

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR  
EKSTRAK DAUN KATUK (*Sauropus Androgynus*)**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
U'UN OKTAVIANA  
NIM. 17630102**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2023**

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR  
EKSTRAK DAUN KATUK (*Sauropus Androgynus*)**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
U'UN OKTAVIANA  
NIM. 17630102**

**Diajukan Kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2023**

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR  
EKSTRAK DAUN KATUK (*Sauropus Androgynus*)**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
U'UN OKTAVIANA  
NIM. 17630102**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Tanggal: 19 Desember 2023**

**Pembimbing I**



**Diana Candra Dewi, M.Si  
NIP. 19770720 200312 2 001**

**Pembimbing II**



**Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P  
NIP. 19750410 200501 2 009**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi**



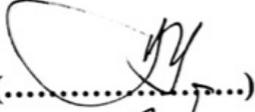
**Rachmawati Ningsih, M.Si  
NIP. 19810811 200801 2 010**

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR  
EKSTRAK DAUN KATUK (Sauropus Androgynus)**

**SKRIPSI**

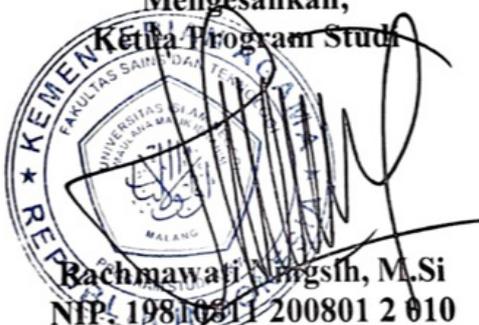
**Oleh:  
U'UN OKTAVIANA  
NIM. 17630102**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 19 Desember 2023**

<b>Penguji Utama</b>	<b>: Himmatul Barroroh, M.Si NIP. 19750730 200312 2 001</b>	(.....  )
<b>Ketua Penguji</b>	<b>: Rif'atul Mahmudah, M.Si NIDT. 19830125 20160801 2 068</b>	(.....  )
<b>Sekretaris Penguji</b>	<b>: Diana Candra Dewi, M.Si NIP. 19770720 200312 2 001</b>	(.....  )
<b>Anggota Penguji</b>	<b>: Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P NIP. 19750410 200501 2 009</b>	(.....  )

**Mengesahkan,**

**Ketua Program Studi**

  
**Bachmawati Ningsih, M.Si  
NIP. 19810511 200801 2 010**

## **SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : U'un Oktaviana  
NIM : 17630102  
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Kimia  
Judul Penelitian : Sintesis Nanopartikel Emas menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk (*Sayropus Androgynus*)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 19 Desember 2023  
Yang membuat Pernyataan,

The image shows a handwritten signature in black ink over a yellow official stamp. The stamp contains the text 'METERAL TEMPEL' and a unique identification number '7029FA/XB32750971'. There is also a small emblem on the stamp.

U'un Oktaviana  
NIM. 17630102

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Alhamdulillahrabbi'alamiin, segala puji bagi Allah SWT dengan segala nikmat-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tanpa kehendak-Nya serta dukungan dari orang-orang di sekitar, saya tidak dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena ini, skripsi ini saya persembahkan kepada:

Diriku sendiri, terimakasih telah berjuang dan bertahan hingga akhir. Terimakasih telah menikmati segala proses yang dialami baik suka maupun duka hingga diperolehnya gelar sarjana sains (S.Si). Terimakasih sudah menjadi yang terbaik.

Kedua orang tua saya Alm. Bapak Dariyanto dan Ibu Kismiati serta adik saya Almaulifatun Afian dan mas Mochammad Ilyas Alfariz, S.H. yang selama ini telah memberikan segala bentuk dukungan mulai dari masa awal perkuliahan hingga saya memperoleh gelar sarjana ini. Terima kasih telah menjadi keluarga yang sempurna bagi saya. Alhamdulillah kini saya bias berada ditahap ini. Terima kasih sudah mengantarkan saya berada ditempat ini, kiranya tulisan ini hanya sebagian kecil hal yang dapat saya persembahkan. Semoga kalian senantiasa diberi kesehatan dan panjang umur, Aamiin.

Bapak dan Ibu Dosen Kimia, khususnya Ibu Diana Candra Dewi, M.Si, Ibu Dr. Akyunul Jannah, S,Si M.P, Ibu Himmatul Barroroh, M.Si dan Ibu Rif'atul Mahmudah, M.Si yang telah memotivasi, memberikan arahan, dan membimbing dengan sabar selama ini. Semoga kebaikan Bapak dan Ibu Dosen mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT, Aamiin.

**MOTTO**

“Semakin Mengeluh,  
Semakin Rumit.”

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah*, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Sintesis Nanopartikel Emas menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk (*Sauropus Androgynus*)**”. Selawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw., keluarga, sahabat, serta umat pengikutnya.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi baik dukungan moral maupun spiritual demi suksesnya penyusunan seminar hasil ini. Oleh karena itu, penulis sampaikan ucapan terimakasih serta doa dan harapan kepada semua pihak yang telah membantu penulisan skripsi ini, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Ibu Diana Candra Dewi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses penyusunan penelitian
5. Ibu Dr. Akyunul Jannah, S.Si M.P selaku Dosen Pembimbing Agama yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses penyusunan penelitian
6. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si. selaku Dosen Wali yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingannya selama kuliah
7. Seluruh Dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu,

pengetahuan, pengalaman, wacana dan wawasannya, sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.

8. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan do'a kepada penulis
9. Teman-teman Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberi informasi dan memberi dukungan kepada penulis
10. Seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan dan bimbingan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna baik dari segi penyusunan, bahasa, maupun penulisannya. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi acuan untuk penulisan yang lebih baik lagi. Dengan penuh rasa syukur, semoga naskah skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca. *Aamiin.*

Malang, 19 Desember 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
MOTTO .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
ABSTRAK .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
ملخص البحث.....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	8
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Masalah.....	9
1.5 Manfaat Penelitian.....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>10</b>
2.1 Nanopartikel Emas (AuNPs) .....	10
2.1.1 Logam Emas (Au).....	10
2.1.2 Sifat Nanopartikel Emas (AuNPs).....	11
2.1.3 Pemanfaatan Nanopartikel Emas (AuNPs).....	12
2.2 Daun Katuk.....	14
2.2.1 Morfologi dan Identifikasi Daun Katuk.....	14
2.2.2 Identifikasi Senyawa Aktif Daun Kelor dengan Uji Fitokimia .....	18
2.3 Sintesis Nanopartikel Emas .....	20
2.3.1 Green Synthesis Nanopartikel Emas.....	21
2.3.2 Karakterisasi Nanopartikel Emas.....	25
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>29</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	29
3.2.1 Alat-alat Penelitian .....	29
3.2.2 Bahan-bahan Penelitian .....	29
3.3 Rancangan Penelitian .....	30

3.4 Tahap Penelitian .....	31
3.5 Pelaksanaan Penelitian .....	32
3.5.1 Preparasi Sampel Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk.....	32
3.5.2 Identifikasi Senyawa Aktif Daun Katuk .....	32
3.5.3 Pembuatan dan Penentuan $\lambda_{\text{maks}}$ Larutan H <sub>2</sub> AuCl <sub>4</sub> 0,5 mM.....	34
3.5.4 Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas .....	34
3.5.5 Karakterisasi Nanopartikel Emas (AuNPs) .....	35
3.5.5 Analisis Data.....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Pembuatan dan Penentuan $\lambda_{\text{max}}$ Larutan H <sub>2</sub> AuCl <sub>4</sub> 0,5 mM .....	37
4.2 Identifikasi Senyawa Aktif Daun Katuk dengan Fitokimia .....	38
4.2.1 Flavonoid .....	38
4.2.2 Alkaloid .....	39
4.2.3 Terpenoid .....	41
4.2.4 Tanin .....	42
4.3 Sintesis Nanopartikel Emas menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk dengan Bantuan Pemanasan <i>Hot Plate</i> .....	43
4.4 Sintesis AuNPs dengan Variasi Penambahan Volume Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk terhadap Karakteristik AuNPs .....	46
4.5 Sintesis AuNPs dengan Variasi Waktu Pemanasan terhadap Karakteristik AuNPs.....	51
4.6 Kestabilan Nanopartikel Emas .....	59
4.7 Pemanfaatan Tumbuhan dalam Prespektif Islam .....	63
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>66</b>
5.1 Kesimpulan .....	66
5.2 Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>74</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Sifat fisik dan kimia logam emas .....	10
<b>Tabel 2.2</b> Perkiraan panjang gelombang warna di wilayah cahaya tampak .....	26
<b>Tabel 3.1</b> Perbandingan volume bioreduktor dan waktu pemanasan .....	30
<b>Tabel 3.2</b> Variasi volume bioreduktor pada sintesis nanopartikel emas .....	35
<b>Tabel 4.1</b> Hasil sintesis nanopartikel emas yang diperoleh dari penambahan variasi volume bioreduktor ekstrak daun Katuk .....	47
<b>Tabel 4.2</b> Hasil uji One Way Anova pengaruh variasi volume bioreduktor terhadap pembentukan nanopartikel emas .....	50
<b>Tabel 4.3</b> Hasil uji Tukey HSD pengaruh variasi volume bioreduktor terhadap pembentukan nanopartikel emas .....	51
<b>Tabel 4.4</b> Absorbansi yang diperoleh dari variasi waktu pemanasan sintesis nanopartikel emas. ....	53
<b>Tabel 4.5</b> Hasil uji One Way Anova pengaruh waktu pemanasan terhadap pembentukan nanopartikel emas .....	57
<b>Tabel 4.6</b> Hasil uji Tukey HSD pengaruh variasi pemanasan terhadap pembentukan nanopartikel emas .....	58
<b>Tabel 4.7</b> Absorbansi yang diperoleh pengamatan waktu kestabilan nanopartikel emas. ....	60
<b>Tabel 4.8</b> Hasil uji <i>One Way</i> Anova kestabilan nanopartikel emas .....	61
<b>Tabel 4.9</b> Hasil uji Tukey HSD waktu kontak nanopartikel emas .....	62

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Bentuk-bentuk nanopartikel emas (AuNPs) .....	12
<b>Gambar 2.2</b> Aplikasi nanopartikel emas (AuNPs) berdasarkan sifat fisik dan kimia .....	13
<b>Gambar 2.3</b> (a) Perubahan warna dengan meningkatnya konsentrasi $Hg^{2+}$ , dan (b) absorbansi yang sesuai .....	14
<b>Gambar 2.4</b> Daun Katuk ( <i>Sauropus androgynous</i> L. Merr) .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Mekanisme sintesis nanopartikel ( $M^{+}$ ion logam) .....	22
<b>Gambar 2.6</b> Spektrum UV-Vis larutan sampel ekstrak katuk terhadap interval waktu.....	27
<b>Gambar 2.7</b> (a) Perubahan warna pada larutan sampel ekstrak katuk dengan perbedaan lama pemanasan, (b) spektrum UV-Vis terhadap waktu pembentukan AuNPs. ....	28
<b>Gambar 4.1</b> Hasil uji flavonoid .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Hasil uji alkaloid dengan reagen Dragendroff.....	40
<b>Gambar 4.3</b> Hasil uji alkaloid dengan reagen Meyer .....	40
<b>Gambar 4.4</b> Hasil uji alkaloid dengan reagen Meyer .....	41
<b>Gambar 4.5</b> Hasil uji tanin.....	42
<b>Gambar 4.6</b> Tahap pembentukan nanopartikel emas.....	43
<b>Gambar 4.7</b> Skema reduksi, pertumbuhan dan pembentukan nanopartikel emas	44
<b>Gambar 4.8</b> (a) Sintesis AuNPs dengan variasi volume bioreduktor .....	45
<b>Gambar 4.9</b> Grafik hubungan variasi volume bioreduktor dengan absorbansi ...	49
<b>Gambar 4.10</b> Grafik hubungan variasi waktu pemanasan dengan absorbansi ....	56
<b>Gambar 4.11</b> Grafik hubungan waktu kontak (kestabilan) dengan absorbansi ...	61

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Diagram Alir .....	74
<b>Lampiran 2.</b> Perhitungan .....	78
<b>Lampiran 3.</b> Hasil <i>SPSS ONE WAY ANOVA</i> .....	79
<b>Lampiran 4.</b> Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis.....	92

## ABSTRAK

Oktavina, U. 2023. **Sintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk (*Sauropus androgynus*)**. Pembimbing I: Diana Candra Dewi, M.Si  
Pembimbing II: Dr. Akyunul Jannah, M.Si

---

Kata kunci: AuNPs, *Sauropus androgynus*, *hot plate*, spektrofotometer UV-Vis.

Nanopartikel emas (AuNPs) mendapatkan banyak perhatian karena memiliki kemampuan berinteraksi dengan cahaya melalui resonansi plasma permukaan (SPR). Oleh karena itu, AuNPs telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi di bidang kimia, fototerapi, radioterapi, *targeting*, nano-enzim, *imaging*, dan *drug delivery*. Salah satu cara pembuatan AuNPs dapat dilakukan dengan metode *green synthesis* dengan bantuan bioreduktor. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui volume penambahan bioreduktor dan waktu sintesis optimum dalam pembentukan AuNPs dan pengaruhnya terhadap kestabilan AuNPs yang dihasilkan.

