetin (b) Proses pembentukan dan stabilisasi nanopartikel perak[13,14].

Berdasarkan Gambar 2 (a), senyawa flavonoid kuersetin dapat mereduksi ion Ag^+ sedangkan kuersetin teroksidasi sehingga gugus hidroksilnya berubah menjadi gugus keton akibat dari pelepasan atom hidrogen. Pada Gambar 2 (b) ditunjukkan setelah ion Ag^+ tereduksi dan membentuk nanopartikel perak, maka akan terjadi pertumbuhan nanopartikel atau yang disebut dengan kluster. Senyawa metabolit sekunder berperan sebagai *capping agent* berinteraksi secara elektrostatis dengan nanopartikel perak agar pertumbuhan kluster nanopartikel yang terjadi tidak signifikan. *Capping agent* merupakan suatu zat yang berperan untuk menyetabilkan nanopartikel perak yang telah disintesis dari suatu proses aglomerasi, yang merupakan suatu fenomena pertumbuhan ukuran nanopartikel perak yang disebabkan oleh gaya tarik-menarik antar sesama nanopartikel perak. *Capping agent* bekerja dengan cara berinteraksi elektrostatis antara muatan parsial negatif dari senyawa fenolik dan polifenol dengan muatan parsial positif dari nanopartikel perak [14]. Oleh sebab itu, aglomerasi nanopartikel yang tersintesis dapat dihambat oleh *capping agent* karena *capping agent* dapat menghambat gaya tarik-menarik antara sesama nanopartikel perak.

Ada dua metode pembuatan ekstrak tumbuhan yang digunakan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak. Metode yang pertama yaitu menggunakan ekstrak air dari sampel tumbuhan yang digunakan sebagai bioreduktor. Senyawa metabolit sekunder yang terekstrak dengan air tentunya bersifat sangat polar, seperti senyawa fenolik, polifenol, dan senyawa glikosida. Sampel tumbuhan yang diekstraksi ada yang dibuat dalam bentuk sampel segar yang dipotong-potong dengan ukuran kecil. Selain itu, ada pula yang dibuat serbuk keringnya. Sampel tersebut dicampur dengan akuabides lalu dipanaskan sampai mendidih, kemudian disaring dan ekstraknya sudah siap digunakan sebagai bioreduktor guna mereduksi ion perak dari larutan perak nitrat [15,16,17]. Penggunaan ekstrak air sebagai bioreduktor telah dilakukan pada ekstrak air daun kelor [18], ekstrak air daun jambu biji [19], dan ekstrak air daun mangga [20].

Metode yang kedua yaitu menggunakan ekstrak alkohol sebagai bioreduktor. Alkohol yang umumnya digunakan adalah metanol dan etanol. Karena alkohol memiliki kemampuan memecah dinding sel tanaman maka semua senyawa metabolit sekunder, baik polar maupun non polar

akan terekstrak dengan pelarut ini. Tingkat kepolaran senyawa yang terekstrak dengan alkohol tentunya lebih rendah dibandingkan dengan pelarut air. Sampel tumbuhan yang diekstraksi ada yang disiapkan dalam bentuk sampel segar yang dipotong-potong dengan ukuran kecil, ada juga yang dibuat serbuk keringnya. Sampel tersebut dimaserasi dengan metanol atau etanol pada suhu kamar. Ekstrak yang diperoleh sudah siap digunakan sebagai bioreduktor ion perak dalam larutan perak nitrat, baik ekstrak yang dipekatkan maupun ekstrak keringnya [21,22,23]. Penggunaan ekstrak alkohol sebagai bioreduktor telah dilakukan pada ekstrak metanol daun manggis [21], ekstrak metanol daun Litchi sinensis [22] dan ekstrak etanol daun tumbuhan alfafa [24].

KARAKTERISASI NANOPARTIKEL PERAK HASIL SINTESIS DENGAN BIOREDUKTOR EKSTRAK TUMBUHAN

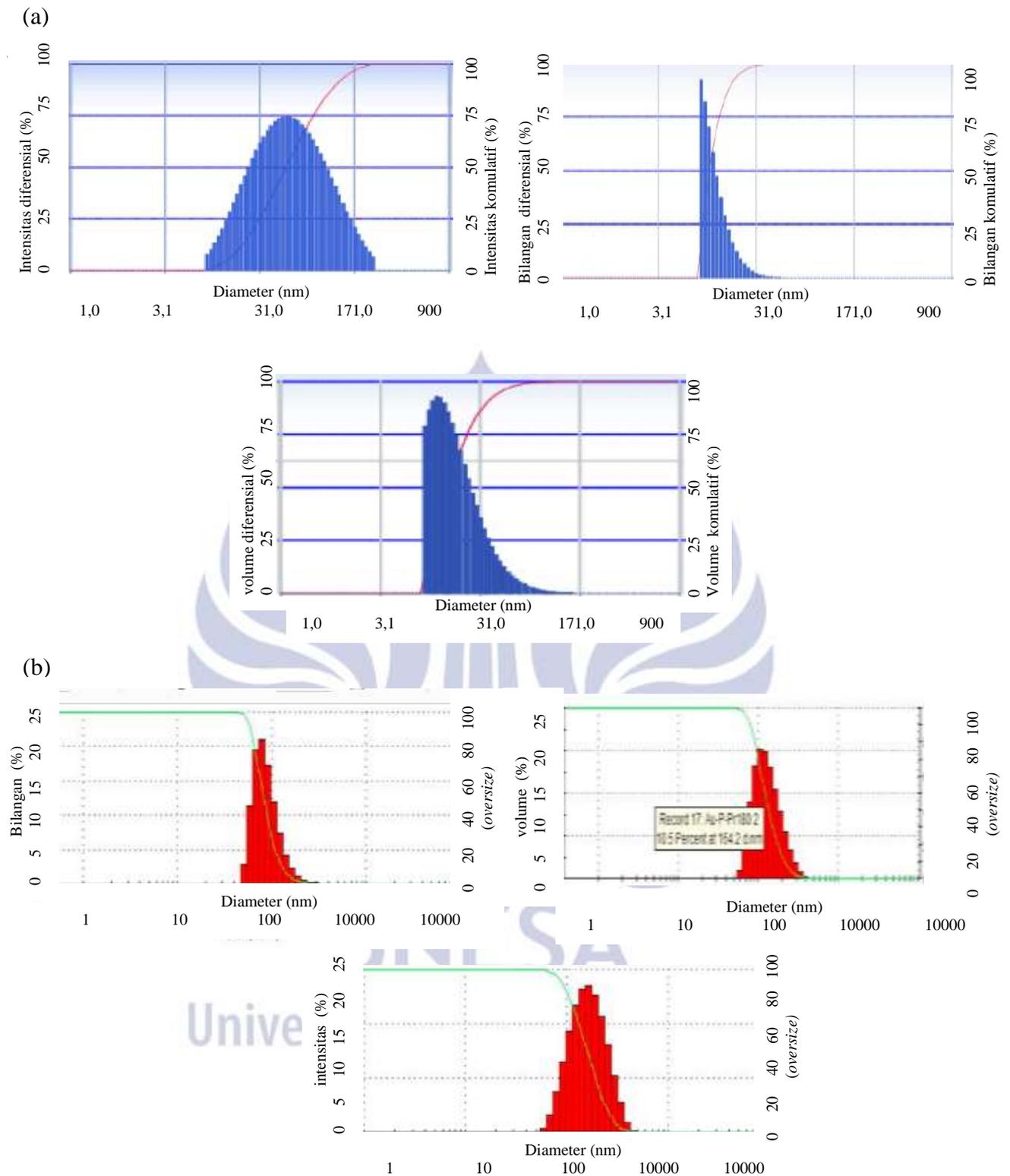
Karakterisasi sifat fisik

Karakterisasi Nanopartikel Perak Menggunakan Transmission Electron Microscopy (TEM)

