

# Sintesis Nanopartikel Perak Termodifikasi PEG-4000 Menggunakan Ekstrak Daun Afrika Sebagai Pendeteksi $Hg^{2+}$

## Synthesis of PEG-4000-modified Silver Nanoparticles using African Leaves as $Hg^{2+}$ Detector

Akbar Fikrah Asri<sup>1</sup>, Henry Fonda Aritonang<sup>1\*</sup>, Harry S. J. Koleangan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi Manado

\*Email korespondensi: henryaritonang@unsrat.ac.id

### ABSTRACT

Synthesis of Ag nanoparticles was performed using modified African leaves of polyethylene glycol-4000 (PEG-4000) and further tested to qualitatively detect the presence of mercury ions ( $Hg^{2+}$ ) in water samples by colorimetry. Synthesis of Ag nanoparticles was carried out by dissolving 0.01 g of African leaf extract into  $AgNO_3$  solution (5; 10; 15; 20; and 25 mL) with the addition of PEG-4000 (5 ppm, 10 ppm and 15 ppm). The particles were then stirred at 1500 rpm for 1 hour, and characterized using UV-Vis spectrophotometer, Particle Size Analyzer (PSA) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). The results showed that the synthesized Ag nanoparticles were 88.8 nm in size. PEG-4000 modified African leaf extract containing Ag nanoparticles was then used to detect  $Hg^{2+}$  ions which were observed colorimetrically. The results showed that the Ag nanoparticles contained in the African leaf extract and PEG-4000 could qualitatively detect the presence of  $Hg^{2+}$  metal ions in water samples.

Keywords: African Leaf, Mercury ( $Hg^{2+}$ ) Ion Detector, Silver Nanoparticles, Polyethylene Glycol-4000.

### ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis nanopartikel Ag menggunakan daun afrika termodifikasi polietilen glikol-4000 (PEG-4000) dan selanjutnya diuji coba untuk mendeteksi secara kualitatif keberadaan ion merkuri ( $Hg^{2+}$ ) dalam sampel air secara kolorimetri. Sintesis nanopartikel Ag dilakukan dengan melarutkan 0,01 g ekstrak daun afrika ke dalam larutan  $AgNO_3$  (5; 10; 15; 20; dan 25 mL) dengan penambahan 2 mL PEG-4000 (5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm). Selanjutnya distirer dengan kecepatan 1500 rpm selama 1 jam, dan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, Particle Size Analyzer (PSA) dan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel Ag yang disintesis berukuran 88,8 nm. Ekstrak daun afrika yang termodifikasi PEG-4000 dan mengandung nanopartikel Ag ini kemudian digunakan untuk mendeteksi ion logam  $Hg^{2+}$  yang diamati secara kolorimetri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel Ag yang terkandung dalam ekstrak daun afrika dan PEG-4000 secara kualitatif dapat mendeteksi keberadaan ion  $Hg^{2+}$  dalam sampel air.

Kata kunci: Daun Afrika, Deteksi Ion Merkuri ( $Hg^{2+}$ ), Nanopartikel Ag Polietilen Glikol-4000.

### PENDAHULUAN

Nanoteknologi, yang merupakan ilmu dan rekayasa manipulasi materi pada skala atom dan molekul, telah mengalami kemajuan pesat. Bidang ini memungkinkan penciptaan material, struktur fungsional, dan perangkat nanometer. Sifat unik material berskala nano membuka peluang luas untuk berbagai aplikasi di berbagai bidang (Abdullah & Khairurijal 2010). Para ilmuwan di bidang ilmu material, kimia, fisika, biologi, dan ilmu lingkungan telah banyak meneliti nanopartikel karena potensinya yang luar biasa dalam berbagai aplikasi teknologi.

Nanopartikel adalah partikel kecil dengan ukuran sekitar 1-100 nm dan ukuran kecil ini dapat memberikan sifat-sifat unik yang berbeda dari material asalnya. Perak (Ag) adalah salah satu logam yang sering dijadikan material nanopartikel karena aman bagi kulit dan memiliki sifat optik yang baik

(Caro dkk., 2010). Nanopartikel perak adalah yang paling banyak diteliti karena ukuran dan bentuknya yang dapat dikontrol dan memiliki banyak kegunaan, seperti antimikroba, antioksidan, bahan biosensor, produk kosmetik, dan komponen elektronik (Panigrahi, 2013).

Sintesis nanopartikel Ag dapat dilakukan dengan bantuan ekstrak tumbuhan sebagai bioreduktor, yaitu tumbuhan yang mengandung senyawa yang dapat mereduksi ion  $\text{Ag}^+$  menjadi  $\text{Ag}^0$  (Isaac dkk., 2013; Aritonang dkk., 2019; Aritonang dkk., 2021). Metabolit sekunder seperti tanin, saponin, steroid, fenolik, terpenoid, alkaloid, tanin, dan flavonoid adalah senyawa-senyawa yang terkandung dalam tumbuhan dan dapat bertindak sebagai pereduksi (Matutu dkk., 2016). Daun afrika (*Vernonia amygdalina* Del) adalah satu tumbuhan yang dikenal mengandung banyak metabolit sekunder, termasuk senyawa fenolik dan flavonoid (Febrianti dkk., 2017). Secara teoritis, senyawa fenolik dapat bertindak sebagai agen pereduksi dan dapat dimanfaatkan pada sintesis nanopartikel Ag (Philip, 2010).

Pada sintesis nanopartikel, stabilitas partikel sangat penting untuk diperhatikan karena agregasi partikel dapat mempengaruhi kinerja nanopartikel. Haryono dkk. (2008) mengemukakan bahwa untuk mencegah agregasi nanopartikel Ag dapat dilakukan dengan penggunaan material atau molekul pelapis partikel. Untuk mencegah aglomerasi, sering digunakan material polimer sebagai senyawa yang sangat efektif untuk menjadi penghalang terjadinya proses agregasi dan proses oksidasi yang tidak diinginkan (Marliyana dkk., 2006; Aritonang dkk., 2020). Sejauh ini, belum banyak dikembangkan penelitian menyangkut biosintesis nanopartikel Ag menggunakan ekstrak daun afrika dan kemudian dimanfaatkan untuk deteksi ion logam terlarut. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengembangkan sintesis nanopartikel Ag dengan bantuan ekstrak daun afrika sebagai reduktor dan polietilena glikol-4000 (PEG-4000) sebagai penstabil dan kemudian mengaplikasikannya dalam mendeteksi ion logam  $\text{Hg}^{2+}$ .