Penelitian menggunakan metode *green synthesis* dalam mensintesis AuNPs menggunakan ekstrak daun Katuk sebagai bioreduktor dengan bantuan pemanasan *hot plate*. Sebelum melakukan sintesis AuNPs dilakukan uji fitokimia pada ekstrak Daun Katuk untuk mengetahui senyawa aktif yang terdapat pada ekstrak daun Katuk. AuNPs disintesis dengan larutan H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> menggunakan bantuan pemanasan *hot plate* dengan variasi volume bioreduktor ekstrak daun Katuk 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; dan 1,2 mL serta waktu pemanasan 15; 25; 35; 45; 55; 65 dan 75 menit. Penambahan volume bioreduktor dan waktu pemanasan yang optimum dilanjutkan ke uji waktu kestabilan dari AuNPs dengan dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui absorbansi optimum dari masing-masing sampel.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan volume bioreduktor optimum pada penambahan 0,6 mL. Hasil optimum pengujian waktu pemanasan diperoleh pada variasi ke 45 menit. Hasil karakterisasi AuNPs dengan UV-Vis diperoleh absorbansi sebesar 1,858 pada panjang gelombang 550 nm warna larutan yang dihasilkan berwarna merah anggur. Hasil dari uji fitokimia yang telah dilakukan menunjukkan bahwa ekstrak daun Katuk mengandung senyawa aktif berupa flavonoid, alkaloid, terpenoid dan tannin diduga mampu mereduksi Au<sup>3+</sup> menjadi Au<sup>0</sup>. Semakin besar penambahan volume bioreduktor maka panjang gelombang yang diperoleh semakin kecil, artinya ukuran nanopartikel yang didapatkan semakin kecil. Waktu kestabilan nanopartikel diperoleh saat hari ke 0-7 hari.

## ABSTRACT

Oktavina, U. 2023. **Synthesis of Gold Nanoparticles Using Katuk (*Sauropus androgynus*) Leaf Extract Bioreductors**. Supervisor I: Diana Candra Dewi, M.Si Supervisor II: Dr. Akyunul Jannah, M. Si

---

Keywords: AuNPs, *Sauropus androgynus*, hot plate, UV-Vis spectrophotometer, TEM

Gold nanoparticles (AuNPs) are getting a lot of attention because of their ability to interact with light through surface plasma resonance (SPR). Therefore, AuNPs have been widely used in various applications in the fields of chemistry, phototherapy, radiotherapy, targeting, nano-enzymes, imaging, and drug delivery. The synthesis of AuNPs can be done by reducing the metal ion  $Au_{3+}$  to  $Au^0$ . Various chemical and physical methods are still not efficient enough to be used in the synthesis of AuNPs because they have several weaknesses. Therefore, the green synthesis method is used which is more environmentally friendly and efficient. Green synthesis is a plant-based method as a bioreductant which has functions as a reducing and stabilizing agent in the formation of AuNPs.

The research used the green synthesis method to synthesize AuNPs using Katuk leaf extract as a bioreductant with the help of hot plate heating. Before carrying out the synthesis of AuNPs, a phytochemical test was carried out on Katuk Leaf extract to determine the active compounds contained in Katuk leaf extract. AuNPs were synthesized with  $HAuCl_4$  solution using hot plate heating with varying volumes of Katuk leaf extract bioreductant 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; and 1,2 mL and heating time 15; 25; 35; 45; 55; 65 and 75 minutes. The addition of the bioreductant volume and the optimum heating time was followed by testing the stability time of the AuNPs by characterization using a UV-Vis spectrophotometer to determine the optimum absorbance of each sample.

The research results showed that the optimum volume of bioreductant was added at an addition of 0,6 mL. The optimum results of the heating time test were obtained at a variation of 45 minutes. The results of AuNPs characterization using UV-Vis obtained an absorbance of 1,858 at a wavelength of 550 nm. The color of the resulting solution was wine red. The results of the phytochemical tests that have been carried out show that Katuk leaf extract contains active compounds in the form of flavonoids, alkaloids, terpenoids and tannins which are thought to be able to reduce  $Au^{3+}$  to  $Au^0$ . The greater the volume of bioreductant added, the smaller the wavelength obtained, meaning the size of the nanoparticles obtained is smaller. The stability time of the nanoparticles was obtained at 0-7 days.

## ملخص البحث

أوكتافينا، أو. ٢٠٢٣. تخليق جسيمات الذهب النانوية باستخدام عامل الاختزال الحيوي مستخلص أوراق الكاتوك (سوروبوس أندروجينوس). بحث جامعي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: ديانا جندرا ديوي، الماجستير؛ المشرفة الثانية: الدكتورة أعين الجنة، الماجستير

الكلمات الرئيسية: AuNPs، سوروبوس أندروجينوس، لوحة ساخنة، مقياس الطيف الضوئي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية.

تُحطَى جُسيمات الذهب النانوية (AuNPs) بالكثير من الاهتمام لأن لديها القدرة على التفاعل مع الضوء من خلال رنين البلازما السطحي (SPR). لذلك، تم استخدام AuNPs على نطاق واسع في تطبيقات مختلفة في مجالات الكيمياء والعلاج بالضوء والعلاج الإشعاعي والاستهداف وإنزيمات النانو والتصوير وتوصيل الأدوية. يمكن إجراء تخليق AuNPs عن طريق تقليل أيونات المعادن  $Au^3+$  إلى  $Au^0$  لا تزال الطرق الكيميائية والفيزيائية المختلفة غير فعالة بما يكفي لاستخدامها في تخليق AuNPs لأن لها العديد من العيوب. لذلك، يتم استخدام طريقة تخليق خضراء أكثر ملاءمة للبيئة وكفاءة. التوليف الأخضر هو طريقة نباتية كعامل اختزال حيوي يعمل كعامل اختزال ومثبت في تكوين AuNPs.

استخدمت الدراسة طريقة التخليق الأخضر في تخليق AuNPs باستخدام مستخلص أوراق الكاتوك بمساعدة تسخين الألواح الساخنة. تم تصنيع مستخلص أوراق الكاتوك بمحلول  $HAuCl_4$  بمساعدة تسخين الألواح الساخنة مع اختلاف في حجم قوة الاختزال الحيوي لمستخلص أوراق الكاتوك بمقدار 0.5 ; 0.6 ; 0.7 ; 0.9 ; و 1.2 مل ووقت التسخين 15 ; 25 ; 35 ; 45 ; 55 ; 65 و 75 دقيقة. تستمر الاختلافات في حجم الاختزال الأحيائي ووقت التسخين الأمثل لاختبار وقت الاستقرار ل AuNPs عن طريق التوصيف باستخدام مقياس الطيف الضوئي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية لتحديد الامتصاص الأمثل لكل عينة.

أظهرت النتائج أن الحجم الأمثل لعامل الاختزال الحيوي كان 0.6 مل في وقت التسخين الأمثل البالغ 45 دقيقة مع محلول بوجوندي الناتج. الامتصاص الناتج هو 1.858 بطول موجي 550 نانومتر. تظهر نتائج الاختبارات الكيميائية النباتية التي أجريت أن مستخلص أوراق الكاتوك يحتوي على مركبات مضادة للأكسدة في شكل مركبات الفلافونويد والقلويات والتيربينويدات والعفص القادرة على تقليل  $Au^3+$  إلى  $Au^0$ . تم تكتل جسيمات الذهب النانوية المركبة التي تم اختبارها حتى اليوم 21.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Allah SWT meminta agar umat manusia mengamati dan menarik suatu pelajaran menggunakan akal pikiran terhadap apa yang terjadi di alam semesta (Wardhana, 2005), seperti yang dijelaskan dalam QS. Al-Baqarah: 164.

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَع النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

Artinya: “*Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupakan bumi sesudah mati (kering)nya, dan Dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran anging dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, sungguh terdapat tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan.*” (QS. Al-Baqarah: 164).

Ayat kauniyah di atas menjelaskan bahwa akal pikiran merupakan kunci untuk memperoleh pengetahuan berdasarkan petunjuk-petunjuk yang Allah SWT berikan melalui kalam-Nya sebagai sumber ilmu pengetahuan, ide, dan landasan bagi manusia dalam menatap masa depan. Al-Quran menganjurkan manusia untuk menggunakan akal pikirannya untuk memanfaatkan sumber daya alam untuk kepentingan kehidupan yang lebih *comfortable*. Akal menuntut manusia untuk bersikap kritis, argumentatif, kreatif, inovatif, modernis, sistematis, dan ilmiah dalam memberikan manfaat kepada sesama manusia dan merupakan salah satu tolak ukur keimanan seseorang. (Az-Zuhaili, 1996). Oleh karena itu, hendaknya

manusia menggunakan akalnya untuk membuat teknologi baru atau mengembangkan ilmu pengetahuan. Salah satunya adalah di bidang nanoteknologi.

Nanosains dan nanoteknologi merupakan kajian ilmu dan rekayasa material dalam skala nanometer yang sedang dikembangkan oleh para ilmuwan di seluruh dunia. Nanoteknologi adalah manipulasi materi pada skala nano (1-100 nm) dan merupakan inovasi yang cukup menarik di berbagai bidang seperti teknik, ilmu material, kimia, fisika, biologi, dan kedokteran (Amiruddin dan Taufikurrohman, 2013; Auffan, dkk., 2009). Salah satu bagian nanoteknologi yang banyak dimanfaatkan dalam bidang teknologi maupun biologi adalah nanopartikel, karena memiliki sifat fisika, kimia, dan biologi yang menguntungkan (Thakor, dkk., 2011). Nanopartikel termasuk dalam nanoteknologi yang populer dan pesat perkembangannya sejak awal tahun 2000. Hal ini disebabkan oleh manfaat dan aplikasi nanopartikel yang luas bagi kehidupan manusia seperti dalam bidang industri, terutama di bidang biomedis, energi, farmasi, pangan, pertanian, dan lingkungan (Tsuzuki, 2009; Ciambelli, dkk., 2019). Oleh karena itu, hingga saat ini banyak dilakukan penelitian dalam memanfaatkan nanopartikel untuk mendapatkan penemuan baru atau pengembangan dalam pengaplikasiannya untuk berbagai bidang.

Nanopartikel memiliki rasio luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dalam bentuk besarnya (*bulk*), sehingga material dalam orde nanometer mempunyai jarak antar atom yang sangat kecil sehingga memudahkan terjadinya reaksi antar atom. Secara bentuk material berukuran nanometer memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material berukuran besar, karena semakin kecil ukuran suatu material maka luas permukaannya akan semakin besar sehingga

material dalam orde nanometer mempunyai jarak antar atom yang sangat kecil yang akan memudahkan terjadinya reaksi antar atom. Secara bentuk material berukuran nanometer memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material berukuran besar, karena semakin kecil ukuran suatu material maka luas permukaannya akan semakin besar sehingga material dalam orde nanometer mempunyai jarak antar atom yang sangat kecil yang akan memudahkan terjadinya reaksi antar atom. Oleh karena itu nanopartikel memberikan sifat yang unik, seperti sifat optik spesifik, magnetik, antarmuka, listrik, maupun kimia (Weiss, dkk., 2009; Astuti, 2007). Sampai saat ini, sejumlah besar nanopartikel telah disintesis, terutama yang terbuat dari logam mulia seperti emas. Nanopartikel emas (AuNPs) memiliki spektrum aplikasi yang luas, seperti obat-obatan, industri makanan, pemurnian air (Jayaseelan, dkk, 2013), *drug-delivery* (Kong, dkk., 2017), deteksi DNA (Kumar, dkk., 2011), terapi foto-termal, *imaging*, sensor, katalisis, antikanker dan juga antimikroba (Basavegowdam 2014; Balalakshmi, dkk., 2017). AuNPs memiliki aplikasi yang luas karena nanopartikel ini memiliki koefisien ekstinsi yang sangat tinggi dan sifat optis yang bergantung pada ukuran dan bentuk partikel, konstanta dielektrik, medium, komposisi, jarak antar partikel, tahan terhadap oksidasi, korosi, dan tidak memberikan efek toksisitas dalam tubuh karena cenderung tereduksi dalam jangka waktu yang lama (Moore dan Goettmann, 2006; Fatimah dan Hidajati, 2012).

Secara umum terdapat dua pendekatan teknik sintesis nanopartikel, yaitu “*top to bottom*” atau “*bottom to top*”. Dalam pendekatan “*top to bottom*”, nanopartikel dapat disintesis menggunakan metode kimia (reduksi kimia) dan biologis (penggunaan tanaman, mikroorganisme, dan lainnya). Sedangkan, “*bottom*

*to top*” yaitu dengan metode fisika, seperti penggerusan, pemanasan, dan ablasi termal/laser. Berbagai metode kimia dan fisika masih belum cukup efisien untuk digunakan karena memiliki beberapa kelemahan di antaranya membutuhkan temperatur tinggi dan peralatan khusus, prosesnya lama, menghasilkan produk samping, dan harga bahan kimia yang cukup tinggi (Konrad, dkk., 2001; Tschopp, dkk., 2014; Carter, dkk., 2007). Oleh karena itu, para ahli telah mengembangkan suatu metode yang lebih ramah lingkungan dan efisien yang dinamakan *green nanotechnology* berbasis tumbuhan sebagai bioreduktor untuk sintesis AuNPs (Singh, dkk., 2012). Pada umumnya, prosedur *green nanotechnology* (*green synthesis*) dilakukan dengan melarutkan ekstrak tumbuhan ke dalam larutan asam tetrakloroaurat ( $\text{HAuCl}_4$ ). Pada langkah awal, terjadi reduksi fitokimia  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$  dan dilanjutkan dengan aglomerisasi dan stabilisasi menghasilkan pembentukan AuNPs koloid (Huang, dkk., 2017; Sheny, dkk., 2011). AuNPs dikategorikan sebagai nanopartikel anorganik berwarna merah tua sampai hitam dalam larutan campuran, namun warnanya dapat menunjukkan warna lebih terang yang tergantung pada faktor kondisi kebutuhan penelitian (Amir, dkk., 2021).