Dalam karakterisasi nanopartikel, TEM merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk mengetahui morfologi nanopartikel, seperti ukuran partikel, bentuk partikel dan sebagainya. Dengan mengetahui morfologi nanopartikel, maka dapat diidentifikasi kestabilan dari nanopartikel melalui ada tidaknya agregasi. Agregasi menunjukkan ketidakstabilan nanopartikel, karena terbentuk oleh adanya gaya antar partikel yang menyebabkan partikel-partikel saling berinteraksi satu sama lain untuk membentuk cluster yang akan membesar seiring bertambahnya waktu [25].

Prinsip kerja dari TEM mirip dengan mikroskop cahaya, hanya saja sumber cahaya yang digunakan berbeda. Sumber cahaya yang digunakan dalam TEM adalah elektron yang memiliki resolusi sebesar 0,1 nm. TEM berkerja dengan menembus grid yang kemudian disajikan dalam bentuk gambar molekul [26].

Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan instrumen TEM dilakukan pada larutan nanopartikel perak yang diteteskan ke grid tembaga dan dikeringkan menggunakan vakum. Kemudian grid tembaga yang telah ditetesi larutan sampel, diletakan dalam *specimen holder* dalam



Gambar 5. Contoh hasil analisis PSA, histogram dispersi ukuran dengan intensitas, nomor dan volume a) nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak air daun salam b) nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak air tumbuhan *Angelica keiskei* [3,15]

Pengukuran partikel dengan distribusi intensitas didasarkan pada tingkat intensitas penghamburan sinar laser oleh partikel sampel,

nomor berdasarkan karakteristik fisik partikel (ukuran, berat dan sebagainya) dan volume berdasarkan volume partikel [30]. Gambar 5 (a)

menunjukkan ukuran rata-rata nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak air daun salam dari hasil karakterisasi menggunakan PSA adalah 45,7 nm [15], sedangkan Gambar 5 (b) menunjukkan ukuran rata-rata nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak air tumbuhan *Angelica keiskei* dari hasil karakterisasi menggunakan PSA adalah 130,1 nm [3].

Karakterisasi sifat kimia

Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan spektrofotometer UV-Vis didasarkan pada absorpsi energi cahaya UV-Vis oleh lapisan elektron terluar logam perak, sehingga tereksitasi menghasilkan gelombang yang bergerak transversal dan dikenal dengan *surface plasmon resonance* (SPR) [31]. Spektroskopi UV-Vis digunakan secara kualitatif untuk mengidentifikasi terbentuknya nanopartikel perak berdasarkan nilai panjang gelombang serapan maksimumnya. Nanopartikel perak memiliki panjang gelombang serapan maksimum antara 400 – 500 nm. Jika nanopartikel perak belum terbentuk maka panjang gelombang serapan maksimumnya 320 nm atau antara 200-250 nm yang menunjukkan masing terkandung ion perak [32,33,34].

Untuk mengukur SPR sampel nanopartikel perak menggunakan spektrofotometer UV-Vis perlu dipersiapkan blanko. Blanko tersebut merupakan pelarut dari sampel larutan nanopartikel perak yang diuji. Pada saat melakukan pengukuran SPR, mula-mula memilih opsi *auto zero* menggunakan blanko. Kemudian dilakukan pengukuran SPR sampel larutan nanopartikel perak menggunakan metode *photometric* pada rentang panjang gelombang 350-550 nm [3]. Dari pengukuran tersebut akan diperoleh panjang gelombang maksimum dari larutan nanopartikel perak yang merupakan SPR.

Selain untuk mengidentifikasi nanopartikel perak secara kualitatif, panjang gelombang maksimum dari nanopartikel perak dapat pula dapat mengidentifikasi nanopartikel perak secara kuantitatif, yakni berupa ukuran partikel nanopartikel perak yang terbentuk melalui perhitungan dengan persamaan brus yang disajikan pada persamaan 1 dan 2

$$E_g = E_{g(bulk)} + \left(\frac{h^2}{8R^2}\right) \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h}\right) - \frac{1,8e^2}{4\pi\epsilon R\epsilon_0} \dots\dots 1$$

$$E_g = E_{g(bulk)} + \left(\frac{14,84}{R^2}\right) \left(\frac{1}{m_e^2} + \frac{1}{m_h^2}\right) - \frac{2,6}{kR} \dots\dots 2$$

Dengan nilai:

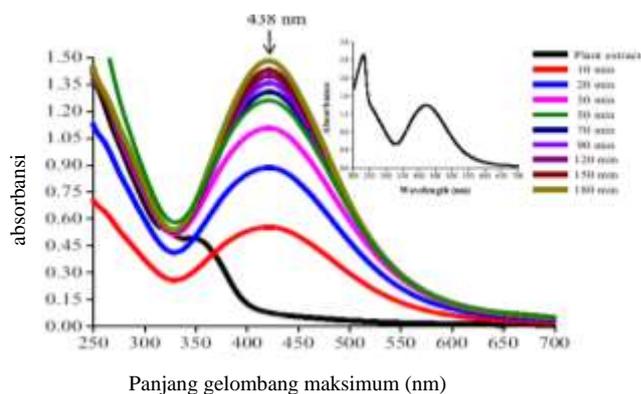
$$E_g(\infty) = 1,3 \text{ eV}$$

$$m_e \text{ and } m_h = 0,25$$

$$k = 6,5$$

[35]

Contoh spektrum UV-Vis nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak tumbuhan disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva panjang gelombang maksimum dan absorbansi nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak air daun *Psidium guajava* [29].