## BAHAN DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun afrika, kertas saring, aluminium foil, etanol 96%, aquades, perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ), PEG-4000, dan merkuri klorida ( $\text{HgCl}_2$ ).

### Preparasi

Daun afrika dicuci dengan air mengalir, dikeringanginkan pada suhu ruang, dan dihaluskan. 200 g daun afrika yang telah halus dimaserasi dengan cara merendamnya dalam 1L etanol 96% dan diaduk setiap 5 jam selama 2 hari. Dibuat larutan stok PEG-4000 100 ppm dan dari larutan stok ini dibuat larutan PEG-4000 5 ppm (larutan A), 10 ppm (larutan B) dan 15 ppm (larutan C) masing-masing sebanyak 100 mL.

### Sintesis nanopartikel perak (Ag)

Sebanyak 0,01 g ekstrak daun afrika dicampurkan dengan 5 mL  $\text{AgNO}_3$  1 mM dan aluminium foil digunakan sebagai pembungkus agar tidak terpapar cahaya. Campuran kemudian dipanaskan di atas *hotplate* 100 °C selama 1 jam sambil diaduk dengan pengaduk magnet pada 1500 rpm sambil ditambahkan tetes demi tetes 2 mL PEG-4000 A pada suhu 100°C. Prosedur yang sama dikerjakan juga untuk variasi volume larutan  $\text{AgNO}_3$  1 mM (Tabel 1) serta untuk PEG-4000 B dan C.

Tabel 1. Variasi Perbandingan Sintesis Nanopartikel Ag

No	Larutan $\text{AgNO}_3$ (mL)	Ekstrak Daun Afrika (g)	PEG-4000 (mL)
1.	5	0,01	2
2.	10	0,01	2
3.	15	0,01	2
4.	20	0,01	2
5.	25	0,01	2

Nanopartikel Ag kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis mengikuti metode Kumar dkk. (2015), *Particle Size analyzer* (PSA), dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Eksperimen deteksi ion merkuri selanjutnya dikerjakan dengan metode kolorimetri..

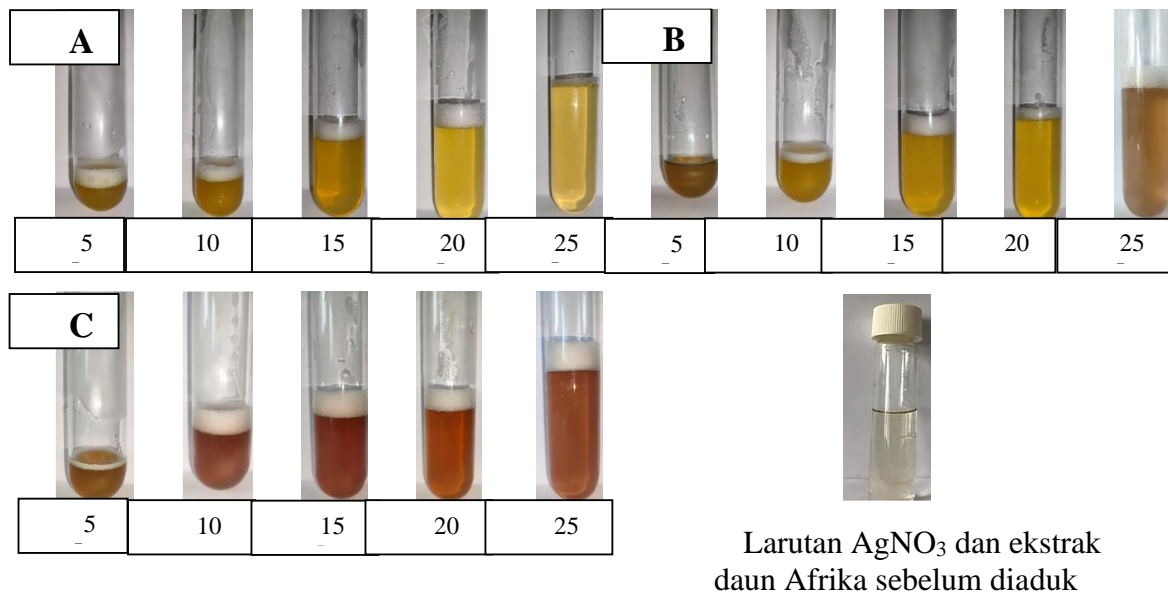
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Rendemen hasil ekstrak serbuk daun afrika

Pada penelitian ini, telah diperoleh ekstrak kental sebanyak 32,0013 g dan rendemen ekstrak daun afrika sebanyak 16%..

### Sintesis Nanopartikel Perak (Ag)

Sintesis nanopartikel Ag yang bersumber dari prekursor  $\text{AgNO}_3$  dengan bantuan ekstrak daun afrika termodifikasi PEG-4000.