Teknik *green synthesis*, tumbuhan digunakan sebagai agen pereduksi dengan beberapa keuntungan, di antaranya ramah lingkungan, lebih ekonomis, tidak memerlukan tekanan, energi, dan temperatur yang tinggi, serta tidak menggunakan bahan kimia yang beracun (Ahmed, dkk., 2016), memperoleh hasil yang lebih besar, tidak menghasilkan produk samping berbahaya, efektif, sederhana, dan stabil untuk jangka waktu yang lama (Kaykhai, dkk., 2018). Keunggulan dari metode ini ialah menekankan pada efisiensi ketersediaan bahan yang lebih banyak dengan prosedur yang lebih ramah lingkungan (Palaniselvam,

dkk., 2014). Lembang, dkk (2014) telah berhasil menyintesis AuNPs dengan metode reduksi menggunakan bioreduktor ekstrak daun ketapang dengan variasi konsentrasi poli asam akrilat (PAA) dan variasi waktu. Berbagai tumbuhan lainnya yang telah digunakan sebagai agen bioreduktor untuk sintesis AuNPs, seperti *Amaranthus spinosus* (Das, dkk., 2012), *Ziziphus ziziphus* (Aljabali, dkk., 2018), *Mimosa tenuiflora* (Leon, dkk., 2019), *Salvia officinalis*, *Lippia citriodora*, *Pelargonium graveolens* (Elia, dkk., 2014).

Penelitian ini akan berfokus pada sintesis AuNPs dengan metode bioreduksi menggunakan ekstrak daun katuk (*Sauropus androgynus*) yang sebelumnya belum pernah digunakan sebagai bioreduktor untuk sintesis AuNPs. Namun, kemampuan daun katuk sebagai bioreduktor pada sintesis logam mulia telah dibuktikan dalam penelitian Abhimannue dan Menon (2021) yang telah berhasil menyintesis nanopartikel perak (AgNPs) menggunakan ekstrak daun katuk (*Sauropus Androgynus*) sebagai agen bioreduktor. Daun Katuk mengandung senyawa antioksidan, seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, dan tanin yang bertindak sebagai agen pereduksi, pendonor hidrogen, dan kelator logam. Prinsip kerja dalam tanaman yang digunakan untuk mereduksi nanopartikel emas yaitu dengan kemampuan senyawa bioaktif pada tanaman mampu mereduksi  $Au^{3+}$  menjadi  $Au^0$ . Daun Katuk mengandung senyawa antioksidan, seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid dan tannin yang bertindak sebagai agen pereduksi, pendonor hydrogen, dan kelator logam. Berdasarkan penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa kemungkinan besar Daun Katuk memiliki kemampuan untuk mereduksi nanopartikel emas. Daun Katuk sebagai bioreduktor mengalami reaksi oksidasi karena mengandung elektron dimana elektron tersebut akan diberikan pada

oksidator yang berupa Au. Au<sup>3+</sup> menjadi Au<sup>0</sup> karena adanya perpindahan electron dari Katuk. Sedangkan Yulizar, dkk (2017) mensintesis nanopartikel emas menggunakan ekstrak tumbuhan seperti daun *Polyscias scutellaria* di bawah radiasi UV selama 2 jam, sehingga terjadi eksitasi elektron dalam senyawa aktif untuk mereduksi Au<sup>3+</sup> menjadi Au<sup>0</sup> dan terjadi perubahan warna dari kuning menjadi merah muda pada 510-580 nm. Berdasarkan penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa ekstrak daun *Polyscias scutellaria* memiliki kemampuan untuk mereduksi nanopartikel emas.

Beberapa faktor dapat memengaruhi karakter nanopartikel yang diperoleh pada proses sintesis dengan menggunakan tumbuhan. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah kandungan bioreduktor yang dimiliki, media tempat reaksi berlangsung, dan kondisi reaksi (misalnya: pelarut, stabilizer, suhu) (Keat, dkk., 2015). Adapun kelebihan menggunakan bioreduktor bahan alam yaitu keberadaannya yang berlimpah, tidak bersifat toksik, serta memberikan kontribusi pada pengurangan bahan reduktor anorganik, akan tetapi penggunaan bioreduktor dari bahan alam memiliki kekurangan waktu simpan yang pendek. Sovawi, dkk (2016) berhasil menyintesis AuNPs menggunakan bioreduktor ekstrak buah jambu biji merah (*Psidium guajava L.*) dan bantuan iradiasi *microwave* dengan variasi volume bioreduktor (0,25; 0,50; 0,75; 1,25; 1,50) mL. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak volume bioreduktor yang ditambahkan, semakin pekat warna larutan yang dihasilkan, semakin besar rata-rata ukuran AuNPs, dan semakin banyak ion Au<sup>3+</sup> yang tereduksi menjadi Au<sup>0</sup> dengan panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{maks}$ ) = 529,5 dan rata-rata ukuran partikel = 32,25 nm. Penelitian ini diperkuat oleh penelitian Irfan, dkk (2016) yang berhasil menyintesis AuNPs

menggunakan ekstrak daun palm (*Elaeis guineensis*) dengan variasi volume ekstrak (0,20; 0,40; 0,60; 0,80; 1, dan 2) mL dan menunjukkan peningkatan absorbansi larutan AuNP dari 0,86 hingga 1,34 Å, pergeseran  $\lambda_{\text{maks}}$  ke arah kanan (batokromik) dari 546 nm menjadi 557 nm dengan rata-rata ukuran partikel sebesar  $20.09 \pm 12.36$  nm. Berdasarkan hasil kedua penelitian di atas, dapat diketahui bahwa kemampuan suatu bioreduktor untuk mereduksi  $\text{Au}^{3+}$  dan karakteristik AuNPs yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah bioreduktor yang digunakan.

Sintesis nanopartikel emas dapat dilakukan dengan bantuan pemanasan *hot plate*. Keuntungan yang di dapat dari penggunaan *heating oven* adalah panas yang dihasilkan merata serta dapat menembus wadah yang digunakan untuk mereaksikan sampel. Setiawan dkk, (2014) dalam penelitiannya, melakukan sintesis nanopartikel emas dengan bantuan pemanasan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama 30-35 menit dan menghasilkan bentuk AuNPs yang hamper seragam dan stabil. Amin dkk, (2020) juga melakukan sintesis nanopartikel emas menggunakan ekstrak daun berenuk dengan bantuan pemanasan  $60^{\circ}\text{C}$  selama 25 menit, AuNPs yang terbentuk menunjukkan morfologi anisotropik dengan ukuran rata-rata partikel yang kecil yaitu 11,249 nm.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka akan dilakukan sintesis nanopartikel emas dari larutan  $\text{HAuCl}_4$  0,05 mM yang dibuat dengan cara mencampurkan logam emas murni dengan larutan aquaregia ( $\text{HCl} : \text{HNO}_3 = 3 : 1$ ). Larutan  $\text{HAuCl}_4$  ditambahkan dengan bioreduktor ekstrak daun Katuk (*Sauropus androgynus*) dan disintesis dengan bantuan pemanasan *hot plate* dengan variasi volume bioreduktor (0,3; 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; 1,2) mL dan waktu pemanasan (15; 25; 35; 45; 55; 65; 75) menit. Nanopartikel emas yang dihasilkan kemudian akan

dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui absorbansi optimum dari masing-masing volume bioreduktor dan waktu pemanasan, serta kestabilan AuNPs pada selang waktu tertentu. Kemudian dilanjutkan dengan pengamatan waktu kontak pada AuNPs.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan volume bioreduktor ekstrak daun Katuk (*Sauropus androgynus*) dan waktu pemanasan terhadap karakteristik AuNPs dengan spektrofotometer UV-Vis?
2. Bagaimana hasil uji identifikasi senyawa aktif ekstrak daun Katuk dengan uji fitokimia?
3. Bagaimana kestabilan AuNPs hasil sintesis pada selang waktu tertentu?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan volume bioreduktor ekstrak daun Katuk (*Sauropus androgynus*) dan waktu sintesis terhadap karakteristik AuNPs secara spektrofotometer UV-Vis.
2. Untuk mengetahui volume dan waktu pemanasan optimum dalam pembentukan AuNPs.
3. Untuk mengetahui kestabilan AuNPs hasil sintesis pada selang waktu tertentu.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan berupa emas murni 99,9%
2. Bioreduktor yang digunakan berupa daun Katuk (*Sauropus androgynus L. Merr*) dengan pelarut akuabides.
3. Perbandingan komposisi larutan aquaregia adalah (HCl : HNO<sub>3</sub> = 3 : 1).
4. Variasi yang digunakan pada sintesis nanopartikel emas berupa variasi volume bioreduktor (0,5; 0,6; 0,7; 0,9; 1,2) mL dan waktu pemanasan (15; 25; 35; 45; 55; 65; 75) menit, serta waktu kestabilan (hari ke-0; 1; 3; 5; 7; 14; 21).
5. Dikarakteriasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mensintesis nanopartikel emas yang dapat diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang.
2. Memanfaatkan daun katuk sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel emas.
3. Mengetahui pengaruh penambahan volume bioreduktor ekstrak daun Katuk (*Sauropus androgynus L. Merr*) dan waktu pemanasan terhadap karakteristik nanopartikel emas, serta waktu kestabilan AuNPs.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Nanopartikel Emas (AuNPs)

##### 2.1.1 Logam Emas (Au)

Emas merupakan unsur kimia dengan simbol Au dan memiliki nomor atom 79. Logam ini memiliki beberapa sifat fisik yang khas, di antaranya: tidak bereaksi dengan zat kimia lainnya kecuali klorin, flourin, dan akuaregia (Sunardi, 2006), bersifat lembut, lunak (*malleable*), mudah ditempa (duktil), tidak mudah bereaksi, tahan korosi, dan berbentuk padat. Logam emas terdapat di alam sebagai unsur bebas dalam bentuk gumpalan (*nugget*) atau pasir halus dalam vena-vena batu atau dalam bentuk alluvial (Sembel, 2015). Adapun sifat-sifat fisika dan kimia logam emas ditabulasikan dalam Tabel 2.1 (Cotton dan Wilkinson, 1989).

**Tabel 2.1** Sifat fisik dan kimia logam emas

Sifat	Nilai
Nomor atom	79
Massa atom relative	196,9665 gram/mol
Konfigurasi electron	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup>
Titik leleh	1337 K (1064 °C)
Titik didih	3130 K
Jari-jari atom (kisi Au)	1,46 Å
Massa jenis (pada 273 K)	19,32 gram.cm <sup>-3</sup>
Keelektronegatifan (skala Pauling)	2,54
Sifat Magnetik	Diamagnetik

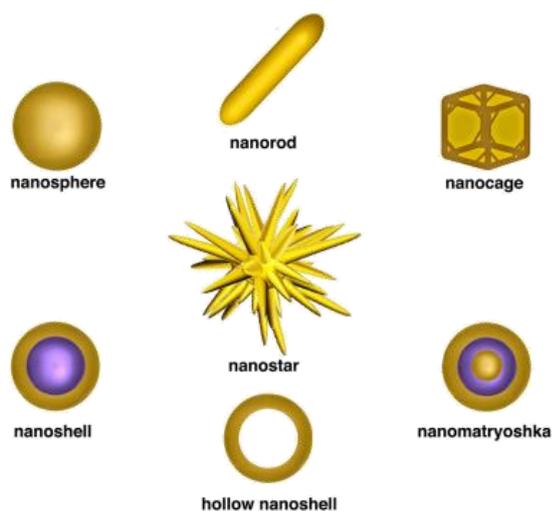
Sumber: Cotton dan Wilkinson, 1989

Emas memiliki beberapa bilangan oksidasi, di antaranya -1, 0, +1, +2, +3, +4, dan +5. Emas dengan bilangan oksidasi 0 berbentuk padatan dan telah banyak dimanfaatkan, misalnya sebagai perhiasan dan kosmetik. Di antara keenam bilangan oksidasi emas, hanya emas dalam bilangan oksidasi +1 dan +3 yang stabil dalam media larutan dan sistem biologis (Farrel, 1999).

### 2.1.2 Sifat Nanopartikel Emas (AuNPs)

Nanopartikel emas (AuNPs) memiliki sifat karakteristik di antaranya, (a) ukuran yang kecil (1-100 nm) dan rasio permukaan terhadap volume yang besar, (b) ketahanan tinggi yang ditunjukkan oleh beberapa bahan struktur nano, (c) sifat pengikatan target kuantitatif dan kualitatif, serta (d) sifat fisik dan kimia yang unik yang dapat diubah tergantung pada ukuran, komposisi, dan bentuk (Rosi dan Mirkin, 2005).