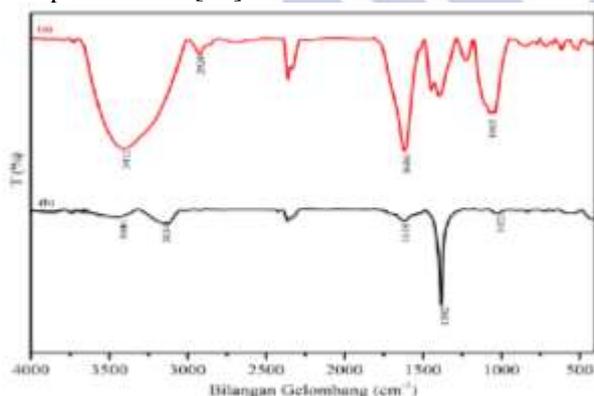
Berdasarkan Gambar 6, panjang gelombang maksimum nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun *Psidium guajava* adalah 438 nm. Nanopartikel perak yang disintesis dengan bioreduktor ekstrak akar *Angelica pubescens* adalah 414 nm [27]. Sementara itu dengan bioreduktor ekstrak daun *Ageratum conyzoides* dapat dihasilkan nanopartikel perak dengan panjang gelombang maksimum sebesar 442 nm [28].

Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR)

Karakterisasi dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis vibrasi ikatan antar atom dalam gugus fungsional tertentu. Terdapat berbagai macam gugus fungsional, misalnya: O-H, N-H, C-H, C=O, C-O, C=C, C≡C, dan C=N, yang akan muncul pada bilangan gelombang 4.000–400 cm^{-1} . Dengan FTIR terjadinya reaksi reduksi ion perak dapat diketahui dari perubahan gugus

fungsi dari zat yang berperan sebagai bioreduktor. Sebagai contoh dalam senyawa fenolik, gugus hidroksil (vibrasi ulur 3400 cm^{-1}) berperan untuk mereduksi ion perak, sehingga mengalami pengurangan intensitas puncak dalam spektrum inframerahnya. Contoh penggunaan spektroskopi inframerah dalam karakterisasi nanopartikel perak dengan bioreduktor ekstrak tumbuhan disajikan pada Gambar 7.

Untuk melakukan karakterisasi sampel menggunakan instrumen FTIR, baik sampel ekstrak tumbuhan dan nanopartikel perak dibuat dalam bentuk serbuk. Kemudian serbuk sampel dicampur dengan serbuk KBr dan dipress, sehingga diperoleh pelet KBr. Pelet KBr yang telah dibuat, diletakkan pada wadah sampel dalam instrument FTIR dan dianalisis gugus fungsionalnya pada rentang bilangan gelombang $4000\text{-}450\text{ cm}^{-1}$ dengan resolusi 4 cm^{-1} untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung pada sampel tersebut [28].



Gambar 7. Spektrum FTIR a) Ekstrak daun salam
b) Nanopartikel perak [15]

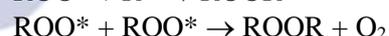
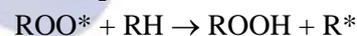
Prinsip pengujian sampel ekstrak tumbuhan dan nanopartikel perak menggunakan FTIR yakni dengan membandingkan hasil pengujian spektrum IR dari sampel ekstrak tumbuhan dan nanopartikel perak. Secara teori pembentukan nanopartikel perak dengan bioreduktor ekstrak tumbuhan terjadi disebabkan adanya reaksi reduksi ion Ag^+ . Gugus fungsional yang terkandung dalam ekstrak tumbuhan akan mengalami reaksi oksidasi, sehingga mengalami perubahan, misalnya gugus OH menjadi gugus keton. Perubahan gugus fungsional tersebut menyebabkan berkurangnya sejumlah gugus fungsional yang terkandung pada sampel sebelum mengalami reaksi oksidasi. Oleh sebab itu, terbentuknya nanopartikel perak dari reaksi reduksi ion Ag^+ dengan ekstrak tumbuhan dapat diindikasikan dengan turunnya intensitas peak

gugus fungsional pada spektrum IR dari ekstrak tumbuhan sebelum direaksikan dengan ion Ag^+ dan setelah nanopartikel perak terbentuk [28].

Gambar 7 a) dan b) masing-masing adalah spektrum inframerah ekstrak daun salam dan nanopartikel perak hasil sintesis. Dalam ekstrak daun salam terkandung senyawa metabolit sekunder yang memiliki gugus hidroksil yang muncul pada bilangan gelombang 3412 cm^{-1} . Setelah terjadi reaksi reduksi ion perak oleh gugus hidroksil tersebut maka puncak gugus hidroksilnya intensitasnya menjadi turun, bahkan hampir tidak tampak pada bilangan gelombang 3412 cm^{-1} [15].

ANTIOKSIDAN

Reaksi oksidasi oleh suatu radikal bebas dapat dihambat maupun dicegah melalui penambahan suatu senyawa atau substansi yang disebut antioksidan. Kemampuan antioksidan dalam meneralisir suatu radikal bebas menyebabkan antioksidan dapat mencegah terjadinya kerusakan sel dalam tubuh yang dapat memicu timbulnya penyakit degeneratif [36]. Reaksi radikal bebas dapat terjadi secara berantai dengan melalui 3 tahapan yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi. Reaksi-reaksi yang terjadi pada tiap tahapan adalah sebagai berikut:



Tahap inisiasi diawali dengan interaksi antara cahaya, oksigen dan panas dengan RH. Akibat dari interaksi tersebut menyebabkan RH melepas satu atom hidrogen, sehingga membentuk radikal bebas (R^*). Kemudian pada tahap propagasi akan terjadi pembentukan radikal peroksi. Pembentukan radikal peroksi disebabkan terjadinya reaksi antara radikal (R^*) yang dihasilkan dari tahap inisiasi dengan oksigen, sehingga akan terbentuk radikal peroksi (ROO^*). Ketika radikal peroksi (ROO^*) telah terbentuk, maka radikal peroksi akan menyerang RH (contoh: asam lemak) untuk membentuk radikal baru dan hidroperoksida. Hidroperoksida yang terbentuk pada tahap propagasi bersifat tidak stabil, sehingga akan terdegradasi membentuk senyawa karbonil berantai pendek seperti aldehid dan keton. [37]. Terdapat tiga jenis antioksidan jika ditinjau dari

fungsi dan mekanismenya dalam meredam radikal bebas, antara lain: antioksidan primer, sekunder dan tersier.

Suatu antioksidan yang berperan dalam mencegah pembentukan senyawa radikal bebas baru disebut antioksidan primer. Mekanisme pencegahan pembentukan radikal bebas oleh antioksidan ini melalui donor atom hidrogen secara cepat pada radikal bebas untuk membentuk produk yang lebih stabil (pemutus reaksi berantai). Contohnya *Glutation Peroksidase (GPx)*, *Superoksida Dismutase (SOD)* [5], Nanopartikel silver [37].

Berbeda dengan antioksidan primer, mekanisme kerja antioksidan sekunder yakni melalui pengkhelatan logam (pro-oksidan) dan penangkapan radikal bebas sehingga reaksi berantai dapat dicegah. Senyawa yang dapat berperan sebagai antioksidan sekunder antara lain: vitamin E, vitamin C, isoflavon dan sebagainya [5].