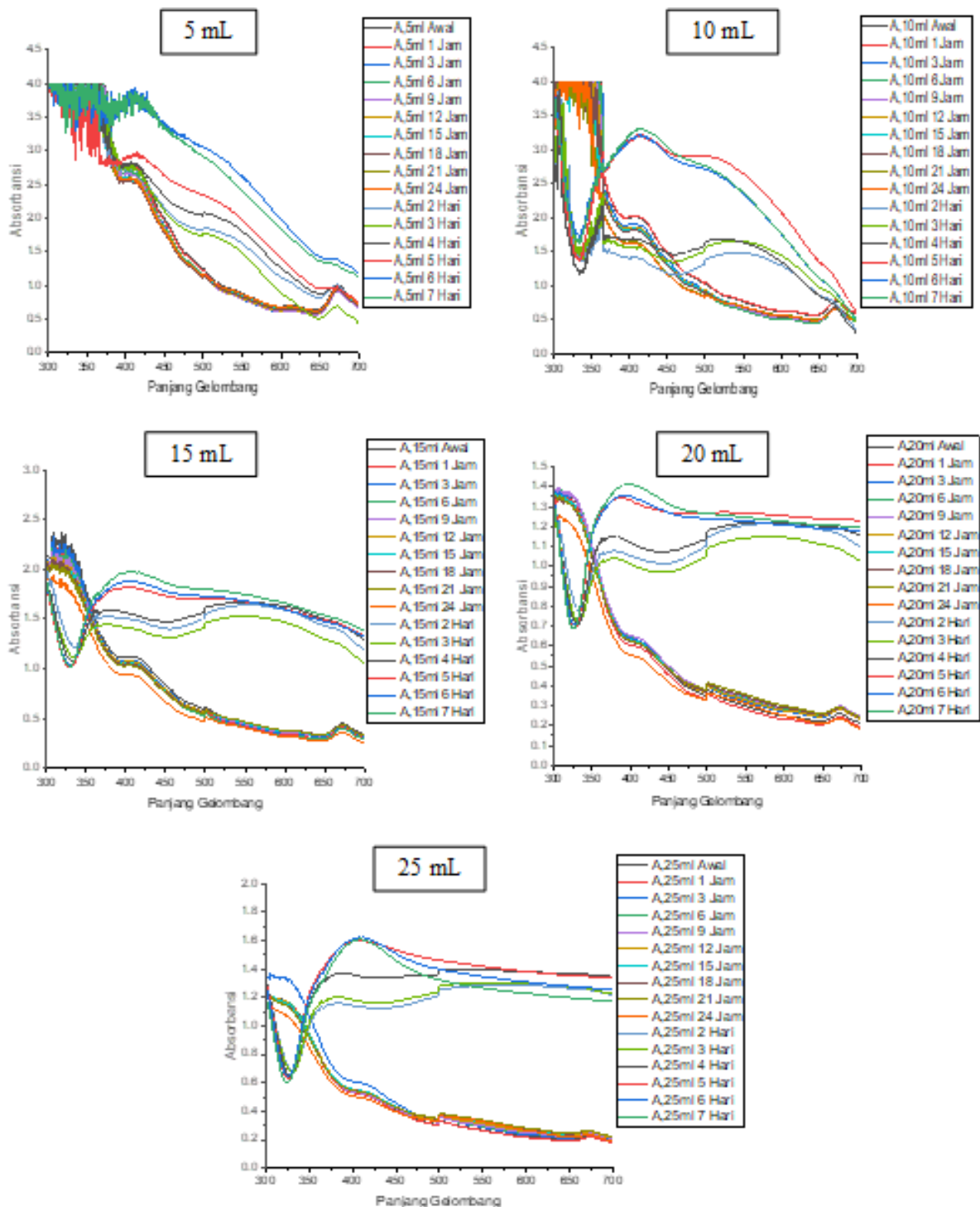
Gambar 1. Profil larutan hasil pemanasan yang mengandung ekstrak daun afrika, variasi  $\text{AgNO}_3$  dan PEG-4000: (A) Penambahan PEG-4000 (5 ppm); (B) Penambahan PEG-4000 (10 ppm) dan (C) Penambahan PEG-4000 (15 ppm).

Gambar 1 menunjukkan bahwa tiap larutan menghasilkan warna yang berbeda. Dapat dilihat pada gambar bahwa larutan A, B dan C memiliki perbedaan warna untuk masing-masing volume larutan  $\text{AgNO}_3$  yaitu dari warna kuning menjadi kocoklatan. Hal ini menandakan bahwa semakin tinggi konsentrasi PEG-4000 maka akan mempengaruhi warna larutan. Perubahan warna yang terjadi mengindikasikan terbentuknya nanopartikel Ag (Prasetyaningtyas dkk., 2020).  $\text{AgNO}_3$  yang dilarutkan dalam air akan terdisosiasi menjadi ion perak  $\text{Ag}^+$  dan ion nitrat  $\text{NO}_3^-$ . Perubahan  $\text{Ag}^+$  menjadi  $\text{Ag}^0$  dapat terjadi melalui proses reduksi ketika  $\text{Ag}^+$  menerima elektron dari pendonor (Prasetyaningtyas dkk. 2020). PEG-4000 bertindak sebagai penstabil dan mengontrol pembentukan nanopartikel sehingga dihasilkan partikel yang berukuran kurang dari 100 nm dan partikel Ag tidak mengalami aglomerasi (Yanti & Astuti, 2018).

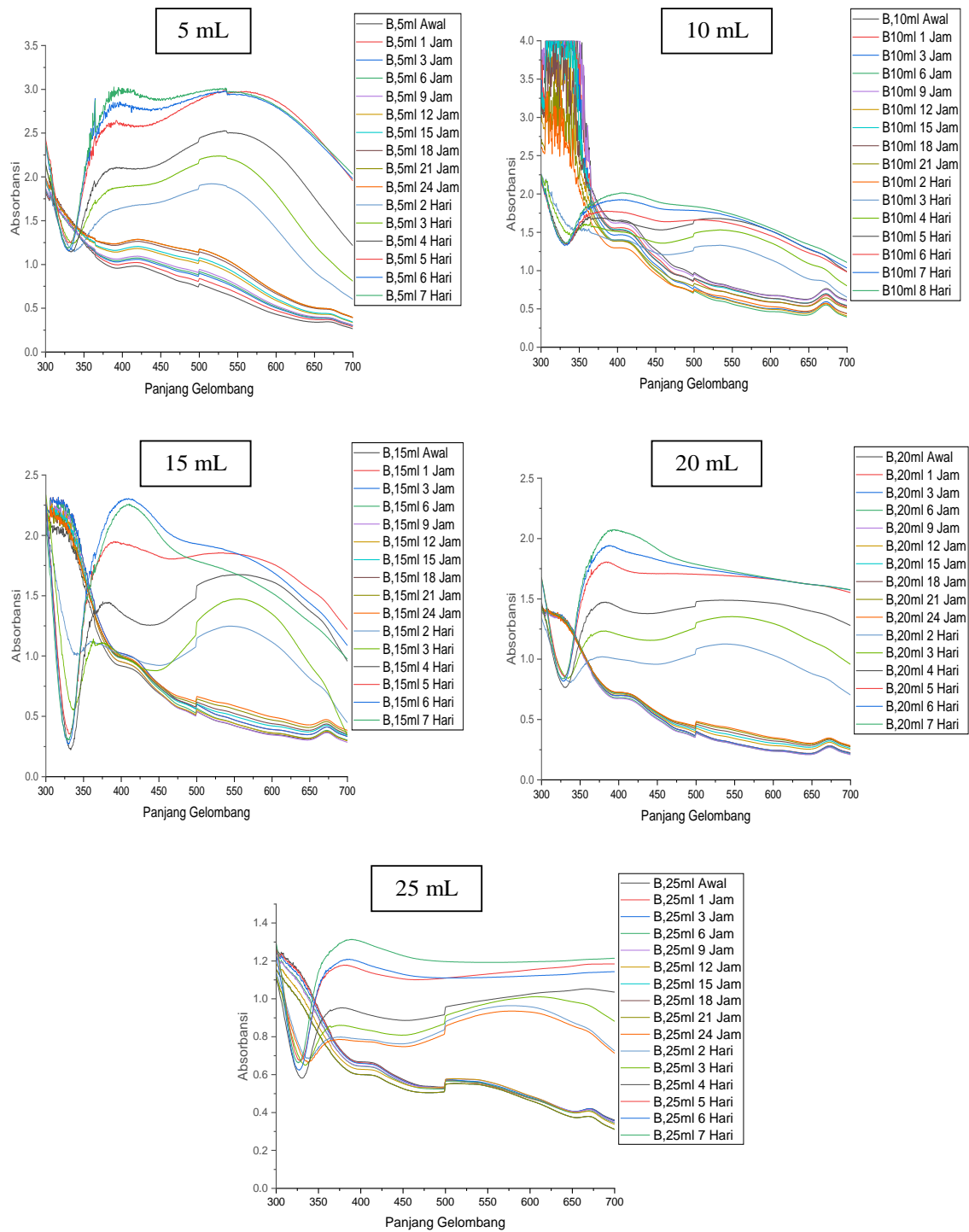
### Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi ekstrak daun afrika yang mengandung nanopartikel Ag termodifikasi PEG-4000 dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui karakteristik dari nanopartikel Ag yang terbentuk berdasarkan pola spektra absorpsi pada selang panjang gelombang 300-700 nm. Spektra absorpsi untuk perlakuan volume larutan  $\text{AgNO}_3$  (5; 10; 15; 20 dan 25 mL) dengan