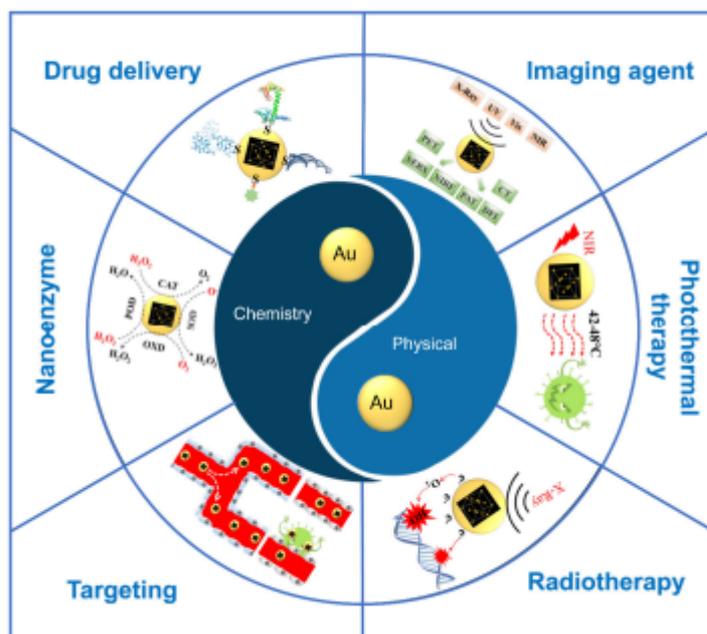
AuNPs juga memiliki sifat optik yang unik akibat interaksi cahaya dengan elektron pada permukaan AuNPs. Pada panjang gelombang (frekuensi) cahaya tertentu, osilasi kolektif elektron pada permukaan AuNPs menyebabkan fenomena yang disebut resonansi plasmon permukaan (SPR), yang mengakibatkan hamburan dan penyerapan cahaya yang kuat. Panjang gelombang tersebut bergantung pada ukuran, bentuk, permukaan dan keadaan aglomerasi dari AuNPs (El-Sayed, dkk., 2005; Dreaden, dkk., 2012). Selain itu, AuNPs juga memiliki beberapa sifat fisikokimia, termasuk ukuran (luas permukaan), bentuk, muatan dan pelapisan permukaan, aglomerasi, dan laju disolusi. Partikel yang lebih kecil memiliki luas permukaan yang lebih besar dan potensi toksik yang lebih besar. Di samping itu, bentuk struktur AuNPs juga memengaruhi sifat fisik dan kimianya. Struktur AuNPs yang sering digunakan di bidang biomedis di antaranya, bola, kawat, batang, pelat, dan kubus (Sharma, dkk., 2015).



**Gambar 2. 1** Bentuk-bentuk nanopartikel emas (AuNPs) (Berardis, dkk., 2020)

### 2.1.3 Pemanfaatan Nanopartikel Emas (AuNPs)

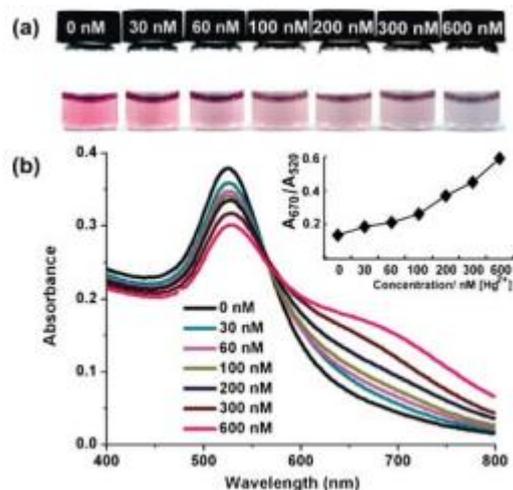
Nanopartikel emas (AuNPs) telah menerima banyak perhatian karena memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan cahaya melalui resonansi plasma permukaan (SPR). AuNPs telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kimia, ilmu material, fisika, kedokteran, karena karakteristik multifungsi dalam bidang fototerapi, radioterapi, *targeting*, nano-enzim, *imaging*, dan *drug delivery*. AuNPs telah banyak digunakan untuk aplikasi teronastik terapi kanker, skrining biomolekuler yang sangat sensitif, pemusnahan selektif sel kanker dengan terapi fototermal, sel spesifik, pelabelan protein dan terapi seluler (Kalimuthu, dkk., 2020; Bai, dkk., 2020; Soloviev, 2012; Lee, dkk., 2019). Aplikasi AuNPs berdasarkan sifat fisik dan kimia ditampilkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Aplikasi nanopartikel emas (AuNPs) berdasarkan sifat fisik dan kimia (Bai, dkk., 2020)

Sifat fisik dan kimia dari AuNPs sangat cocok untuk dimanfaatkan di beberapa bidang, contohnya sensor yang memiliki banyak keunggulan, seperti sintesis yang mudah, sifat optik yang unik, rasio antara luas permukaan dan volume yang tinggi, biokompatibilitas, dan selektifitas yang tinggi. AuNPs dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam sensor, di antaranya sensor ion logam, anion, dan molekul seperti racun, sakarida, protein, dan nukleotida (Saha, dkk., 2012). Kim, dkk (2010) berhasil mendeteksi ion logam berat seperti  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , dan  $Hg^{2+}$  menggunakan AuNPs dengan teknik kolometri. Pada penelitian ini, AuNPs teragrerasi pada larutan akibat khelasi ion logam divalen oleh asam pada permukaan, yang menyebabkan perubahan spektrum serapan karena perubahan warna larutan dari merah menjadi biru. Liu, dkk (2010) juga melaporkan hasil deteksi  $Hg^{2+}$  menggunakan tiol terminasi gugus amonium kuaterner tertutup AuNPs, yang menyebabkan agrerasi AuNPs dan perubahan warna larutan dari

merah menjadi biru. Perubahan warna larutan dan spektrum serapan yang sesuai dengan jumlah  $\text{Hg}^{2+}$  yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** (a) Perubahan warna dengan meningkatnya konsentrasi  $\text{Hg}^{2+}$ , dan (b) absorbansi yang sesuai (Liu, dkk., 2010)

## 2.2 Daun Katuk

### 2.2.1 Morfologi dan Identifikasi Daun Katuk

*Sauropus androgynous* L. Merr adalah tumbuhan perdu yang termasuk ke dalam family Euphorbiaceae. Tumbuh di tempat yang lembab, kondisi suhu tinggi dan merupakan tumbuhan asli dari Asia Tenggara, serta banyak dibudidayakan untuk tujuan pengobatan tradisional. *S. androgynous* dikenal sebagai *star gooseberry*, *sweet leaf bush*, *Phak waan baan* di Thailand, Cekur manis di Malaysia, Katuk di Indonesia, *binahian* di Filipina, dan *dom nghob* di Kamboja. Daun katuk ditemukan sangat melimpah di Indonesia yang digunakan sebagai obat herbal tradisional dan pakan ternak. Tumbuhan ini dapat dijadikan sebagai suplemen untuk meningkatkan produksi ASI, beberapa jenis produk kecantikan, sayuran, dan pewarna makanan (Bunawan, dkk., 2015; Fikri dan Purnama, dkk., 2020).

*Sauropus androgynous* L. Merr merupakan perdu tegak yang dapat mencapai hingga 500 cm, memiliki cabang silindris atau miring, daunnya berbentuk bulat telur atau tombak, berwarna hijau berukuran 2,0-7,5 cm dan tumpul atau lancip. Selain itu, tumbuhan ini memiliki bunga berbentuk cakram (seluruhnya atau hampir seluruhnya berwarna merah tua hingga kekuningan dengan bintik-bintik merah, buahnya hampir bulat dengan diameter mencapai 1,5 cm dan berwarna keputihan yang di dalamnya terdapat biji berwarna hitam (Santoso, 2013). Dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, klasifikasi tumbuhan Katuk adalah sebagai berikut (Rukmana, dkk., 2013):



**Gambar 2.4** Daun Katuk (*Sauropus androgynous* L. Merr) (Bunawan, dkk., 2015)

Kerajaan	: Plantae (tumbuh-tumbuhan)
Divisi	: Soermatophyta (tumbuhan berbiji)
Subdivisi	: Angiospermae (berbiji tertutup)
Kelas	: Dicotyledonea (biji berkeping dua)
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiales
Jenis	: <i>Sauropus</i>
Spesies	: <i>Sauropus androgynous</i> (L.) Merr.

Penelitian fitokimia mengungkapkan kandungan daun *S. andorgynus* yang terdiri dari sterol, resin, tannin, saponin, alkaloid, flavonoid, terpenoid, glikosida,

fenol, katekol, glikosida jantung, dan senyawa asam (Senthamarai dan Baskar, 2012). Sebelumnya skrining fitokimia awal pada daun *S. androgynus* menunjukkan polifenon, antosianin, karotenoid, asam askorbat, dan tannin (Singh, dkk., 2011). Kemudian dilakukan studi lebih lanjut oleh Gireesh, dkk (2013) yang menunjukkan bahwa kandungan ekstrak etanol dari *S. androgynous* berupa tannin, saponin, flavonoid, terpenoid, fenolat, steroid, dan alkaloid.

Tumbuhan merupakan salah satu keanekaragaman hayati yang dapat ditemui dengan mudah di wilayah Indonesia. Tumbuhan tersebut disediakan oleh Allah SWT untuk memenuhi kebutuhan manusia sebagaimana yang telah difirmankan oleh Allah SWT dalam QS. An-Nahl ayat 11:

يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya: “*Dengan (air hujan) itu Dia menumbuhkan untuk kamu tanam-tanaman, zaitun, kurma, anggur dan segala macam buah-buahan. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berpikir.*” (QS. An-Nahl: 11).

Kata يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan tanaman-tanaman, seperti zaitun, kurma, anggur, dan lainnya di bumi dengan air yang hanya satu macam dengan perbedaan rasa, warna, bau dan bentuknya. Allah SWT dalam Firmannya يَتَفَكَّرُونَ juga menjelaskan bahwa semua itu merupakan dalil dan bukti tidak ada Ilah kecuali Allah SWT (Katsir, 2003). Salah satu tumbuhan yang telah Allah sediakan untuk kepentingan manusia adalah tumbuhan Katuk. Allah SWT telah menciptakan tumbuhan bagi manusia dengan penciptaan yang paling baik, sesuai dengan Firman Allah SWT dalam QS. Asy-Syu'ara ayat 7:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَيْفَ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: “Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam (tumbuh-tumbuhan) yang baik?” (QS. Ays-Syu’ara: 7).

Kata زَوْجٍ yang artinya pasangan memiliki makna pasangan tumbuh-tumbuhan, dengan demikian ayat ini mengisyaratkan bahwa tumbuh-tumbuhan berpasangan-pasangan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Terdapat tumbuhan yang memiliki benang sari dan putik yang digunakan dalam proses penyerbukan untuk proses berkembang biaknya agar dapat digunakan oleh manusia. Ayat di atas dimulai dengan pertanyaan ‘*apakah mereka tidak memperhatikan?*’, pertanyaan yang mengandung unsur keheranan terhadap mereka yang tidak menggunakan indera penglihatannya untuk memerhatikan bukti kekuasaan Allah. Sedangkan kata kariim digunakan untuk menggambarkan segala sesuatu yang baik bagi setiap objek, termasuk tumbuhan yang baik adalah tumbuhan yang paling subur dan bermanfaat (Shihab, 2002).

Allah SWT menjadikan kehidupan alam dengan berbagai keanekaragaman hayati dengan nikmat dan manfaat bagi keberlangsungan hidup manusia. Sebagai contoh adalah daun Katuk, di samping daunnya yang mengandung senyawa obat, tumbuhan Katuk juga dapat dimanfaatkan sebagai komponen utama dalam sintesis nanopartikel emas (AuNPs). AuNPs yang diperoleh dapat dimanfaatkan dalam beberapa bidang, terutama dalam bidang kesehatan, sebagaimana Rasulullah SAW menyuruh umatnya untuk berobat ketika mengalami sakit yang telah diriwayatkan dalam sebuah hadits:

حَدَّثَنَا عَبْدُ الرَّزَّاقِ أَحْبَرَنَا سُفْيَانُ عَنِ الْأَعْمَشِ وَمَنْصُورٍ عَنْ ذَرِّ عَنْ يُسَيْعِ الْكِنْدِيِّ عَنِ الثُّعْمَانِ بْنِ بَشِيرٍ أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ إِنَّ الدُّعَاءَ هُوَ الْعِبَادَةُ ثُمَّ قَرَأَ { ادْعُونِي أَسْتَجِبْ لَكُمْ إِنَّ الَّذِينَ يَسْتَكْبِرُونَ عَنْ عِبَادَتِي

Artinya: “Telah menceritakan kepada kami Ibnu Ziyad yakni Al Muthallib bin Ziyad telah menceritakan kepada kami Ziyad bin Ilaqah dari Usamah bin Syarik bahwa Rasulullah SAW bersabda: “Berobatlah kalian wahan hamba Allah, karena Allah ‘azza wajalla tidak pernah menurunkan penyakit kecuali juga menurunkan obatnya, kecuali kematian dan kepikunan.” (HR. Ahmad).

Dalam hadits pun Rasulullah sudah menegaskan bahwa setiap penyakit yang diturunkan oleh Allah SWT pasti ada obatnya, dan tugas manusia adalah berusaha untuk menemukan dan memanfaatkan obat tersebut dengan baik.

## 2.2.2 Identifikasi Senyawa Aktif Daun Kelor dengan Uji Fitokimia

### 2.2.2.1 Flavonoid

Flavonoid merupakan senyawa metabolit sekunder yang terdapat pada tanaman hijau, kecuali alga. Flavonoid termasuk senyawa fenolik alam yang potensial dan mempunyai bioaktivitas sebagai obat. Senyawa flavonoid terdapat dalam semua bagian tumbuhan serta sering terkonsentrasi dalam suatu jaringan tertentu, seperti daun, bunga dan buah. Manfaat flavonoid antara lain untuk melindungi struktur sel, meningkatkan efektivitas vitamin C, anti inflamasi, mencegah keropos tulang dan sebagai antibiotik (Bontjura, dkk., 2015).