Antioksidan tersier merupakan jenis antioksidan yang berperan dalam perbaikan kerusakan pada suatu biomolekul yang dipicu oleh radikal bebas. Zat yang berperan sebagai antioksidan jenis ini umumnya berupa enzim, seperti: enzim-enzim yang memperbaiki DNA dan metionin sulfida reduktase [5].

AKTIVITAS ANTIOKSIDAN

Aktivitas antioksidan merupakan kemampuan suatu zat untuk mencegah atau menghambat reaksi oksidasi yang ditimbulkan oleh radikal bebas. Bersamanya aktivitas antioksidan dinyatakan dengan IC_{50} yakni konsentrasi suatu zat yang mampu menghambat atau meredam 50 persen radikal bebas. Tiga metode yang banyak digunakan untuk menentukan aktivitas antioksidan suatu nanopartikel perak adalah metode DPPH, ABTS, dan FRAP [37,38,39].

Metode DPPH

Pengujian aktivitas antioksidan dengan metode DPPH didasarkan pada kemampuan suatu zat dalam meredam radikal bebas 1,1-difenil-2-pikrilhidrasil (DPPH). Sampel yang diuji aktivitas antioksidannya, direaksikan dengan larutan DPPH dan diukur absorbansinya menggunakan spektrokopi UV-Vis dengan panjang gelombang

maksimum 517 nm. Mekanisme peredaman radikal bebas menggunakan metode ini yaitu zat antioksidan akan mendonorkan satu elektron valensi pada radikal DPPH sehingga semua elektron dalam radikal DPPH berpasangan membentuk molekul stabil [38]. Selain mekanisme tersebut, mekanisme peredaman radikal DPPH dapat juga dilakukan melalui donor radikal hidrogen oleh zat antioksidan. Reaksi dengan zat antioksidan menyebabkan jumlah DPPH dalam larutan berkurang, sehingga menurunkan (meredam) nilai absorbans DPPH. Larutan DPPH berwarna ungu dan jika telah mengalami reduksi akan berwarna kuning muda. Berdasarkan hubungan antara konsentrasi zat antioksidan dengan persentase peredaman radikal DPPH dapat ditentukan aktivitas antioksidannya (IC_{50}). Harga persentase peredaman radikal bebas dapat dihitung dengan persamaan 3 [38].

$$\%P = \frac{A_k - A_s}{A_k} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 3$$

A_k = Absorban kontrol (larutan DPPH + metanol)
 A_s = Absorban sampel (larutan DPPH + sampel)
 $\%P$ = Persen peredaman absorban larutan DPPH
 Hubungan antara harga IC_{50} dengan kekuatan aktivitas antioksidan disajikan pada Tabel 2 [38].

Tabel 2. Tingkat kekuatan antioksidan [38]

Nilai IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)	Kekuatan antioksidan
< 50	Sangat kuat
50-100	Kuat
101-150	Sedang
>150	Lemah

Metode ABTS

Uji aktivitas antioksidan menggunakan metode ABTS (2,2-Azinobis 3-ethyl benzothiazoline 6-sulfonic acid), didasarkan pada penyetabilan radikal bebas ABTS melalui peristiwa donor radikal hidrogen. Mekanisme

peredaman radikal bebas ABTS yakni zat antioksidan mendonorkan elektron atau radikal hidrogen sehingga radikal ABTS membentuk molekul yang stabil. Pada nanopartikel perak hasil sintesis menggunakan bioreduktor, dapat terjadi dua macam peredaman radikal ABTS yaitu donor elektron oleh nanopartikel perak serta donor radikal hidrogen oleh *capping agent* yang berasal dari ekstrak tumbuhan [40]. Larutan ABTS berwarna biru kehijauan dan memiliki panjang gelombang maksimum sebesar 734 nm. Akibat terjadinya penyetabilan radikal bebas ABTS, larutan radikal ABTS yang berwarna biru kehijauan akan berubah menjadi tidak berwarna. Kemudian perubahan intensitas warna larutan tersebut dibandingkan dengan larutan standar Trolox [41].

Metode FRAP

Pengujian aktivitas antioksidan menggunakan metode FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) didasarkan pada kemampuan antioksidan dalam mereduksi ion Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} dalam larutan 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ). Pengujian aktivitas antioksidan ini dilakukan menggunakan metode spektrofotometri pada panjang gelombang maksimum 593 nm, dengan perubahan warna larutan sampel dari kuning menjadi biru tua. Reaksi antara antioksidan dengan reagen FRAP dapat berjalan optimum pada pH 3,6 dan FRAP dari nanopartikel perak adalah sebesar $2,20 \text{ mg}^{-1}$. Kemudian perubahan intensitas warna larutan tersebut dibandingkan dengan larutan standar Trolox [42,43].

PERBANDINGAN ANTARA METODE DPPH, ABTS DAN FRAP

Terdapat berbagai metode dalam menentukan aktivitas antioksidan suatu sampel. Contohnya seperti DPPH, ABTS dan FRAP. Ketiga metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Oleh sebab itu, dibutuhkan penentuan dalam menggunakan metode pengujian aktivitas antioksidan yang sesuai dengan kondisi penelitian.

Perbandingan ketiga metode penentuan aktivitas antioksidan tersebut disajikan pada Tabel 3 [43].

Tabel 3. Perbandingan metode DPPH, ABTS dan FRAP [43].

Metode	Kelebihan	Kekurangan
DPPH	<ul style="list-style-type: none"> - Pengujian sederhana, cepat, sensitif pada sampel dengan konsentrasi rendah, memiliki reproduibilitas tinggi - Dapat diterapkan pada sampel berpelarut organik. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak dapat menguji aktivitas antioksidan sampel dalam bentuk plasma dan protein
ABTS	<ul style="list-style-type: none"> - Pengujian sederhana, sensitif - Dapat diterapkan pada sampel berpelarut organik dan air 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan waktu yang lama. - Reaktan tidak stabil
FRAP	<ul style="list-style-type: none"> - Pengujian sederhana, reproduibilitas tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan waktu yang lama.