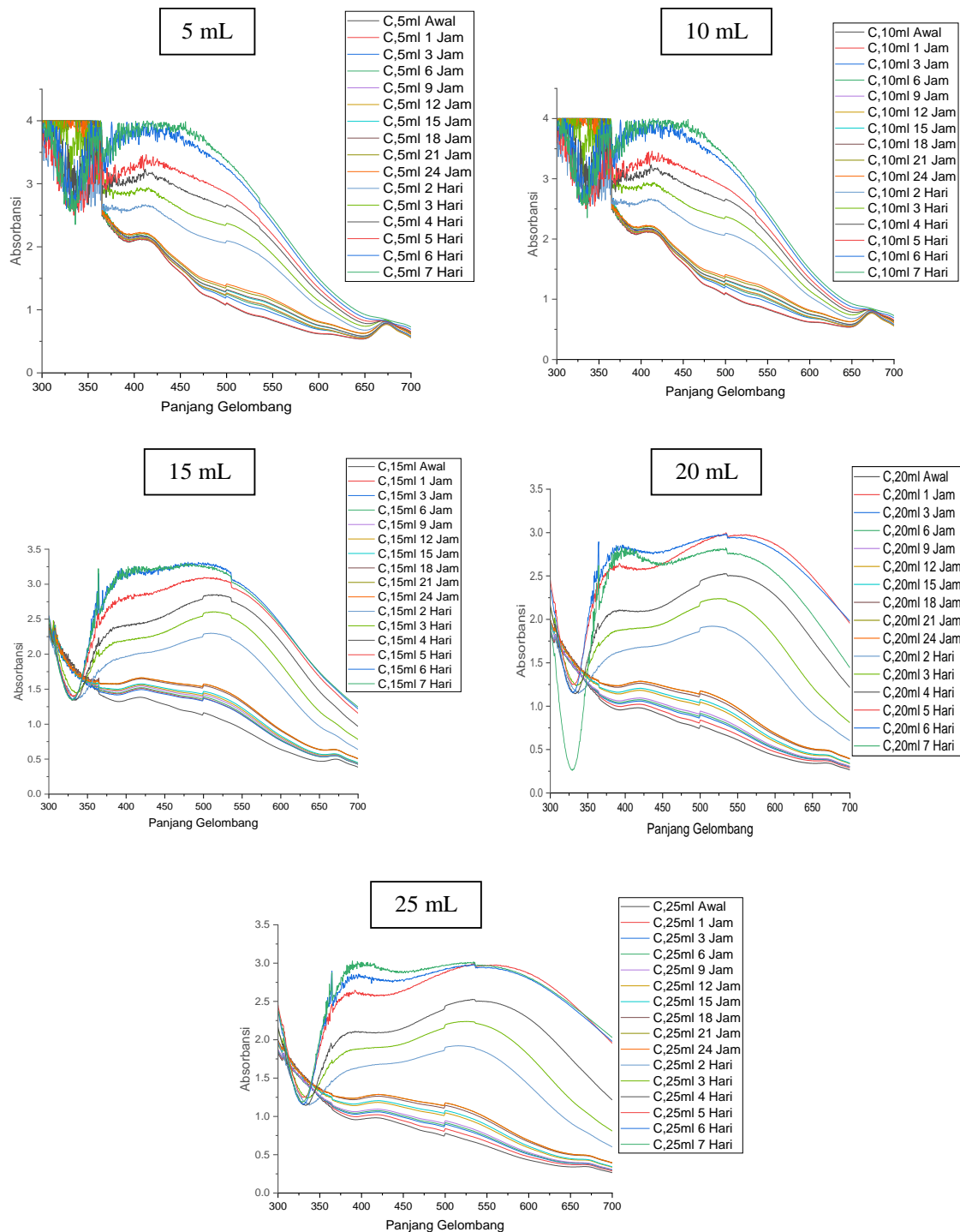
penambahan ekstrak daun afrika serta pada berbagai konsentrasi PEG-4000 (5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm) dan rentang waktu kontak disajikan pada Gambar 2, 3 dan 4.