Flavonoid adalah kelas senyawa yang disajikan secara luas di alam. Flavonoid terdapat dalam semua tumbuhan hijau sehingga dapat ditemukan pada setiap ekstrak tumbuhan. Menurut Nugrahani, dkk., (2016) uji flavonoid dilakukan menggunakan metode *Wilstater* dengan menambahkan HCl pekat dan logam Mg untuk masing-masing sampel dan hasil positif uji flavonoid akan menghasilkan warna orange/ jingga.

### 2.2.2.2 Alkaloid

Senyawa alkaloid merupakan senyawa organik terbanyak yang ditemukan di alam, senyawa ini biasanya ditemukan pada daun-daunan (Putra, dkk., 2016). Alkaloid mengandung paling sedikit satu atom N yang bersifat basa dan pada umumnya merupakan bagian dari cincin heterosiklik. Uji alkaloid dilakukan menggunakan reagen Dragendorff dengan hasil positif terbentuk endapan jingga dan menggunakan reagen Meyer dengan hasil positif terbentuk endapan putih kekuningan (Nugrahani, dkk., 2016).

Fungsi senyawa alkaloid bagi tumbuhan adalah sebagai zat racun untuk melawan serangga atau hewan pemakan tanaman dan sebagai faktor pengaruh pertumbuhan. Kegunaan lain dari senyawa ini di bidang farmakologi sebagai stimulan sistem saraf, obat batuk, obat tetes mata, *sedative*, obat malaria, kanker, dan antibakteri (Putra, dkk., 2016).

### 2.2.2.3 Tanin

Tanin merupakan salah satu senyawa metabolit sekunder yang terdapat pada tanaman. Tanin adalah senyawa yang mempunyai berat molekul 500-3000 dan mengandung sejumlah besar gugus hidroksi fenolik yang memungkinkan membentuk ikatan silang yang efektif dengan protein dan molekul lain seperti polisakarida, asam amino, asam lemak dan asam nukleat (Hidayah, 2016). Tanin terdapat pada tanaman senyawa polifenol dengan karakteristik dapat membentuk senyawa kompleks dengan makromolekul lainnya.

Tanin dibagi menjadi dua kelompok yaitu tanin mudah terhidrolisis dan tanin terkondensasi. Tanin mudah terhidrolisis merupakan polimer *gallic* atau *ellagic acid*

yang berikatan ester dengan sebuah molekul gula, sedangkan tanin terkondensasi merupakan polimer senyawa flavonoid dengan ikatan karbon- karbon berupa catechin dan gallo catechin (Jayanegara dan Sofyan, 2008). Menurut Nugrahani, dkk., (2016) uji tanin dilakukan dengan ditambah larutan  $\text{FeCl}_3$  1%. Hasil positif uji tanin ditunjukkan dengan terbentuknya warna hijau kehitaman.

#### **2.2.2.4 Terpenoid**

Terpenoid merupakan senyawa yang memiliki kerangka karbon berasal dari enam satuan isopropena dan secara biosintesis diturunkan dari hidrokarbon asiklik, yaitu skualena. Senyawa tersebut merupakan senyawa tanpa warna berbentuk kristal. Senyawa terpenoid pada tumbuhan berfungsi sebagaipertahanan terhadap serangga pengganggu dan faktor pengaruh pertumbuhan (Putra, dkk., 2016). Uji triterpenoid dilakukan menggunakan reagen Lieberman-Burchard yang terdiri dari anhidrida asetat dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat. Hasil positif uji terpenoid terdapat cincin berwarna kecoklatan (Nugrahani, dkk., 2016).

### **2.3 Sintesis Nanopartikel Emas**

Banyak metode sintesis AuNPs yang sedang dikembangkan atau ditingkatkan untuk meningkatkan sifat dan mengurangi biaya produksi. Beberapa metode dimodifikasi untuk mencapai proses nanopartikel spesifik untuk meningkatkan sifat optik, mekanik, fisik, dan kimianya (Cho, dkk., 2013). AuNPs dapat disintesis dengan berbagai metode yang dikategorikan ke dalam metode *bottom-up* atau *top-down*. Metode *bottom-up* atau konstruktif adalah penumpukan material dari atom ke cluster hingga nanopartikel, seperti, sol-gel, deposisi uap kimia (CVD), pirolisis, dan biosintesis, sedangkan metode *top-down* atau destruktif adalah pengurangan material massal menjadi partikel skala nanometrik seperti

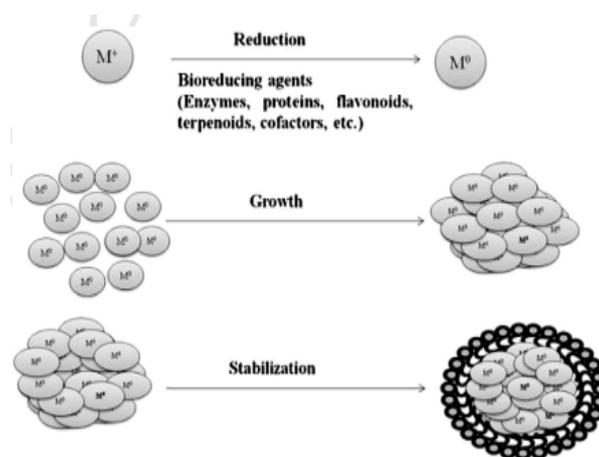
penggilingan mekanis, nanolitografi, ablasi laser, dan dekomposisi termal (Ealias dan Savanakumar, 2017).

Metode kimia dan fisik secara konvensional untuk sintesis AuNPs. Namun penggunaannya disertai dengan beberapa kelemahan. Untuk metode kimia, kelemahan utama misalnya menggunakan reduksi sitrat, asam amino-2-naftol-4-sulfonat (ANSA), reagen yang sangat beracun, pencemaran lingkungan, pelarut karsinogenik, dan kontaminasi prekursor. Di sisi lain, metode fisik (misalnya, metode ablasi laser) membutuhkan peralatan yang mahal dan konsumsi energi yang tinggi. Selain itu, stabilitas AuNP yang rendah, kesulitan dalam mengendalikan pertumbuhan kristal, dan agregasi partikel membuat metode di atas kurang menguntungkan. Oleh karena itu, metode green synthesis AuNPs menarik lebih banyak perhatian karena peningkatan kemampuan nanoteknologi, penggunaan bahan yang kurang toksik tanpa bahan penstabil dan pereduksi tambahan, bahan terbarukan, pengeluaran energi yang rendah, dan keamanan ekologis. Selain itu, biomolekul yang terlibat dalam biosintesis oleh bakteri, jamur, alga, dan tanaman memiliki efek positif baik pada proses maupun AuNPs yang dihasilkan (Mikhailova, 2021).

### **2.3.1 Green Synthesis Nanopartikel Emas**

*Green synthesis* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode produksi fisikokimia, yaitu mengurangi dampak lingkungan, menghasilkan nanopartikel dalam jumlah besar dan bebas kontaminasi, dan memiliki ukuran dan morfologi yang jelas (Anastas dan Zimmerman, 2007; Hutchison, 2008). Proses sintesis nanopartikel emas (AuNPs) dengan metode *green synthesis* dapat dilakukan dengan menggunakan ekstrak agen biologis (tumbuhan, hewan dan mikroba).

Ekstrak Daun Katuk berfungsi sebagai reduktor karena senyawa yang terdapat pada Daun Katuk mampu mereduksi Au yang semula bermuatan  $3+$  menjadi  $0$ . Mekanisme kerja antioksidan ada dua, yaitu sebagai donor atom hydrogen sehingga radikal bebas menjadi lebih stabil dan yang kedua adalah untuk memperlambat laju autooksidasi. Penggunaan antioksidan alami sudah mulai banyak digunakan akhir-akhir ini dengan semakin besarnya pemahaman masyarakat tentang perannya dalam menghambat penyakit degenerative seperti penyakit jantung, arteriosclerosis, kanker, serta penuaan. (Gunawan, 2010). dalam sintesis nanopartikel emas karena mengandung senyawa-senyawa seperti asam amino, vitamin, protein, enzim, polisakarida, flavonoid, terpenoid, keton, aldehida, asam karboksilat, dan amida. Abhimannue dan Menon (2020) melaporkan bahwa larutan ekstrak daun Katuk mengandung senyawa bioaktif berupa flavonoid, fenol, alkaloid, terpenoid dan tanin. Adapun mekanisme biosintesis nanopartikel ( $M$ ) ditampilkan pada Gambar 2.5.

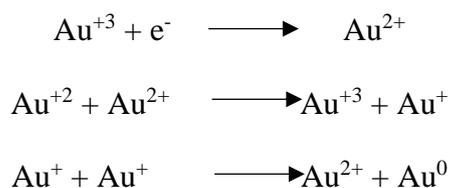


**Gambar 2.5** Mekanisme sintesis nanopartikel ( $M^{+/-}$  ion logam) (Mittal, dkk., 2013)

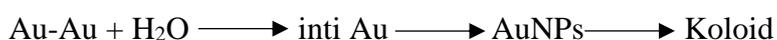
Gambar 2.5 menunjukkan secara keseluruhan mekanisme biosintesis nanopartikel logam yang meliputi 3 fase utama, di antaranya (Makarov, dkk., 2014):

- 1) Fase aktivasi di mana terjadi reduksi ion logam dan nukleasi atom logam tereduksi, jari-jari atom Au 179 pm atau setara dengan 0,179 nm;
- 2) Fase pertumbuhan di mana nanopartikel kecil yang berdekatan secara spontan bergabung menjadi partikel berukuran lebih besar (pembentukan langsung nanopartikel melalui nukleasi dan pertumbuhan heterogen, reduksi ion logam lebih lanjut yang disebut pematangan Ostwald);
- 3) Fase penghentian, yaitu proses menentukan bentuk akhir dari nanopartikel. Nanopartikel memiliki ukuran 1-100 nm atau setara dengan 10-1000 angstrom.

Selain keterlibatan senyawa bioaktif dari ekstrak tanaman, kemungkinan terjadi reaksi disproporsionasi sehingga dihasilkan AuNPs. Reaksi disproporsionasi adalah reaksi redoks di mana oksidator dan reduktornya merupakan zat yang sama (Shriver dan Atkins, 1999). Jadi, sebagian dari zat itu mengalami oksidasi dan sebagian lagi mengalami reduksi seperti persamaan di bawah ini:



Proses yang mungkin terjadi pada pembentukan AuNPs adalah terbentuknya polimer Au kemudian terhidrolisis sehingga terbentuk inti Au seperti pada skema berikut:



Berdasarkan skema pembentukan AuNPs di atas, terjadi pembentukan polimer Au kemudian diikuti dengan pembentukan inti Au yang dihidrolisis. Pembentukan koloid berhubungan dengan munculnya inti dalam kondisi yang jenuh, setelah itu terbentuk nanopartikel yang akan tumbuh menjadi koloid yang ditandai dengan pemekatan warna pada larutan (Zakir, dkk., 2005).

Prinsip kerja tanaman dalam membentuk AuNPs adalah dengan kemampuan senyawa pada tanaman yang mampu mereduksi Au yang bermuatan menjadi Au<sup>0</sup> (Kumar, dkk., 2010). AuNPs juga diduga akan dilindungi oleh senyawa yang terdapat pada tanaman setelah proses reduksi tersebut (Shankar, dkk., 2003). Jika proses reduksi terjadi secara intraseluler, ion logam akan terabsorpsi pada tanaman dan akan mengalami reduksi oleh proses metabolisme tanaman yang kompleks (Jha dan Prasad, 2009).

Adapun penelitian yang dilakukan Wiyani, dkk (2021) dengan variasi jumlah bioreduktor ekstrak etanol daun jambu bol putih sebanyak 0,25; 0,75; 1,25; dan 2,00 mL menggunakan *microwave* selama 120 detik pada suhu 80 °C. Dalam penelitian ini, volume optimum dalam pembentukan AuNP adalah pada volume 0,75 dengan absorbansi yang tinggi pada panjang gelombang 559-563 nm. Oleh karena itu, Semakin besar volume bioreduktor, maka absorbansi yang dihasilkan semakin besar dan menunjukkan bahwa nanopartikel emas hasil reduksi semakin banyak. Hal ini menyebabkan tumbukan antar partikel lebih sering terjadi dan dapat mengakibatkan terjadinya aglomerasi (Sovawi, 2016).

## 2.3.2 Karakterisasi Nanopartikel Emas

### 2.3.2.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektroskopi adalah studi mengenai metode untuk menghasilkan spektrum akibat interaksi antara cahaya dengan atom dan molekul. Spektrofotometri UV-Vis adalah metode untuk mengukur panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diserap oleh sampel. Prinsip kerja pada analisis spektrofotometri UV-Vis yaitu ketika nanopartikel emas menyerap cahaya, maka elektron pada permukaan nanopartikel akan terjadi polarisasi karena cahaya UV-Vis adalah gelombang elektromagnetik yang mengalami osilasi. Maka polarisasi elektron juga mengalami osilasi. Osilasi tersebut dinamakan plasmon permukaan (SPR). Sampel yang diberi radiasi UV pada panjang gelombang 180-380 nm atau cahaya tampak (*visible*) pada panjang gelombang 380-780 nm. Penyerapan radiasi menyebabkan promosi elektron dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi dalam gugus fungsi yang disebut kromofor. Data serapan yang akan dihasilkan berupa transmitansi atau absorbansi yang dapat dibaca oleh spektrofotometer sebagai spektrum UV-Vis (Skoog, dkk., 2016). Eksitasi elektron yang terjadi pada spektrofotometri UV-Vis dicatat dalam bentuk spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan absorbansi, sesuai dengan jenis elektron tereksitasi, semakin besar panjang gelombang yang diserap, semakin banyak elektron tereksitasi dan semakin tinggi absorbansinya (Pratiwi dan Nandiyanto, 2022).