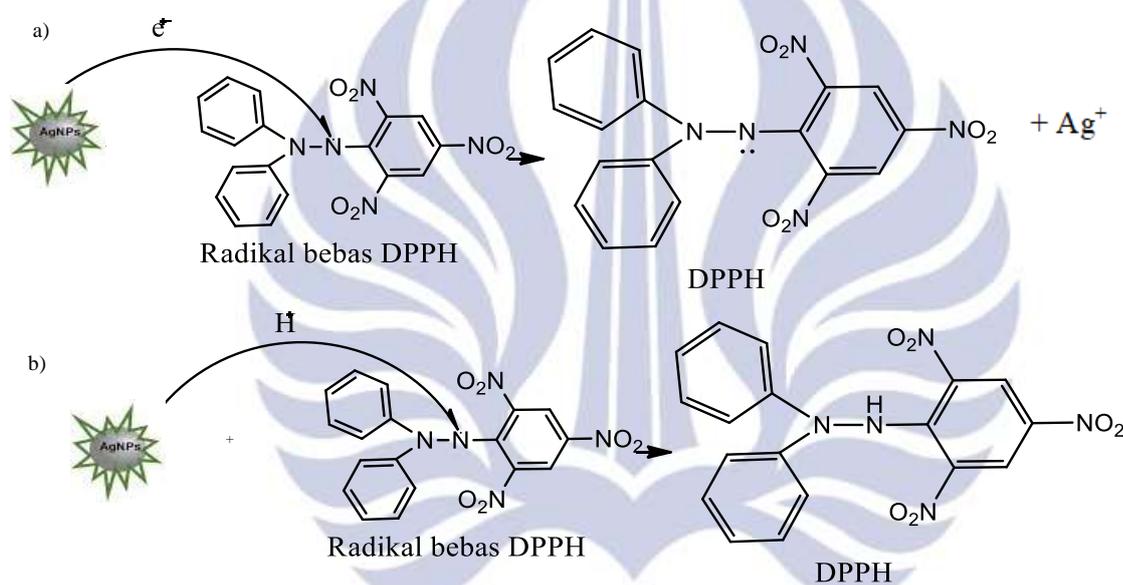
AKTIVITAS ANTIOKSIDAN NANOPARTIKEL PERAK HASIL SINTESIS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR

Antioksidan merupakan suatu zat yang dapat mencegah atau menghambat reaksi oksidasi oleh radikal bebas. Proses tersebut terjadi melalui donor elektron atau atom hidrogen dari antioksidan ke radikal bebas [38]. Dalam sistem periodik unsur, unsur perak (Ag) memiliki nomor atom 49, sehingga konfigurasi elektronnya: $[Kr]4d^{10}5s^1$ [44]. Dengan demikian atom perak memiliki satu elektron tidak berpasangan. Nanopartikel perak dapat disintesis menggunakan bioreduktor dari ekstrak tumbuhan, misalnya menggunakan ekstrak daun kelor, jambu biji,

mangga, manggis, dan *Litchi sinensis* [18-22]. Dalam nanopartikel perak hasil sintesis menggunakan bioreduktor juga terdapat *Capping agent* yakni senyawa metabolit sekunder yang berperan menyetabilkan nanopartikel perak agar tidak mengalami aglomerasi [38,41]. Nanopartikel perak hasil sintesis menggunakan bioreduktor memiliki potensi sebagai antioksidan karena satu elektron valensi yang tidak berpasangan dapat didonorkan ke spesi radikal bebas. Disamping itu telah dikemukakan pula mekanisme lain yakni *capping agent* nanopartikel perak berperan sebagai antioksidan. Beberapa penelitian tentang potensi antioksidan nanopartikel perak hasil sintesis menggunakan bioreduktor telah dilakukan. Besarnya aktivitas antioksidan diukur

menggunakan beberapa metode, diantaranya metode DPPH, ABTS dan FRAP.

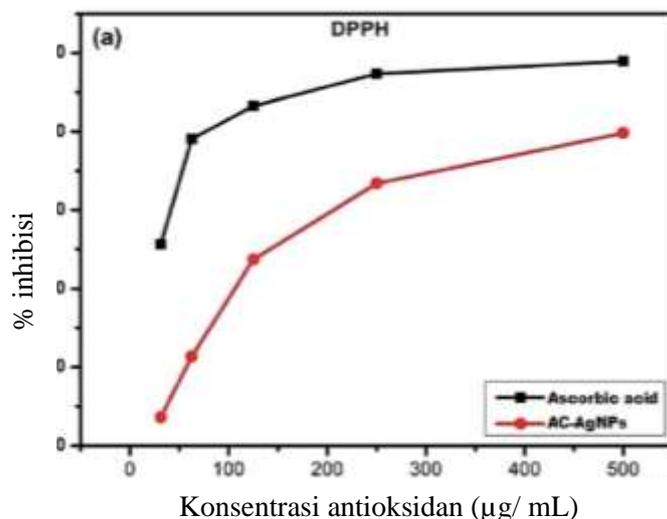
Pengukuran aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH didasarkan pada kemampuan antioksidan dalam meredam reagen DPPH yakni radikal 1,1-difenil-2-pikrilhidrasil. Terdapat dua mekanisme peredaman radikal bebas DPPH oleh nanopartikel perak yang telah dikemukakan, yakni melalui transfer elektron valensi nanopartikel perak pada radikal DPPH dan transfer atom hidrogen yang terkandung dalam senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai *capping agent* [38,40]. Mekanisme peredaman radikal bebas DPPH disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. a) Nanopartikel perak mendonorkan elektron valensi ke radikal DPPH b) *Capping agent* mendonorkan atom hidrogen ke radikal DPPH [38].

Gambar 8a menunjukkan bahwa setelah nanopartikel perak mendonorkan elektron valensi pada radikal DPPH, maka radikal DPPH menjadi stabil. Hal ini disebabkan satu elektron bebas pada radikal DPPH telah berpasangan dengan elektron yang telah didonorkan oleh nanopartikel perak. Sementara itu Gambar 8b menunjukkan bahwa

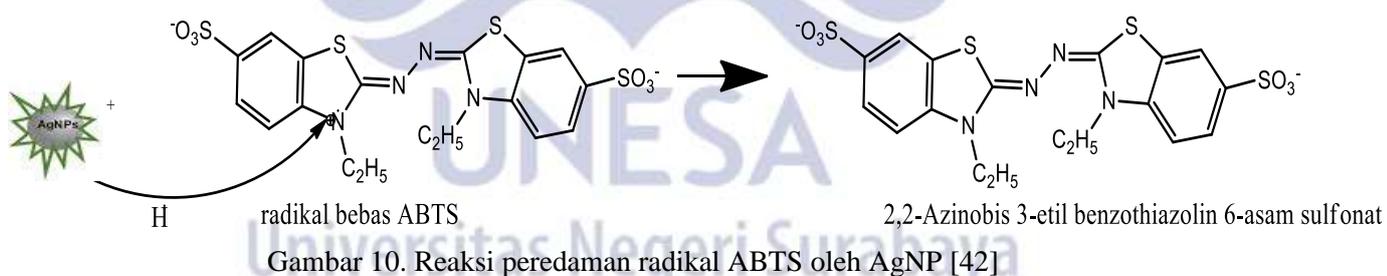
setelah *capping agent* pada nanopartikel perak mendonorkan atom hidrogen pada radikal DPPH, maka radikal DPPH menjadi stabil. Hal ini disebabkan satu elektron bebas pada radikal DPPH telah berpasangan dengan atom hidrogen yang telah didonorkan oleh *capping agent* nanopartikel perak [38,40].