Gambar 2. Spektrum UV-Vis nanopartikel Ag dengan variasi larutan  $\text{AgNO}_3$ , ekstrak daun afrika dan PEG-4000 (5 ppm)



Gambar 3. Spektrum UV-Vis nanopartikel Ag dengan variasi larutan  $\text{AgNO}_3$ , ekstrak daun afrika dan PEG-4000 (10 ppm)



Gambar 4. Spektrum UV-Vis nanopartikel Ag dengan variasi larutan  $\text{AgNO}_3$ , ekstrak daun afrika dan PEG-4000 (15 ppm)

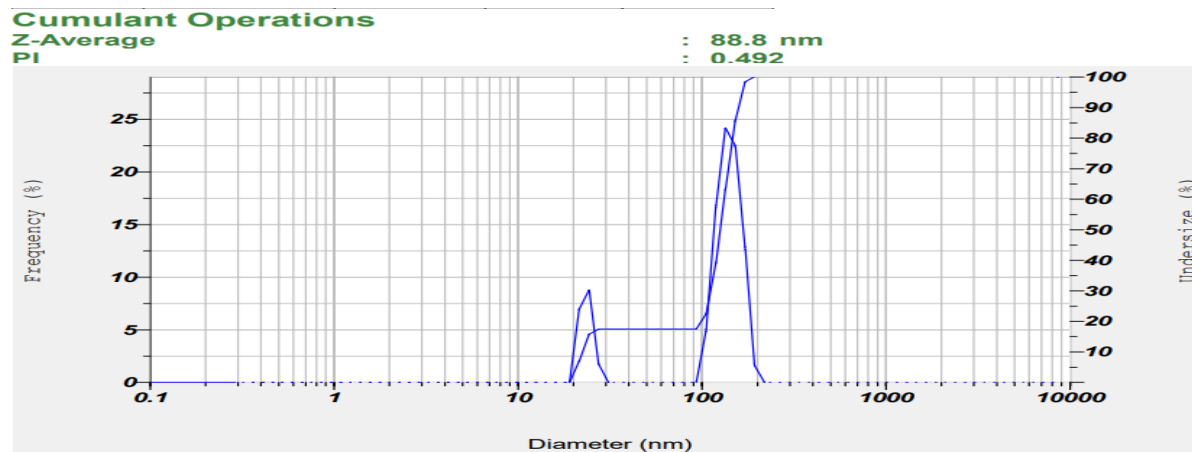
Menurut Solomon dkk. (2007) bahwa puncak absorbansi semakin tinggi dengan jika jumlah ekstrak yang ditambahkan semakin banyak dan waktu kontak semakin lama. Berdasarkan pengamatan grafik pada gambar di atas, untuk sampel yang diamati menggunakan spektrofotometri UV-VIS pada beberapa sampel yang mencapai puncak absorbansi tertinggi melewati 4,0, sedangkan pada daerah panjang gelombang di bawah 400 nm hanya terlihat pada sampel dengan volume larutan  $\text{AgNO}_3$  5-10 mL. Hal ini menunjukkan bahwa sampel dengan kepekatan tertinggi yang menyebabkan puncak

absorbansi mencapai 4.0 (Solomon dkk., 2007). Untuk volume  $\text{AgNO}_3$  15-25 ml, terlihat bahwa absorbansinya tidak mencapai 4.0 namun daerah panjang gelombangnya antara 400-500 nm yang menandakan daerah terbentuknya nanopartikel Ag. Berdasarkan grafik pada gambar sebelumnya menunjukkan semakin lama waktu kontak maka puncak absorbansi yang diamati semakin tinggi (Solomon dkk., 2007).

Terbentuknya nanopartikel Ag ditandai dengan rentang panjang gelombang  $\pm 410$  nm (Aryanta dkk., 2014). Spektra absorpsi yang diperoleh menunjukkan bahwa puncak absorbansi pada kisaran panjang gelombang 400-500 nm teramati dengan jelas pada Gambar 2, 3, dan 4, terutama pada waktu kontak 2-7 hari. Selain itu spektrum UV-Vis menunjukkan adanya daerah pada rentang panjang gelombang 620-675 nm dan terlihat jelas pada waktu kontak awal-24 jam. Panjang gelombang ini menandakan bahwa sampel mengandung klorofil (Arifah dkk., 2019). Berdasarkan data yang diperoleh dari karakterisasi UV-Vis, maka sampel nanopartikel Ag dengan perlakuan 20 mL larutan  $\text{AgNO}_3$ , ekstrak daun afrika, dan PEG-4000 10 ppm diambil untuk mewakili analisis PSA, EDS, dan mendeteksi ion logam Hg terhadap sampel air.

### Karakterisasi menggunakan *particle size analyser* (PSA)

Campuran larutan  $\text{AgNO}_3$  dan PEG-4000 dikarakterisasi dengan *particle size analyzer* (PSA) untuk menentukan ukuran nanopartikel Ag yang disintesis (Gambar 5). Larutan yang digunakan adalah larutan  $\text{AgNO}_3$  20 mL termodifikasi PEG-4000 10 ppm. Untuk sampel berukuran nanometer dan submikron yang cenderung mengalami aglomerasi, teknik karakterisasi ini dianggap lebih akurat dibandingkan dengan metode analisa gambar (mikrografi) pada SEM dan TEM. Pada PSA, partikel didispersikan ke dalam media cair (biasanya pelarut organik yang mudah menguap) sehingga partikel tidak mengalami aglomerasi. Dengan demikian, diharapkan bahwa ukuran dari partikel yang ditentukan adalah ukuran partikel tunggal (Rawle, 2010).



Gambar 5. Analisis ukuran partikel Ag dengan perlakuan larutan PEG-4000 10 ppm.