Dalam pengukuran panjang gelombang, warna pada cahaya tampak mempengaruhi besaran panjang gelombang. Jika cahaya polikromatik (putih) yang mengandung seluruh spektrum panjang gelombang melewati suatu medium tertentu, ia akan menyerap panjang gelombang lain sehingga medium tersebut akan tampak berwarna. Karena hanya panjang gelombang transmisi yang mencapai

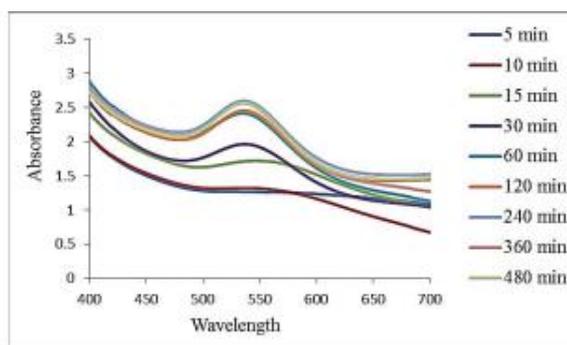
mata, maka panjang gelombang inilah yang menentukan warna medium dan disebut sebagai warna komplementer terhadap warna yang diserap (Pratiwi dan Nandiyanto, 2022). Perkiraan panjang gelombang warna pada wilayah cahaya tampak ditampilkan pada Tabel 2.1

**Tabel 2.2** Perkiraan panjang gelombang warna di wilayah cahaya tampak

<b>Panjang Gelombang (nm)</b>	<b>Warna Absorpsi</b>	<b>Warna Komplementer</b>
340 – 450	Violet	Kuning-hijau
450 – 495	Biru	Kuning
495 – 570	Hijau	Violet
570 – 590	Kuning	Biru
590 – 620	Jingga	Hijau-biru
620 – 750	Merah	Biru-hijau

Sumber: Kristianingrum, 2013

Ahmad, dkk (2016) berhasil melakukan sintesis AuNPs dengan menggunakan ekstrak air daun *Elae guineensis* (kelapa sawit) dengan pengaruh waktu reaksi pada laju reduksi AuNPs. Perubahan warna terjadi dari kuning menjadi merah muda dalam media reaksi setelah 8 menit, sedangkan setelah 60 menit warna larutan menjadi warna merah anggur yang menunjukkan selesainya reaksi. Reduksi prekursor emas untuk membentuk AuNPs diketahui dari hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometr UV-Vis, di mana panjang gelombang SPR dan absorbansi maksimum media reaksi terjadi setelah 60 menit yang menunjukkan reduksi sempurna pada prekursor menjadi AuNPs. Spektrum UV-Vis dari sampel larutan terhadap interval waktu yang berbeda ditampilkan pada Gambar 2.8



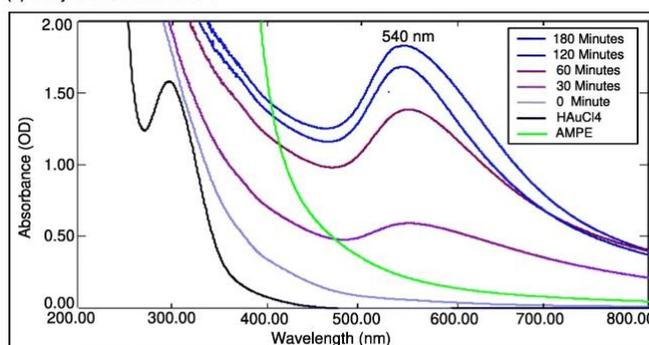
**Gambar 2.6** Spektrum UV-Vis larutan sampel ekstrak katuk terhadap interval waktu (Ahmad, dkk., 2016)

Datkhile, dkk (2021) juga telah melaporkan sintesis AuNPs dengan ekstrak *Argemone mexicana L*, di mana terjadi reduksi prekursor oleh ekstrak *A. mexicana* yang diamati pada spektrum serapan UV-Vis (200-800 nm). Terjadi perubahan warna kuning menjadi ungu tua pada larutan sampel setelah 3 jam inkubasi yang menunjukkan pembentukan AuNPs akibat reaksi fitokimia yang ada pada tanaman dengan panjang gelombang SPR pada 540 nm. Hasil ini menunjukkan bahwa biosintesis AuNPs dimulai setelah 30 menit inkubasi dan selesai setelah 3 jam inkubasi. Perubahan warna pada larutan sampel dan spektrum UV-Vis terhadap waktu pembentukan AuNPs ditampilkan pada Gambar 2.9.



AMPE HAuCl<sub>4</sub> 1.0 mM 0 minute 30 minute 60 minute 120 minute 180 minute

(a) Biosynthesis of AM-AuNPs



(b) UV-visible spectroscopy analysis of AM-AuNPs formation

**Gambar 2.7** (a) Perubahan warna pada larutan sampel ekstrak katuk dengan perbedaan lama pemanasan, (b) spektrum UV-Vis terhadap waktu pembentukan AuNPs (Datkhile, dkk., 2021).

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Juni-Agustus 2023 di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

##### **3.2.1 Alat-alat Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya adalah neraca analitik, spatula, gelas arloji, pipet tetes, pipet ukur, gelas beaker 50 mL dan 100 mL, corong *buchner*, ultrasonik, labu takar 50 mL dan 500 mL, tabung reaksi, rak tabung raeaksi, *hot plate*, dan spektrofotometer UV-Vis.

##### **3.2.2 Bahan-bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya adalah daun Katuk (*Sauropus androgynus*) di daerah Kelurahan Gedoongombo Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban, emas murni 99,9%, asam klorida (HCl) p.a, asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) p.a, akuades, akuabides, akuademin, methanol, serbuk Mg, HCl, reagen dragondroff, reagen meyer, kloroform, asam asetat anhidrat, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, FeCl<sub>3</sub>, kertas saring *whatman* no.42, *aluminium foil*, *plastic wrap*.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini bersifat eksperimen di laboratorium, yaitu biosintesis nanopartikel emas (AuNPs) dengan memanfaatkan senyawa organik dari ekstrak tanaman daun Katuk (Sovawi, dkk., 2016). Langkah pertama yang dilakukan ialah pengambilan (*sampling*) daun Katuk di Kelurahan Gedoongombo Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban untuk dilakukan preparasi menggunakan pelarut aquades untuk mendapatkan ekstraknya. Langkah selanjutnya dilakukan uji identifikasi senyawa aktif pada ekstrak daun Katuk dengan uji fitokimia, identifikasi kandungan senyawa aktif antara lain flavonoid, alkaloid, terpenoid dan tanin. Selanjutnya adalah pembuatan larutan  $\text{HAuCl}_4$  dengan melarutkan emas murni ke dalam larutan  $\text{HCl}:\text{HNO}_3$  p.a (3:1) dengan penambahan akuademin.

Larutan  $\text{HAuCl}_4$  tanpa penambahan bioreduktor diukur Panjang gelombang maksimumnya untuk digunakan sebagai blanko dan sisanya disintesis dengan penambahan bioreduktor ekstrak daun Katuk dengan variasi volume bioreduktor dan waktu sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Perbandingan volume bioreduktor dan waktu pemanasan

Volume Bioreduktor (mL)
0,5
0,6
0,7
0,9
1,2

Serta variasi waktu pemanasan sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Perbandingan waktu pemanasan

Waktu Pemanasan (menit)
15
25
35
45
55
65
75

Penelitian ini dilakukan pengulangan sebanyak 3x. Hasilnya berupa larutan berwarna *cherry red* yang akan diukur Panjang gelombang serta absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada gelombang 200-800 nm. Tahap berikutnya dilakukan pengamatan waktu kestabilannya dari hari ke-0, ke-2, ke-4, hari ke-7, hari ke-9, hari ke-14 dan hari ke-21 dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm.

### 3.4 Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan tahapan-tahapan berikut ini:

1. *Sampling* dan preparasi sampel bioreduktor ekstrak daun Katuk.
2. Uji fitokimia pada sampel ekstrak daun Katuk.
3. Pembuatan larutan H<sub>AuCl</sub><sub>4</sub> 0,5 mM.
4. Sintesis nanopartikel emas dengan bantuan pemanasan *hot plate*.
5. Karakterisasi nanopartikel emas dengan spektrofotometer UV-Vis.
6. Analisis data yang diperoleh.

### **3.5 Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.5.1 Preparasi Sampel Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk**

Penelitian ini menggunakan sampel berupa tanaman Katuk. Tanaman ini diperoleh di Kelurahan Gedoongombo Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban. Bagian tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun dalam kondisi segar. Kemudian dilakukan sortasi basah untuk memisahkan kotoran-kotoran maupun benda asing lain yang terdapat pada daun Katuk. Setelah itu dilakukan pencucian menggunakan air mengalir. Daun Katuk yang telah dibersihkan dikeringkan pada suhu ruang dengan cara diangin-anginkan. Daun Katuk yang telah kering dihaluskan di Materia Medika Batu dan diayak dengan ukuran  $\pm 90$  mesh. Serbuk simplisa daun Katuk yang telah didapatkan ditimbang sebanyak 20 gram kemudian ditambahkan pelarut sebanyak 200 mL dengan perbandingan bahan: pelarut 1:10 (Handayani, dkk., 2016). Kemudian dilakukan kestraksi ultrasonik dengan frekuensi 42 KHz pada suhu kamar selama 20 menit. Hasil ekstrak dari pelarut disaring menggunakan corong *buchner* menghasilkan filtrat dan residu kemudian pada filtrat digunakan untuk tahap penelitian selanjutnya.

#### **3.5.2 Identifikasi Senyawa Aktif Daun Katuk**

Identifikasi golongan senyawa aktif adalah analisis kualitatif yang digunakan untuk mengetahui jenis senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam suatu bahan alam. Identifikasi kandungan senyawa aktif antara lain flavonoid, alkaloid, terpenoid dan tanin.

##### **3.5.2.1 Uji Flavonoid**

Ekstrak daun katuk dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian dilarutkan dalam 1-2 mL metanol panas 50 %. Selanjutnya ditambah serbuk Mg

dan 4-5 tetes HCl pekat. Warna merah atau jingga yang terbentuk, menunjukkan adanya flavonoid (Anwar, dkk., 2014).

### **3.5.2.2 Uji Alkaloid**

Ekstrak daun katuk dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambah 0,5 mL HCl 2 % dan larutan dibagi dalam dua tabung. Tabung I ditambahkan 0,5 mL reagen Dragendorff, tabung II ditambahkan 0,5 mL reagen Meyer. Jika tabung I terbentuk endapan jingga dan pada tabung II terbentuk endapan kekuning-kuningan, menunjukkan adanya alkaloid (Anwar, dkk., 2014).

### **3.5.2.3 Uji Terpenoid**

Ekstrak daun katuk dimasukkan ke dalam tabung reaksi, dilarutkan dalam 0,5 mL kloroform lalu ditambah dengan 0,5 mL asam asetat anhidrat. Campuran ini selanjutnya ditambah dengan 1-2 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat melalui dinding tabung tersebut. Apabila hasil yang diperoleh berupa cincin kecoklatan atau violet pada perbatasan dua pelarut menunjukkan adanya senyawa terpenoid, sedangkan apabila terbentuk warna hijau kebiruan menunjukkan adanya terpenoid (Anwar, dkk., 2014).

### **3.5.2.4 Uji Tanin**

Ekstrak daun katuk dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan dengan larutan FeCl<sub>3</sub> 1 % sebanyak 1-2 tetes, apabila berubah warna menjadi hitam, maka menunjukkan sampel tersebut mengandung tanin (Anwar, dkk., 2014).

### **3.5.3 Pembuatan dan Penentuan $\lambda_{\text{maks}}$ Larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,5 mM**

Pembuatan larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,5 mM mengacu pada prosedur yang dikembangkan dalam penelitian Lembang, dkk (2014), di mana pembuatan larutan ini dibuat dengan melarutkan 0,0493 gram emas ke dalam aquaregia (HCl : HNO<sub>3</sub> (3:1)) sebanyak 4 mL dibantu pemanasan sampai kering, lalu ditambahkan dengan akuademin hingga volume 500 mL dan dihomogenkan, setelah itu dapat digunakan untuk tahap lebih lanjut. Larutan HAuCl<sub>4</sub> dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-800 nm.