Gambar 9. Hasil pengujian aktivitas antioksidan nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak daun *Psidium guajava* dengan metode DPPH [28]

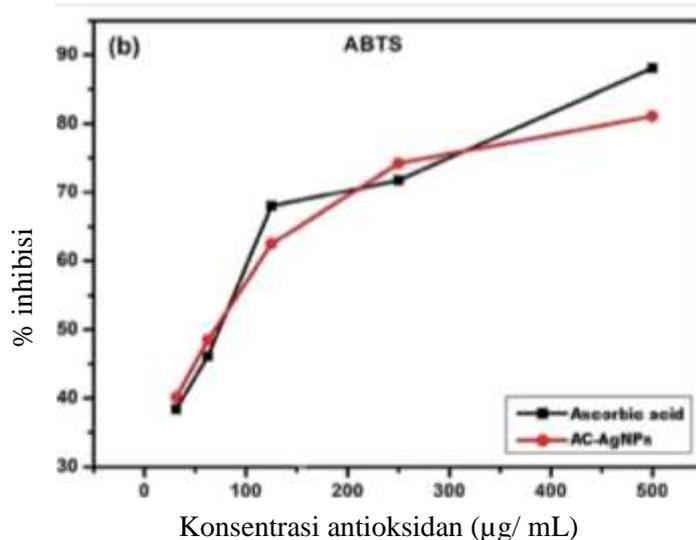
Telah dilakukan studi dalam pengujian aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH pada nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor. Adapun berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada nanopartikel perak yang disintesis dengan ekstrak daun salam memiliki aktivitas antioksidan berkategori lemah dengan nilai IC_{50} sebesar 582,7 ppm [15]. Sementara itu nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak daun *Psidium guajava* menunjukkan aktivitas antioksidan berkategori kuat dengan IC_{50} sebesar 52,53 µg/ mL [29].

Pengukuran aktivitas antioksidan menggunakan metode ABTS didasarkan pada kemampuan antioksidan dalam meredam reagen ABTS yakni radikal 2,2-Azinobis 3-ethyl benzothiazoline 6-sulfonic acid. Mekanisme peredaman radikal bebas ABTS oleh nanopartikel perak yakni melalui transfer atom hidrogen yang terkandung dalam senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai *capping agent* [40]. Mekanisme peredaman radikal bebas ABTS disajikan pada Gambar 10.

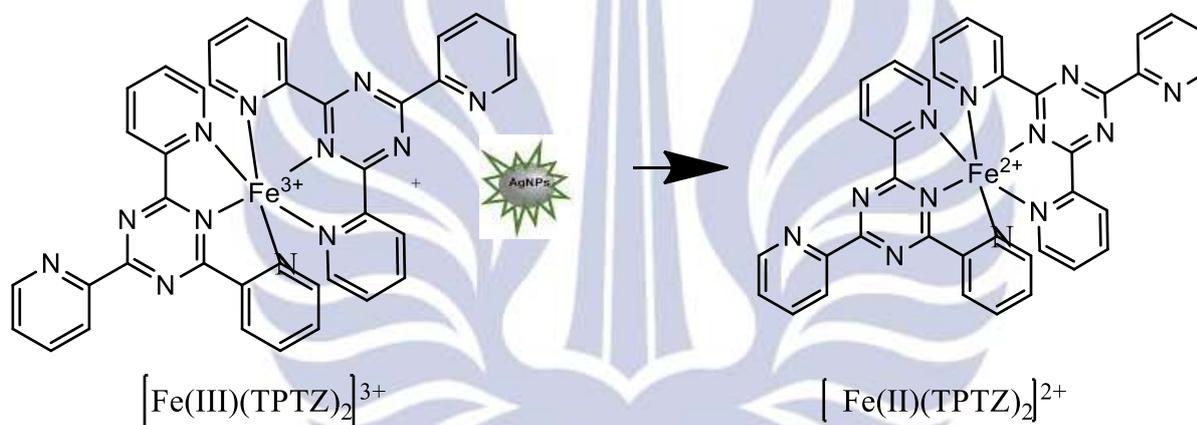


Berdasarkan Gambar 10 setelah gugus fungsi metabolit sekunder yang berperan sebagai *capping agent* nanopartikel perak mendonorkan atom hidrogen pada radikal ABTS sehingga

radikal tersebut menjadi stabil. Hal ini disebabkan satu elektron bebas pada radikal ABTS telah berpasangan[43].



Gambar 11. Hasil pengujian aktivitas antioksidan nanopartikel perak yang disintesis menggunakan daun *Psidium guajava* dengan metode ABTS [29]



Gambar 12. Reaksi reduksi reagen FRAP oleh antioksidan nanopartikel perak [43]

Telah dilakukan penelitian mengenai aktivitas antioksidan menggunakan metode ABTS pada nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun *Psidium guajava*. Sudi tersebut menunjukkan jika nanopartikel perak yang diuji memiliki aktivitas antioksidan yang kuat dengan harga IC_{50} sebesar $55,10 \mu\text{g/ mL}$ [29]. Sementara itu nanopartikel perak hasil sintesis menggunakan bioreduktor campuran rempah (*spice blend*) juga memiliki aktivitas antioksidan yang kuat pada uji dengan metode ABTS dengan IC_{50} sebesar $68,75 \mu\text{g/ mL}$ [45].

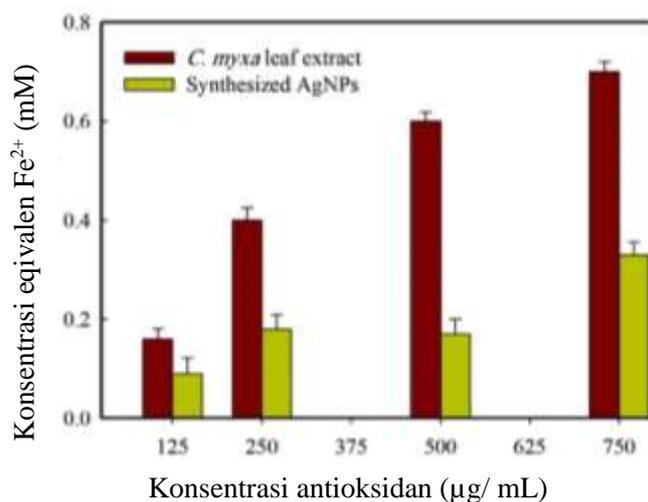
Pengukuran aktivitas antioksidan menggunakan metode FRAP didasarkan pada kemampuan antioksidan dalam mereduksi reagen FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*). Mekanisme reaksi reduksi Fe (III) dalam larutan

2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) oleh nanopartikel perak yakni melalui transfer elektron dari senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai *capping agent* [43]. Mekanisme reduksi reagen Fe(III) TPTZ disajikan pada Gambar 12

Gambar 12 menunjukkan bahwa gugus fungsi metabolit sekunder yang berperan sebagai *capping agent* nanopartikel perak mereduksi reagen Fe(III)-TPTZ sehingga ion Fe^{3+} berubah menjadi Fe^{2+} . Hal ini disebabkan Fe^{3+} memiliki potensial reduksi sebesar $0,77 \text{ V}$, sedangkan gugus OH dalam metabolit sekunder memiliki potensial reduksi sebesar $0,33 \text{ V}$. Oleh karena itu, Fe^{3+} dapat mengalami reaksi reduksi dan membentuk senyawa kompleks Fe^{2+} dengan rumus struktur seperti yang digambarkan pada Gambar 12 [45, 46].