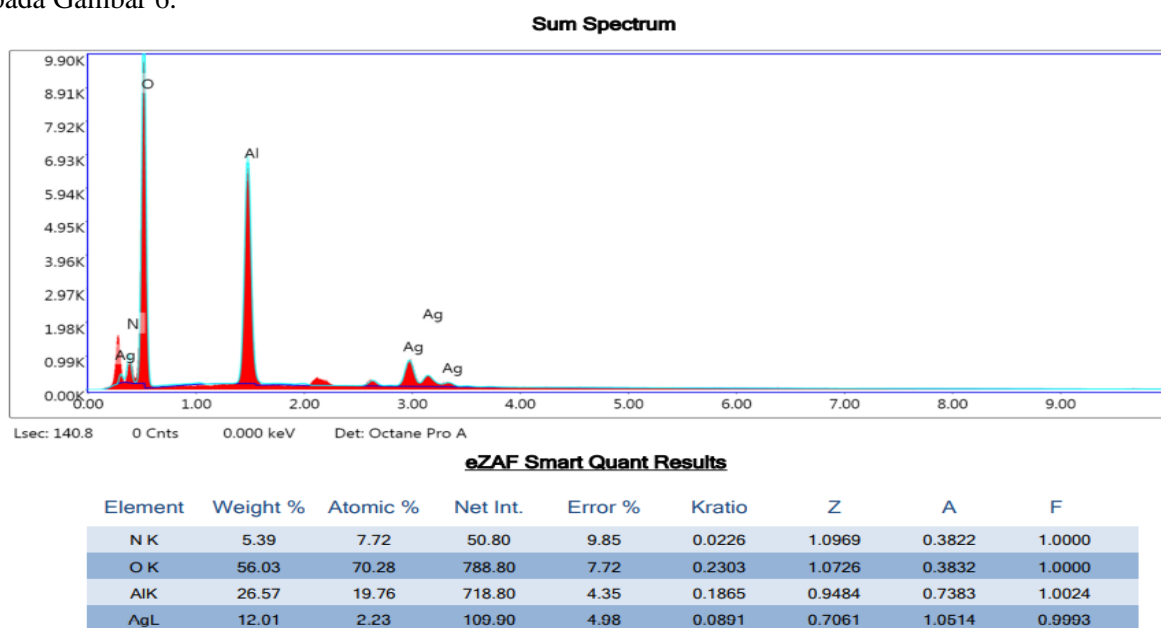
Gambar 5 memperlihatkan bahwa ukuran partikel Ag yang diperoleh dengan perlakuan PEG-4000 10 ppm adalah 88,8 nm. Nilai PI (*Polidispersitas Index*) nanopartikel Ag adalah 0,492 yang berarti bahwa sampel memiliki sifat polidispersi distribusi ukuran yang luas. Nilai PI ada pada kisaran 0 sampai 1 dan nilai PI yang semakin kecil mengindikasikan bahwa distribusi ukuran partikel semakin sempit dan ukurannya semakin homogen (monodispersitas) (Yuan dkk., 2008; Avadi dkk., 2010). Hasil yang diperoleh ini menunjukkan rendahnya efektivitas perlakuan PEG-4000 untuk memperkecil ukuran partikel Ag. Hal ini juga telah dikemukakan dalam penelitian sebelumnya oleh Tuuk (2022) yang memperoleh ukuran sebesar 63,7 nm. Meskipun demikian demikian penggunaan daun afrika sebagai bioreduktor untuk mereduksi nanopartikel Ag dengan termodifikasi PEG-4000 sebagai zat penstabil masih lebih baik penggunaannya dari pereduksi kimia. Berdasarkan pengujian Wahyudi dkk. (2011) ukuran partikel Ag yang terbentuk pada kondisi percobaan yang dilakukan berkisar antara 96,0 – 164,1 nm dengan zat penstabil PAA dan PVP dan pereduksi kimia yang digunakan adalah natrium borohidrida ( $\text{NaBH}_4$ ).



Menurut Haryono dkk. (2008) dan Kumar dkk. (2015), pembentukan nanopartikel Ag diinisiasi oleh interaksi antara ion-ion  $\text{Ag}^+$  dan gugus  $-\text{OH}$  pada senyawa metabolit sekunder. Selanjutnya, terjadi oksidasi yang menghasilkan gugus-gugus aldehid ( $-\text{CHO}$ ) dan karboksilat ( $-\text{COOH}$ ) yang dapat mereduksi ion  $\text{Ag}^+$  menjadi nanopartikel Ag. Gugus  $-\text{COOH}$  juga ikut berkontribusi dalam menstabilkan nanopartikel Ag agar aglomerasi tidak terjadi, seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 5.

### Karakterisasi menggunakan *energy dispersive spectroscopy* (EDS)

Hasil analisis kandungan unsur dalam produk sintesis dengan menggunakan EDS ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kandungan unsur dalam produk sintesis nanopartikel Ag

Data analisis EDS memperlihatkan bahwa terdapat 12,01% unsur Ag dalam produk sintesis yang mengindikasikan bahwa prekursor  $\text{AgNO}_3$  dapat direduksi menjadi partikel-partikel Ag. Unsur lain yang terdeteksi adalah Al (26,56%) meskipun dalam proses sintesis tidak digunakan reaktan yang mengandung Al. Unsur ini diduga berasal dari aluminium foil yang digunakan saat preparasi sampel.