### **3.5.4 Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas**

#### **3.5.4.1 Sintesis Nanopartikel Emas (AuNPs) dengan Variasi Volume Bioreduktor Menggunakan *Hot Plate***

Sintesis nanopartikel emas dilakukan dengan mencampur larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,5 mM dengan larutan ekstrak daun Katuk. Prosedur yang digunakan mengacu pada penelitian Sovawi, dkk (2016) yang telah dimodifikasi, yaitu sebanyak 5 mL larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,5 mM dimasukkan ke dalam gelas beaker 50 mL, lalu ditambahkan filtrat ekstrak daun Katuk sebanyak 0,5 mL dan disintesis dengan *hotplate* dengan kendali suhu 60°C selama 25 menit. Pembentukan AuNPs dipantau melalui perubahan warna yang terbentuk selama proses sintesis (Gao, dkk., 2022; Njue, dkk., 2020). Pada penelitian ini digunakan variasi penambahan ekstrak bioreduktor daun Katuk sebanyak 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; dan 1,2 mL (Khalil, dkk., 2012), kemudian dilakukan 3x ulangan. Setelah itu, dilakukan uji karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-800 nm. Volume bioreduktor yang menghasilkan absorbansi paling stabil akan digunakan untuk prosedur penelitian lebih lanjut. Kemudian dilakukan dengan pemanasan pada suhu 60°C menggunakan variasi waktu sintesis pada 15, 25, 35, 45, 55, 65 dan 75 menit

dengan 3x pengulangan. Hasil sintesis kemudian dikarakterisasi kembali dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-800 nm. Hasil spektrum UV-Vis dengan absorbansi waktu pemanasan paling stabil akan digunakan untuk tahap selanjutnya.

**Tabel 3. 2** Variasi volume bioreduktor pada sintesis nanopartikel emas

Volume Bioreduktor (mL)	HAuCl <sub>4</sub> 0,5 mM (mL)	Volume H <sub>2</sub> O (mL)	Waktu (menit)
0,5	5	4,5	25
0,6	5	4,4	25
0,7	5	4,3	25
0,9	5	4,1	25
1,2	5	3,8	25

### 3.5.5 Karakterisasi Nanopartikel Emas (AuNPs)

#### 3.5.5.1 Karakterisasi Nanopartikel Emas (AuNPs) dengan Spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi AuNPs menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada spektrum (200 – 800 nm) yang bertujuan untuk menentukan terbentuknya nanopartikel emas dengan variasi volume bioreduktor dan waktu pemanasan serta kestabilannya. Karakterisasi ini dilakukan dengan cara mencari  $\lambda_{maks}$  pada masing-masing sampel. Setelah itu, dilakukan pengamatan pengaruh lama kontak daun Katuk terhadap nilai absorbansi pada hari ke-0; 2; 4; 7; 9; 14 dan 21 untuk mengetahui waktu kestabilan AuNPs hasil sintesis. Waktu kestabilan yang berbeda akan menghasilkan puncak-puncak spektra beragam yang menyatakan perbedaan ukuran partikel yang dihasilkan.

### **3.5.5 Analisis Data**

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi dengan spektroskopi UV-Vis dari sintesis AuNPs dengan bioreduktor ekstrak daun Katuk menggunakan ultrasonik berupa deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Pengamatan pada spektrum spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk menentukan  $\lambda_{\text{maks}}$  dan absorbansi pada masing-masing sampel.

#### **3.5.5.1 Analisis Data Spektrofotometer UV-Vis**

Nilai absorbansi dan panjang gelombang yang diperoleh diolah menggunakan *Microsoft Office Excel* untuk menentukan nilai absorbansi optimum dan mengetahui hubungan antara volume bioreduktor dan waktu pemanasan dengan nilai absorbansi.

#### **3.5.5.3 Hubungan Waktu Kestabilan Daun Katuk Terhadap Nilai Absorbansi**

Waktu kestabilan daun Katuk dan nilai absorbansi yang diperoleh, kemudian digunakan untuk analisis secara kualitatif dalam menentukan kestabilan AuNPs.

#### **3.4.5.3 Uji Statistika Menggunakan *Software* SPSS**

Tahap selanjutnya dilakukan uji statistik dari data absorbansi dengan variasi volume bioreduktor dan waktu pemanasan dengan *software* SPSS menggunakan *One Way Anova-Test of Homogeneity of Variance* (Uji F) untuk mengetahui pengaruh pada variasi (volume bioreduktor atau waktu pemanasan) terhadap nilai absorbansi dari hasil sintesis AuNPs.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan dan Penentuan $\lambda_{\max}$ Larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,5 mM

Pembuatan larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,5 mM digunakan logam mulia emas sebanyak 0,0493 gram yang telah dilarutkan dalam 4 mL aquaregia. Aquaregia dibuat dengan mencampurkan HCl : HNO<sub>3</sub> (3 : 1). Pembuatan larutan HAuCl<sub>4</sub> terjadi reaksi redoks dimana ion Au yang tidak bermuatan (Au<sup>0</sup>) teroksidasi menjadi Au trivalent (Au<sup>3+</sup>) dan terbentuk anion tetrakloroaurat (III). Persamaan reaksinya sebagai berikut (Amirrudin dan Taufikurrohmah, 2013):



Reaksi tersebut dihasilkan gas NO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> sehingga dibutuhkan pemanasan untuk menghilangkan gas tersebut. Setelah dilakukan pemanasan dengan *hot plate* sampai terlihat letupan-letupan yang berupa gas H<sub>2</sub> dan gas berwarna coklat yang merupakan gas NO<sub>2</sub>. Proses pelarutan akan terus berlanjut dan dibiarkan terbuka dalam lemari asam sampai seluruh padatan emas larut menjadi larutan yang berwarna kuning jernih, lalu larutan tersebut didinginkan. Pemanasan ini dilakukan dengan tujuan agar sisa-sisa asam dari aquaregia yang mungkin ada pada larutan dapat menguap seluruhnya dan ditandai dengan tidak terbentuknya gas NO<sub>2</sub> yang merupakan hasil samping reaksi tersebut. Tahap berikutnya diencerkan larutan HAuCl<sub>4</sub> dengan akuademin sebanyak 500 mL. Didapat larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,05 mM sebanyak 500 mL dengan panjang gelombang sebesar 315,0 nm. Dimana Panjang gelombang tersebut merupakan panjang gelombang awal ketika belum dilakukan penambahan bioreduktor. Pengukuran panjang gelombang awal dilakukan untuk

melihat adanya pergeseran panjang gelombang ketika sebelum dilakukan penambahan bioreduktor dan setelah dilakukan penambahan bioreduktor sehingga dapat dinyatakan bahwa telah terjadi pembentukan nanopartikel emas setelah menggunakan bioreduktor ekstrak daun Katuk.

## **4.2 Identifikasi Senyawa Aktif Daun Katuk dengan Fitokimia**

### **4.2.1 Flavonoid**

Uji golongan senyawa flavonoid dilakukan untuk mengetahui keberadaan senyawa flavonoid dalam ekstrak daun Katuk. Uji flavonoid dilakukan dengan mengambil sedikit ekstrak daun Katuk dan ditambah dengan metanol panas 50% kemudian ditambahkan serbuk Mg serta HCl pekat. Penambahan HCl pekat bertujuan untuk menghidrolisis O-glikosil. Glikosil akan tergantikan oleh H<sup>+</sup> dari asam karena sifatnya yang elektrolit. Reduksi dengan Mg dan HCl pekat dapat menghasilkan senyawa kompleks yang berwarna merah atau jingga (Ikalinus, dkk., 2015). Hasil dari uji golongan senyawa flavonoid menunjukkan bahwa pada ekstrak daun Katuk positif mengandung senyawa flavonoid, yang dimana senyawa flavonoid bertindak sebagai pereduksi yang mampu mereduksi Au<sup>3+</sup> menjadi Au<sup>0</sup>. Hasil uji flavonoid ditunjukkan pada Gambar 4.1:



**Gambar 4.1** Hasil uji flavonoid

#### 4.2.2 Alkaloid

Uji golongan senyawa alkaloid ekstrak daun Katuk dilakukan dengan menambahkan HCl terlebih dahulu karena alkaloid bersifat basa sehingga diekstrak dengan pelarut yang mengandung asam (Marliana, dkk., 2005). Tujuan ditambahkan HCl untuk meningkatkan kelarutan alkaloid karena senyawa alkaloid akan bereaksi dengan asam klorida sehingga akan membentuk garam yang mudah larut dalam air (Harborne, 1987). Uji golongan senyawa alkaloid dilakukan menggunakan reagen Dragondroff dan reagen Meyer, dimana terdapat endapan yang menunjukkan hasil positif ekstrak mengandung senyawa alkaloid. Hasil positif pereaksi Dragondroff yang bereaksi dengan alkaloid akan membentuk endapan berwarna jingga sedangkan pereaksi Meyer akan membentuk endapan berwarna putih kekuningan.

Uji Dragendroff dilakukan dengan membuat reagen Dragendroff yang terbuat dari bismuth nitrat bereaksi dengan kalium iodide membentuk endapan bismut (III) iodida yang selanjutnya terlarut dalam iodida berlebih membentuk kalium tetraiodobismutat. Reaksi antara alkaloid dan reagen Dragendroff akan terjadi pergantian ligan dimana nitrogen yang mempunyai pasangan electron bebas pada alkaloid membentuk ikatan kovalen koordinat dengan ion  $K^+$  dari kalium tetraiodobismutat menghasilkan kompleks kalium-alkaloid yang mengendap (Haryati, dkk., 2015). Hasil dari uji golongan senyawa alkaloid menunjukkan bahwa pada ekstrak daun Katuk positif mengandung senyawa alkaloid, yang dimana senyawa alkaloid bertindak sebagai pereduksi yang mampu mereduksi  $Au^{3+}$  menjadi  $Au^0$ . Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini ekstrak menunjukkan hasil

positif mengandung alkaloid yang ditandai dengan terbentuknya endapan berwarna jingga yang ditunjukkan pada gambar 4.2:



**Gambar 4.2** Hasil uji alkaloid dengan reagen Dragendroff

Uji Meyer dilakukan dengan membuat reagen Meyer yang terbuat dari larutan merkuriem (II) klorida ditambah dengan kalium iodida yang akan bereaksi membentuk endapan merah merkuriem (II) iodida, apabila kalium iodida ditambahkan berlebih maka terbentuk kalium tetraiodomerkurat (III). Pada uji alkaloid dengan pereaksi Meyer, nitrogen pada alkaloid diperkirakan akan bereaksi dengan ion logam  $K^+$  dari kalium tetraiodomerkurat (III) dan membentuk kompleks kalium-alkaloid yang mengendap (Marliana, dkk., 2005). Hasil yang diperoleh dari penelitian ini ekstrak menunjukkan hasil positif mengandung alkaloid yang ditandai dengan terbentuknya endapan berwarna putih kekuningan yang ditunjukkan pada gambar 4.3:



**Gambar 4.3** Hasil uji alkaloid dengan reagen Meyer

### 4.2.3 Terpenoid

Identifikasi senyawa terpenoid ekstrak daun Katuk dilakukan dengan melarutkan ekstrak dalam kloroform dan ditambahkan reagen Liebermann-Burchard yang terdiri dari asetat anhidrat dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat. Sampel dinyatakan positif apabila setelah ditambah larutan asetat anhidrat dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat terbentuk cincin kecoklatan menunjukkan adanya senyawa terpenoid membentuk warna oleh  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada pelarut asetat anhidrat (Ergina, dkk., 2014). Berdasarkan dari uji golongan senyawa terpenoid menunjukkan bahwa pada ekstrak daun Katuk positif mengandung senyawa terpenoid, yang dimana senyawa terpenoid bertindak sebagai pereduksi yang mampu mereduksi  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$ . Hasil uji senyawa terpenoid ekstrak daun Katuk menunjukkan hasil positif mengandung terpenoid yang ditandai dengan terbentuknya cincin kecoklatan setelah ditambahkan dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat pada perbatasan dua larutan yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Perubahan warna terjadi disebabkan adanya reaksi oksidasi golongan senyawa triterpenoid yang menghasilkan gugus kromofor melalui pembentukan ikatan rangkap terkonjugasi. Hal ini disebabkan adanya reaksi kondensasi atau pelepasan  $\text{H}_2\text{O}$  dan penggabungan karobokation.