Uji aktivitas antioksidan dengan metode FRAP telah dilakukan terhadap nanopartikel perak yang disintesis dengan bioreduktor ekstrak tumbuhan *Cordia myxa*. Sebagian hasil ujinya disajikan pada Gambar 13. Semakin tinggi konsentrasi antioksidan, maka semakin tinggi pula konsentrasi ion Fe^{2+} yang terbentuk. Gambar 13 juga menunjukkan bahwa nanopartikel perak

mampu mereduksi reagen FRAP, konsentrasi ion Fe^{2+} yang terbentuk berkisar antara 0,15 hingga 0,3 mM dengan konsentrasi larutan nanopartikel perak antara 125 hingga 750 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Berbeda dengan konsentrasi Fe^{2+} yang telah terbentuk oleh ekstrak *Cordia myxa*, yakni antara 0,19 hingga 0,7 mM dengan konsentrasi larutan ekstrak *Cordia myxa* antara 125 hingga 750 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ [43]



Gambar 13. Hasil pengujian aktivitas antioksidan nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak *Cordia myxa* dengan metode FRAP [43].

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ekstrak tumbuhan dapat berperan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak.
2. Nanopartikel perak yang telah disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak tumbuhan dapat dikarakterisasi, sifat fisiknya, bentuk dan ukuran partikel menggunakan instrument TEM dan PSA. Sifat kimia nanopartikel dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan proses pembentukannya dapat diidentifikasi menggunakan FTIR.
3. Nanopartikel perak hasil sintesis dengan bioreduktor ekstrak tumbuhan memiliki aktivitas antioksidan, yang dapat ditentukan menggunakan metode DPPH, ABTS dan FRAP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan pada Allah SWT karena atas ridhoNya tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada ibu Prof. Dr. Titik Taufikurohmah dan ibu Dr. Amaria, M.Si yang telah memberikan saran dalam penulisan artikel ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pulit, J., Banach, M., & Kowalski, Z. (2013). 'Chemical reduction as the main method for obtaining nanosilver'. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 10(2), 276–284. <https://doi.org/10.1166/jctn.2013.2691>
2. Priya, R. S., Geetha, D., & Ramesh, P. S. (2016). 'Antioxidant activity of chemically

- synthesized AgNPs and biosynthesized Pongamia pinnata leaf extract mediated AgNPs – A comparative study'. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.037>
3. Du, J., Hu, Z., Dong, W. jie, Wang, Y., Wu, S., & Bai, Y. (2019). 'Biosynthesis of large-sized silver nanoparticles using Angelica keiskei extract and its antibacterial activity and mechanisms investigation'. *Microchemical Journal*, 147(November 2018), 333–338. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.046>.
 4. WHO (World Organization of Health). (2019). Indonesia. <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/360-indonesia-fact-sheets.pdf> Diakses pada 26 Desember 2019.
 5. Sayuti, K. dan Yenrina R. (2015). *Antioksidan, Alami dan Sintetik*. Padang: Andalas Univerisity Press.
 6. Tran, Q.H., Nguyen, V.Q., Le, A.T. (2013). 'Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives'. *Adv. Nat. Sci*.
 7. Khaydarov, R.R., Khaydarov, R.A., Estrin, Y., Evgrafova, S., Scheper, T, Endres, C, Cho, SY. (2009). 'Silver nanoparticles'. *Nanomaterials: Risks and Benefits*, 4: 287-297.
 8. Pareek, V., Bhargava, A., Gupta, R., Jain, M., Panwar, J. (2017). 'Synthesis and aplication of noble metal nanoparticles: A review'. *Advance Science Engineering and Medicine*, 9, 527-544.
 9. Khodashenas, B., Ghorbani, H.R. (2015). 'Review synthesis of silver nanoparticles with different shapes'. *Arabian Journal of Chemistry*.
 10. Netskina, O. V., Filippov, T. N., Komova, O. V., & Simagina, V. I. (2019). 'Hydrogen generation by both acidic and catalytic hydrolysis of sodium borohydride'. *Catalysis for Sustainable Energy*, 5(1), 41–48. <https://doi.org/10.1515/cse-2018-0006>
 11. Sari, P.I., Firdaus, M.L., Elvia, R. (2017). 'Pembuatan Nanopartikel Perak (NPP) dengan Bioreduktor Ekstrak Buah *Mustingia calabura* C. untuk Analisis Logam Merkuri'. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 1(1), 20-26.
 12. Patel, P., Agarwal, P., Kanawaria, S., Kachhwaha, S., Kothari, S. (2015). *Nanotechnology and Plant Sciences*. Springer International Publishing
 13. Bose, D. dan Chatterjee, S. (2015). 'Biogenic synthesis of silver nanoparticles using guava (*Psidium guajava*) leaf extract and its antibacterial activity against *Pseudomonas aeruginosa*'. *Applied Nanoscience*, 6(6), 895-901.
 14. Yusof, K.N., Alias, S.S., Harun, Z., Basri, H., Azhae, F.H. (2018). 'Parkia speciosa as Reduction Agent in Green Synthesis Silver Nanoparticles'. *ChemistrySelect*, 3, 8881-8885.
 15. Taba, P., Parmitha, N.Y., & Kasim, S. (2019). 'Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum*) sebagai bioreduktor dan uji aktivitasnya sebagai antioksidan'. *Indonesian Journal of Chemistry*, 7(1), 43–52.
 16. Wonsawat, W. (2014). 'The green synthesis AgNPs from basil leaf extract', *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*. 8 (5): 448-450.
 17. Marlinda, Zakir, M., Hariani, N. (2020). *Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Paliasa (Kleinhovia Hospita Linn.) dan Potensinya Sebagai Tabir Surya*. Jurusan Kimia Universitas Hasanudin.
 18. Narwade, B., Prasad, N., Lokhande, S.M., Madavi, A.B., Sahoo, A.K. (2018) 'Extracellular Biosynthesis of Silver Nanoparticles using *Moringa oleifera* Leaves Extract and its Antimicrobial Efficacy in Packaging Materials'. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Science*, 4(2), 188-202.
 19. Wang, L., Wu, Y., Xie, J., Wu, S., Wu, Z. (2018). 'Characterization, antioxidant and antimicrobial activities of green synthesized silver nanoparticles from *Psidium guajava* L.