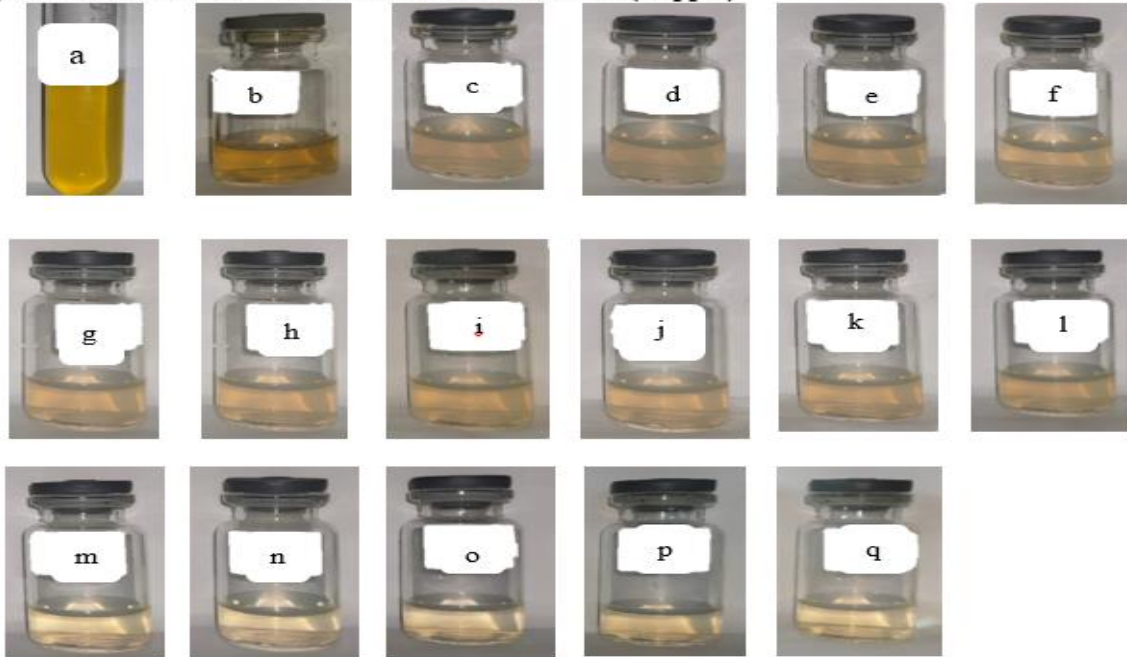
### Deteksi ion $\text{Hg}^{2+}$

Gambar 7 menunjukkan profil larutan untuk mendeteksi keberadaan ion logam  $\text{Hg}^{2+}$ , digunakan nanopartikel Ag yang terdapat pada campuran larutan ekstrak daun afrika (20 mL) dan PEG-4000 10 ppm. Perubahan warna yang menyolok teramati pada awal penambahan analit di mana larutan yang berwarna kuning terang (a) berubah menjadi kuning keruh (b). Setelah dibiarkan selama 1 jam (c) sampai 7 hari (q), larutan berubah warna menjadi hampir bening. Hasil yang mirip ditunjukkan oleh penelitian sebelumnya (Tuuk, 2022) di mana larutan menjadi bening pada waktu kontak 6 jam, sedangkan pada penelitian ini dibutuhkan waktu kontak 3 hari. Ini dimungkinkan karena adanya zat tambahan (PEG-4000) yang ditambahkan dalam penelitian ini. Nanopartikel Ag yang berinteraksi dengan ion-ion  $\text{Hg}^{2+}$  dapat membentuk agregat-agregat yang mengakibatkan terjadinya perubahan warna larutan menjadi bening (Prasetya, 2019). Semakin lama, agregat tersebut menyelimuti permukaan nanopartikel Ag dan menyebabkan larutan menjadi semakin bening dan tidak memiliki puncak absorbansi lagi (Adriansyah, 2017).

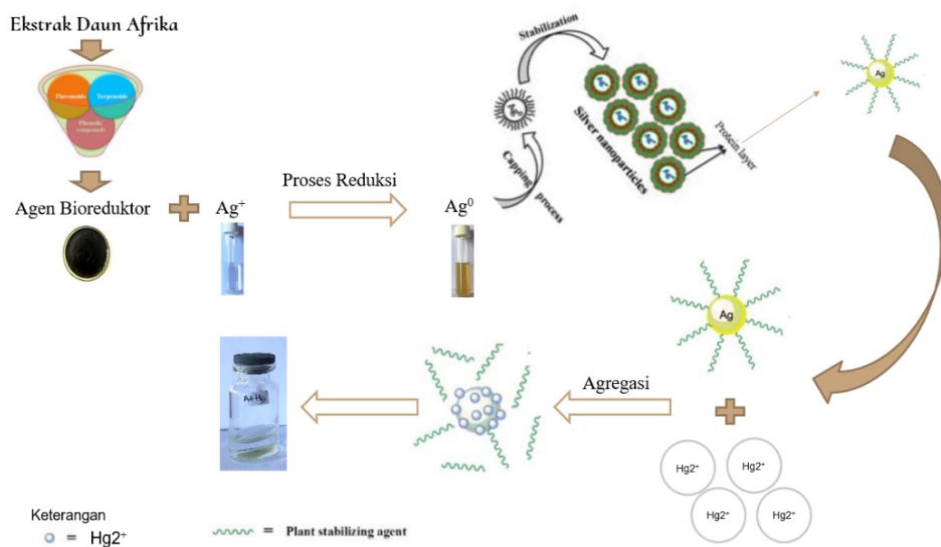
Gambar 8 menunjukkan bahwa diperlukan reduktor (dalam hal ini bioreduktor) yang berasal dari ekstrak daun afrika. Menurut Isaac dkk. (2013) dan Matutu dkk. (2016), ekstrak tumbuhan mengandung metabolit sekunder yang berfungsi sebagai bioreduktor dan sekaligus berfungsi sebagai *capping agent* dan stabilizer. Adanya zat/senyawa *capping agent* dan stabilizer sehingga didapatkan partikel Ag berukuran nano. Selain itu, PEG juga dapat berfungsi sebagai *capping agent* dan stabilizer (Shameli dkk., 2012). Oleh karena itu partikel Ag yang diperoleh berukuran nano.



**Deteksi Kolorimetri Ion Merkuri ( $\text{Hg}^{2+}$ ) dengan Menggunakan Nanopartikel Ag yang terdapat pada larutan Ekstrak Daun Afrika dan PEG-4000 B (10 ppm)**

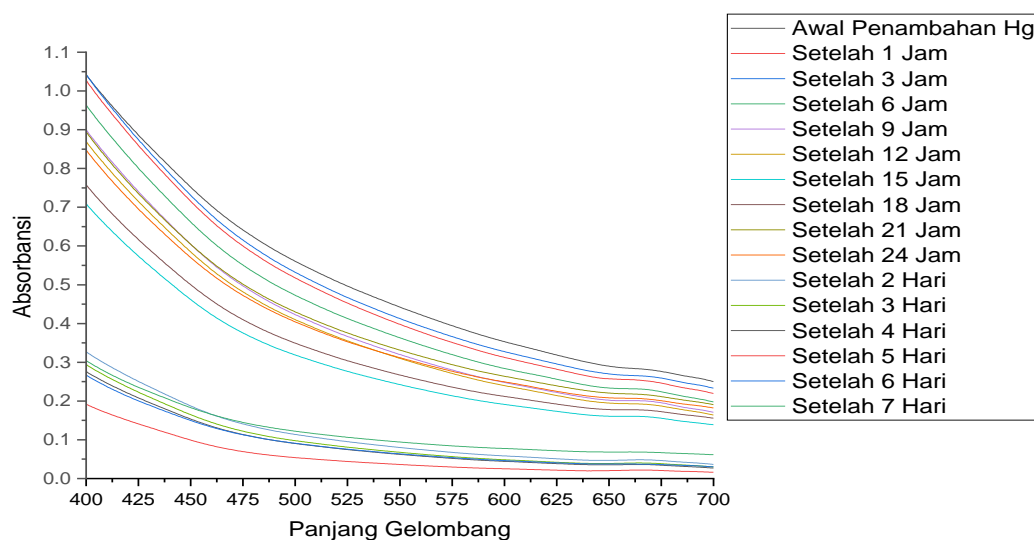


Gambar 7. Perubahan warna dengan adanya penambahan  $\text{HgCl}_2$ . (a) sebelum penambahan analit Hg, (b) awal penambahan analit Hg, (c - k) 1-24 jam setelah penambahan analit Hg dengan rentang waktu tiap 3 jam pengamatan, (l - q) 2-7 hari setelah penambahan analit Hg.



Gambar 8. mekanisme deteksi ion logam (Ajitha dkk., 2015)

Gambar 9 menunjukkan bahwa saat larutan analit dimasukkan ke dalam larutan ekstrak daun afrika yang mengandung nanopartikel Ag, puncak absorbansi sudah tidak terlihat lagi. Setelah larutan ini dibiarkan hingga 7 hari, puncak absorbansi juga sudah tidak terlihat, terutama bila dibandingkan dengan spektrum larutan ekstrak + PEG-4000 (tanpa larutan analit). Hal yang relatif sama juga ditunjukkan oleh peneliti sebelumnya tanpa menggunakan PEG-4000 (Tuuk, 2022). Hasil analisis ini menunjukkan bahwa larutan nanopartikel Ag yang terkandung di dalam ekstrak daun afrika + PEG-4000 dapat mendeteksi keberadaan ion logam  $\text{Hg}^{2+}$  (Sari dkk., 2017).



Gambar 9. Spektrum UV-Vis setelah penambahan analit Hg

## KESIMPULAN

Ekstrak daun afrika dan PEG-4000 dapat dimanfaatkan untuk sintesis nanopartikel Ag yang terdeteksi melalui karakterisasi dengan spektroskopi UV-vis, PSA, dan EDS. Dengan metode kolorimetri dapat ditunjukkan bahwa nanopartikel Ag yang telah disintesis menggunakan ekstrak daun afrika dan PEG-4000 mampu mendeteksi adanya ion merkuri ( $\text{Hg}^{2+}$ ) dalam larutan. Ini ditandai dengan adanya perubahan warna dari kuning menjadi bening dan hilangnya puncak absorbansi pada rentang panjang gelombang 400-500 nm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. & Khairurrijal. 2009. Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. 2(1), 1-9.
- Adriansyah, R., Firdaus, M. L., & Elvinawati, E. 2017. Analisis  $\text{Hg}^{2+}$  dengan menggunakan nanopartikel perak (NPP) sebagai indikator kolorimetri dengan metode spektrofotometri. *ALOTROP*. 1(2), 139-147
- Ajitha, B., Ashok, K. R. Y., & Sreedhara, R. P. 2015. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Lantana camara* leaf extract. *Material Science and Engineering C*. 49, 373-381.
- Arifah, Rizqi, Umi., Sedjati, S., Supriyantini, E., & Ridlo, A. 2019. Kandungan klorofil dan fukosantin serta pertumbuhan *Skeletonema costatum* pada pemberian spektrum cahaya yang berbeda. *Buletin Oseanografi Marina*. 8(1), 25-32.
- Aritonang, H.F., Koleangan H, and Wuntu, A.D. 2019. Synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of medicinal plants' (*Impatiens balsamina* and *Lantana camara*) fresh leaves and analysis of antimicrobial activity. *International Journal of Microbiology*. 2019, 1-8
- Aritonang, H.F., Kamea, O.E., Koleangan, H., & Wuntu, A.D. 2020. Biodegradable synthesis of Ag-ZnO nanoparticles/bacterial cellulose nanocomposites for photocatalysis application. *Polymer-Plastics Technology And Materials*, 59(12), 1292-1299
- Aritonang, H.F., Kojong, T., Koleangan H., & Wuntu, A.D. 2021. Green synthesis of silver nanoparticles using *Lantana camara* fresh leaf extract for qualitative detection of  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and  $\text{Mn}^{2+}$  in aqueous solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 21(4), 990-1002.
- Caro, C.P.M., Castillo., R., Klippstein., D., Pozodan., & Zaderenco, A.P. 2010. *Silver Nanoparticles: Sensing and Imaging Applications, Silver Nanopartikel*, 201-223.
- Febrianti, Petrina., Prabowo, W. C., & Rijai, Laode. 2017. Aktivitas antioksidan dan tabir surya ekstrak daun afrika (*Vernonia amygdalina* Del). *Proceeding of the 5th Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*. 5, 196-204.

- Haryono, A., Sondari D., Harmani, S.B., & Randy, M. 2008. Sintesa Nanopartikel perak dan potensi aplikasinya, *Jurnal Riset Industri*. 2(3), 155-163.
- Isaac, R.S., Sakthivel, G. & Murthy, C. 2013. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(3), 265-275.
- Kumar, B., & Cumbal, L. 2016. Biosynthesis of silver nanoparticles using lanta camara flower extract and its application. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 78(2), 285-292.
- Marliyana, S. D., Kusumaningsih, T., & Kristinawati, H. 2006. Penentuan kadar total fenol dan aktivitas antioksidan ekstrak kulit biji ketapang (*Terminalia cattapa* L.). *Jurnal Alchemy*. 5(1), 39-44.
- Matutu, J.M., Maming, & Taba, P. 2016. Sintesis nanopartikel perak dengan metode reduksi menggunakan buah merah (*Pandanus Conoideus*) sebagai bioreduktor. *Skripsi*. Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Panigrahi, T., 2013, Synthesis and characterization of silver nanoparticles using leaf extract of *Azadirachta Indica*, *Thesis*, Department of Life Science, National Institute of Technology Rourkela, India.
- Philip, D. 2010. Green synthesis of gold and silver nanoparticles using hibiscus rosasinensis. *physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures* 42(5), 1417-1424.
- Prasetia, E., Firdaus, M. L., & Elvinawati, E. 2019. Upaya peningkatan sensitivitas nanopartikel perak untuk analisis ion merkuri (ii) secara citra digital dengan penambahan NaCl, *ALOTROP*. 3(2), 139-147
- Prasetyaningtyas, Tiwi., Prasetya A.T., & Widiarti, Nuni. 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Termodifikasi Kitosan dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Uji Aktivitasnya sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science* 9(1), 37-43.
- Rawle, A. 2010. Basic Principles of Particle Size Analysis – Technical Paper of Malvern Instruments. Worcesstershire. United Kingdom. p. 1012 – 1017.
- Sari, P.I., Firdaus, M.L., & Elvia, R. 2017. Pembuatan nanopartikel perak (NPP) dengan bioreduktor ekstrak buah Muntingia calabura L untuk analisis logam merkuri. *ALOTROP*. 1(1), 20-26.
- Shameli, K., Ahmad, M., Jazayeri, S.D., Sedaghat, S., Shabanzadeh, P., Jahangirian, H., Mahdavi, M., & Abdollahi, Y. 2012. Synthesis and characterization of polyethylene glycol mediated silver nanoparticles by the green method. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(6), 6639-6650.
- Solomon, S.D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A.V., Rutkowsky, S.A., & Boritz, C. 2007. Synthesis and study of silver nanoparticles. *Journal of Chemical Education*, 84(2), 322-325.
- Wahyudi, T. & Rismayani, S. 2011. Aplikasi nanoteknologi pada bidang tekstil. *Arena Tekstil*. 23(2), 52-109.
- Yanti, W.R.O., & Astuti. 2018. Sintesis nanokristal perak menggunakan ekstrak kulit buah manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Jurnal Fisika Unand*. 7(3), 286-291.