- leaf aqueous extracts'. *Materials Science and Engineering C*, 86(April 2017), 1–8.
20. Subramanian, L., Thomas, S., Koshy, O. (2017). 'Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous plant extracts and its application as optical sensor'. *International Journal of Biosensors & Bioelectronics*, 2(3), 82-85.
21. Masakke, Y., Sulfikar, Rasyid, M. (2015). 'Biosintesis partikel-nano perak menggunakan ekstrak metanol daun manggis (*Garcinia mangostana l.*)', *Jurnal Sainsmat*, 4 (1): 28-41.
22. Murad, U., Khan, S.A., Ibrar, M., Ullah, S., Khattak, U. (2018). 'Synthesis of silver and gold nanoparticles from leaf of *Litchi chinensis* and its biological activities'. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 8(3), 142–149.
23. El-Rafie, M.H., El-Rafie, M.H., Zahran, M.K. (2017). 'Anti-inflammatory and antibacterial activities of nanosilver-treated cotton fabric prepared from ethanolic extracts of three *terminalia* species'. *Egypt. J. Chem*, 129-142.
24. Baraka, A., Dickson, S., Gobara, M., Gharieb, S, El-Sayyad, Zorainy, M, Awaad, M.I., Hatem, H., Kotb, M.M., Tawfic, A.F. (2017). 'Synthesis of silver nanoparticles using natural pigments extracted from Alfalfa leaves and its use for antimicrobial activity', *Chemical Applied*.
25. Rengga, W.D.P., Yufitasaei, A., Adi, W. (2017). 'Synthesis of silver nanoparticles from silver nitrate solution using green tea extract (*Camelia sinensis*) as bioreductor'. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 6(1), 32-38.
26. Hofer, F. (2014). *Transmission Electron Microscopy and Nanoanalysis*. FELMIZFE: Electron Microscopy and Nanoanalysis. portal.tugraz.at/portal/page/portal/felmi/research/TEMandNanoanalysis. Diakses 5 April 2020.
27. Markus, J., Wang, D., Kim, Y. J., Ahn, S., Mathiyalagan, R., Wang, C., & Yang, D. C. (2017). 'Biosynthesis, Characterization, and Bioactivities Evaluation of Silver and Gold Nanoparticles Mediated by the Roots of Chinese Herbal *Angelica pubescens Maxim*'. *Nanoscale Research Letters*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s11671-017-1833-2>
28. Chandraker, S. K., Lai, M. dan Shukla, R. (2019). 'DNA-binding, Antioxidant, H₂O₂ Sensing and Photocatalytic Properties of Biogenic Silver Nanoparticles Using *Ageratum conyzoides L.* Leaf Extract'. *RSC Adv.*, 9, 23408-2417.
29. Wang, L., Wu, Y., Xie, J., Wu, S., Wu, Z. (2018). 'Characterization, antioxidant and antimicrobial activities of green synthesized silver nanoparticles from *Psidium guajava L.* leaf aqueous extracts'. *Materials Science and Engineering C*. 86. 1–8.
30. Dhamoon, R.K., Popli, H., Aggrawal, G., Gupta, M. (2018). 'Particle Size Characterization- Techniques, Factors and Quality-by-design Approach'. *International Journal of Drug Delivery*, 10(1), 01-11
31. Handayani, W., Bakir, Imawan, C., Purbaningsih, S. (2010). 'Potensi ekstrak beberapa jenis tumbuhan sebagai agen pereduksi untuk biosintesis nanopartikel perak'. *Seminar Nasional Biologi*. Fakultas Biologi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
32. Bakir, B. (2011). *Pengembangan biosintesis nanopartikel menggunakan air rebusan daun bisbul (*Diospyros blancoi*) untuk deteksi ion tembaga (II) dengan metode kolorimetetri*. FMIPA. Universitas Indonesia.
33. Nakamura, T., Magara, H., Herbani, Y., & Sato, S. (2011). 'Fabrication of silver nanoparticles by highly intense laser irradiation of aqueous solution'. *Applied Physics A*, 104(4), 1021–1024.
34. Spierings, G. A. C. M. (1987). 'Optical absorption of Ag⁺ ions in 11(Na,Ag)₂O · 11B₂O₃ · 78SiO₂ glass'. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 94(3), 407–411. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(87\)80075-3](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(87)80075-3)
35. Taufikurohmah, T., Soepardjo, D., Rusmini, R., Armadianto, H. (2019). 'Synthesis and

- Characterization of Nanogold-Nanosilver Cluster Diameter Using UV-Visible Instruments and TEM Electron Microscope Transform Instruments'. *Advance in Social Science, Education and Humanities Research*, 390, 146-151.
36. Fatimah, F. (2008). 'Pengaruh pH terhadap stabilitas oksidatif dan efektivitas antioksidan dalam sistem emulsi'. *Chem Prog.* 1 (2): 89-93.
37. Mehta, S.K. & Gowder, S.J.T. (2015). *Member of Antioxidant Machinery and Their Functions*. New York: Intech.
38. Khan, A. U., Yuan, Q., Khan, Z. U. H., Ahmad, A., Khan, F. U., Tahir, K., Shakeel, M., & Ullah, S. (2018). 'An eco-benign synthesis of AgNPs using aqueous extract of Longan fruit peel: Antiproliferative response against human breast cancer cell line MCF-7, antioxidant and photocatalytic deprivation of methylene blue'. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 183, 367-373. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.05.007>
39. Taufikurohmah, T. dan Rusmini, R. (2016). *Kimia Kosmetik*. Surabaya: Jurusan Kimia Unesa.
40. Huo, H., Khoshnamvand, Liu, P., Yuan, .G., Cao, W. (2018). 'Eco-friendly approach for biosynthesis of silver nanoparticles using *Citrus maxima* peel extract and their characterization, catalytic, antioxidant and antimicrobial characteristics'. *Material research express*, 6(1), 1-16
41. Wulansari, A.N. (2018). 'Alternatif antiangiogenesis (Ungu (*Vaccinium varingiaefolium*)) sebagai Antioksidan Alami : Review. *Farmaka*, 16(2), 419-427.
42. Nunes, M.R., de Souza Maguerroski Castilho, M., de Lima Veeck, A.P., da Rosa, C. Galves., Noronha, C.M., Maciel, M.V.O.B., & Barreto, P.M. (2018). 'Antioxidant and antimicrobial methylcellulose films containing Lippia alba extract and silver nanoparticles'. *Carbohydrate Polymers*.(Manuscript)
43. Samari, F., Parkhari, P., ftekhari, Mohseni, F., Yousefinejad, S. (2019). 'Antioxidant, cytotoxic and catalytic degradation efficiency of controllable phyto-synthesised silver nanoparticles with high stability using Cordia myxa extract'. *Journal of Experimental Nanoscience*, 4(1), 141-159.
44. Chang, R. (2011). *General Chemistry: The Essential Concepts. 6th Ed.* New York: McGraw Hill Companies, Inc.
45. Otunola, G.A. dan Afolayan, A.J. (2018). 'In vitro antibacterial, antioxidant and toxicity profile of silver nanoparticles green-synthesized and characterized from aqueous extract of a spice blend formulation'. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 32(3), 724-733
46. Gupta, D. (2019). 'Methods for determination of antioxidant capacity: a review'. *International Journal of Pharmaceutical Science and Research*, 6(2), 546-566