**Gambar 4.4** Hasil uji alkaloid dengan reagen Meyer

#### 4.2.4 Tanin

Identifikasi senyawa tanin pada ekstrak daun Katuk dilakukan dengan menambah reagen  $\text{FeCl}_3$  1%. Penambahan reagen  $\text{FeCl}_3$  1% digunakan untuk menentukan adanya gugus fenol dalam ekstrak karena tannin merupakan senyawa polifenol. Hasil positif adanya gugus fenol ditunjukkan dengan warna hijau kehitaman atau biru tua. Adanya warna hijau kehitaman atau biru tua pada ekstrak setelah ditambahkan  $\text{FeCl}_3$  karena terbentuknya kompleks antara tanin dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Terbentuknya senyawa kompleks antara tanin dan  $\text{FeCl}_3$  disebabkan adanya  $\text{Fe}^{3+}$  sebagai atom pusat dan tanin memiliki atom O yang mempunyai pasangan electron bebas yang bias mengkoordinasikan ke atom pusat sebagai ligannya (Ergina, dkk., 2014). Berdasarkan dari uji golongan senyawa terpenoid menunjukkan bahwa pada ekstrak daun Katuk positif mengandung senyawa tanin, yang dimana senyawa tanin bertindak sebagai pereduksi yang mampu mereduksi  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$ . Hasil yang diperoleh dari uji senyawa tanin ekstrak daun Katuk menunjukkan hasil positif dengan ditandai terbentuknya warna hujau kehitaman pada ekstrak setelah ditambahkan  $\text{FeCl}_3$  1% yang ditunjukkan pada Gambar 4.5:



**Gambar 4.5** Hasil uji tanin

### 4.3 Sintesis Nanopartikel Emas menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk dengan Bantuan Pemanasan *Hot Plate*

Proses sintesis nanopartikel emas dalam penelitian ini dibuat dengan mencampurkan antara larutan  $\text{HAuCl}_4$  dengan bioreduktor ekstrak daun Katuk sebagai zat pereduksi sekaligus agen penstabil. Senyawa organik dari tumbuhan berfungsi untuk mereduksi ion Au pada larutan  $\text{HAuCl}_4$  dalam bentuk trivalent ( $\text{Au}^{3+}$ ) menjadi unsur Au yang tidak bermuatan ( $\text{Au}^0$ ). Selain keterlibatan agen pereduksi dan penstabil dari daun Katuk terhadap pembentukan nanopartikel emas, dimungkinkan juga terjadi reaksi disproporsionasi pada nanopartikel emas. Persamaan reaksinya sebagai berikut (Babayi, 2004):



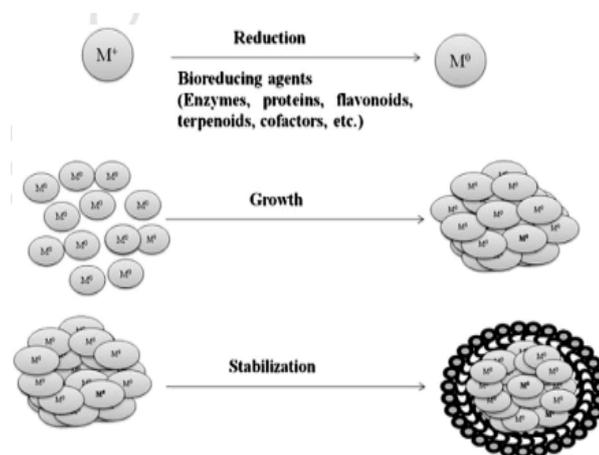
Seiring berjalannya reaksi disproporsionasi, terjadi pula proses pembentukan nanopartikel emas yaitu terbentuknya polimer Au kemudian terhidrolisis sehingga terbentuk inti Au. Namun, apabila proses reduksi terus berlanjut maka akan terbentuk koloid seperti pada skema berikut (Chen, dkk., 2000):



**Gambar 4.6** Tahap pembentukan nanopartikel emas

Proses aglomerasi larutan dapat menghasilkan pembentukan koloid (endapan) yang berhubungan dengan munculnya inti dalam kondisi yang jenuh (Zakir, dkk., 2005).

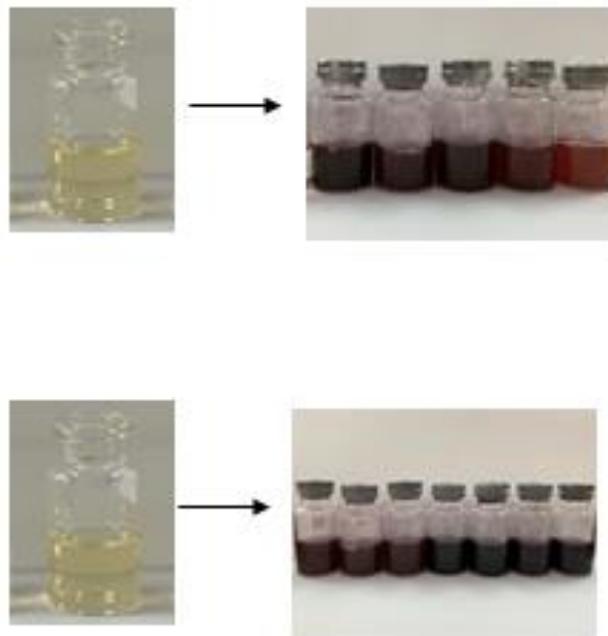
Secara skematik pertumbuhan nanopartikel emas dalam sintesis menggunakan bioreduktor dapat diilustrasikan pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.7** Skema reduksi, pertumbuhan dan pembentukan nanopartikel emas (Kumar, dkk., 2013)

Skema tersebut menunjukkan bahwa sintesis nanopartikel emas dengan ekstrak tumbuhan terdiri dari 3 fase. Fase aktivasi (fase 1), dimana emas dalam larutan  $HAuCl_4$  tereduksi oleh tumbuhan membentuk  $Au^0$ . Dilanjutkan ke fase pertumbuhan (fase 2), fase ini dikenal dengan proses pematangan atau persiapan yang mana nanopartikel kecil secara spontan bergabung membentuk partikel yang lebih besar. Fase terminasi (fase 3) merupakan tahap terakhir, dimana AuNPs *tercapping* sekaligus terbentuk ukuran nanopartikel emas dengan diameter tertentu.

Pembentukan nanopartikel emas pada penelitian ini dibuktikan dengan proses terjadinya perubahan dari larutan berwarna kuning jernih menjadi warna merah anggur saat dilakukan proses pemanasan dengan bantuan *hot plate*. Berikut hasil perubahan warna dari sintesis AuNPs dengan variasi volume bioreduktor dan waktu pemanasan:



**Gambar 4.8** (a) Sintesis AuNPs dengan variasi volume bioreduktor  
(b) Sintesis AuNPs dengan variasi waktu pemanasan

Terbentuknya warna tersebut dikarenakan oleh eksitasi dari permukaan plasmon nanopartikel. Perubahan-perubahan warna yang terjadi selama sintesis menunjukkan pertumbuhan *cluster* yang dihasilkan semakin besar, dimana pada saat atom emas belum saling berinteraksi satu sama lain (larutan tidak berwarna). Dalam jumlah tertentu *cluster* emas memberikan warna merah, saat *cluster* semakin besar dan saat memasuki ukuran nano, emas menjadi warna merah anggur. Atom-atom Au akan saling berinteraksi dengan ikatan logam sesamanya dan menghasilkan cluster dalam jumlah yang sangat besar. Namun, kumpulan atom Au (*cluster*) yang terus-menerus semakin berkembang dapat dikendalikan sehingga ukurannya hanya sampai berdiameter tertentu.

Proses pembentukan nanopartikel emas,  $\text{HAuCl}_4$  merupakan suatu asam lemah yang dalam larutannya membentuk suatu sistem kesetimbangan, sehingga

jumlah ion  $\text{AuCl}_4^-$  yang akan dihasilkan tidak banyak sehingga memungkinkan untuk direduksi menjadi  $\text{Au}^0$ . Ketika berada dalam bentuk ionnya,  $\text{AuCl}_4^-$  akan saling tolak-menolak karena pengaruh muatan sejenis, namun setelah tereduksi menjadi  $\text{Au}^0$  maka muatan atom Au menjadi netral sehingga memungkinkan antar atom Au akan saling berinteraksi satu sama lain melalui ikatan antar logam membentuk *cluster* yang berukuran nano (Amiruddin dan Taufik, 2013). Proses pengendalian nano ini dilakukan dengan memvariasi volume bioreduktor dan waktu pemanasan.

#### **4.4 Sintesis AuNPs dengan Variasi Penambahan Volume Bioreduktor**

##### **Ekstrak Daun Katuk terhadap Karakteristik AuNPs**

Nanopartikel emas (AuNPs) disintesis menggunakan volume bioreduktor yang bervariasi. Tujuan dilakukannya variasi ini untuk mengetahui perbedaan volume bioreduktor dalam mereduksi nanopartikel emas serta untuk mengetahui volume optimum bioreduktor ekstrak daun Katuk pada proses sintesis nanopartikel emas (AuNPs). Tahap ini menggunakan variasi volume 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; dan 1,2 mL pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama pemanasan 25 menit (Amin dkk, 2020). Hasil absorbansi rata-rata, panjang gelombang rata-rata serta warna yang dihasilkan pada variasi penambahan volume ekstrak bioreduktor sebagai berikut:

**Tabel 4. 1** Hasil sintesis nanopartikel emas yang diperoleh dari penambahan variasi volume bioreduktor ekstrak daun Katuk

Volume (mL)	Absorbansi	Standart Deviasi Absorbansi	Panjang Gelombang	Standart Deviasi Panjang Gelombang	Warna yang dihasilkan
0,5	1,071	0,06656	548,3	0,89536	Merah Anggur
0,6	1,593	0,10983	541,9	0,85749	Merah Anggur
0,7	1,464	0,05435	542,7	0,42426	Merah Anggur
0,9	1,323	0,01768	534,6	0,42426	Merah Sedikit Pudar
1,2	1,063	0,03523	538,3	0,94281	Merah Anggur Sangat Pudar

Berdasarkan tabel 4.4 dapat diketahui bahwa terjadi pergeseran dari panjang gelombang 315 nm yang dimana panjang gelombang tersebut merupakan panjang gelombang awal ketika belum dilakukan penambahan bioreduktor ekstrak daun Katuk dan menghasilkan panjang gelombang pada rentang 539 - 547 nm setelah dilakukan penambahan bioreduktor ekstrak daun Katuk.

Berdasarkan penelitian didapatkan perolehan absorbansi tertinggi pada variasi penambahan 0,6 mL bioreduktor yaitu sebesar 1,593 dengan panjang gelombang 541,9 nm dan warna larutan merah anggur. Hal tersebut dimungkinkan saat penambahan 0,6 mL bioreduktor, proses reduksi  $Au^{3+}$  menjadi  $Au^0$  oleh senyawa bioaktif daun Katuk berjalan secara maksimal. Ketika proses reduksi senyawa bioaktif akan mendonorkan electron kepada  $Au^{3+}$  sehingga mengalami

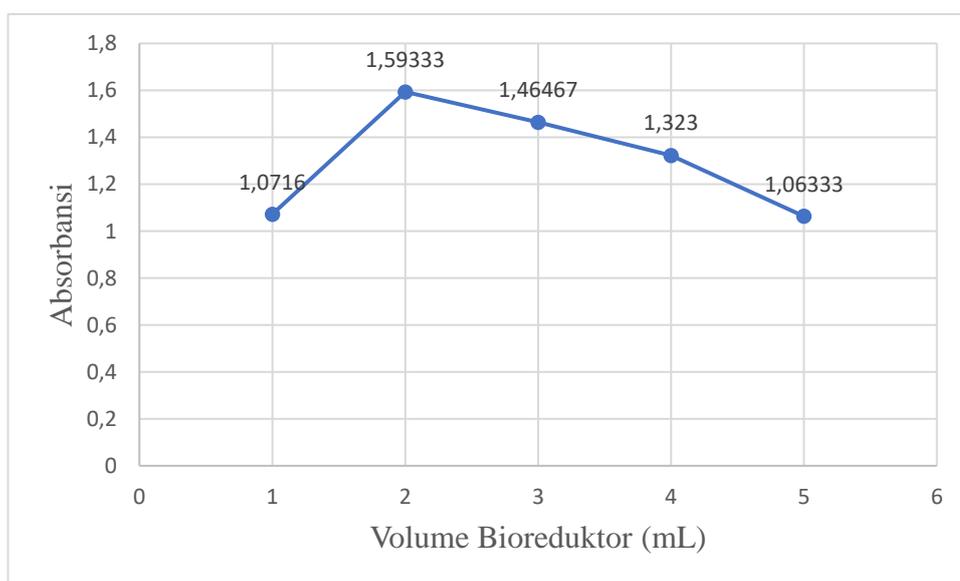
penurunan bilangan oksidasi menjadi  $\text{Au}^0$ , semakin banyak  $\text{Au}^0$  yang dihasilkan mengindikasikan semakin banyaknya nanopartikel yang terbentuk.

Penambahan variasi bioreduktor 0,5 mL menghasilkan absorbansi 1,071 dengan panjang gelombang 548,3 nm dan warna larutan merah anggur. Absorbansi yang dihasilkan lebih kecil dari variasi 0,6 mL. Hal tersebut disebabkan karena pada penambahan 0,5 mL bioreduktor dianggap terlalu sedikit untuk membantu proses reduksi  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$ . Semakin sedikit penambahan bioreduktor maka semakin sedikit pula senyawa bioaktif yang dapat mereduksi  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$  sehingga nanopartikel yang terbentuk semakin sedikit.

Penambahan variasi bioreduktor lebih dari 0,6 mL menghasilkan absorbansi yang lebih kecil dengan kepekatan warna larutan yang semakin berkurang. Hal ini kemungkinan disebabkan jumlah ekstrak yang ditambahkan terlalu banyak sehingga senyawa bioaktif yang membantu proses reduksi  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$  semakin banyak. Senyawa bioaktif yang terlalu banyak kemungkinan dapat mengganggu proses reduksi  $\text{Au}^{3+}$  sehingga nanopartikel yang dihasilkan menurun.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak volume bioreduktor yang ditambahkan, semakin berkurang nilai panjang gelombang yang dihasilkan, semakin pudar warna larutan yang dihasilkan, serta semakin kecil rata-rata ukuran AuNPs, hal ini disebabkan karena semakin banyak penambahan volume bioreduktor ekstrak daun Katuk yang ditambahkan maka semakin sedikit pula ion  $\text{Au}^{3+}$  yang tereduksi menjadi  $\text{Au}^0$ . Hal ini dimungkinkan karena bioreduktor ekstrak daun Katuk yang dihasilkan terlalu pekat. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu berbentuk koloid, dikarenakan panjang gelombang yang diperoleh berada

pada rentang antara 539 – 547 nm. Menurut *Sigma Aldrich* (2022), nanopartikel emas berukuran 50-80 nm jika dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis memiliki panjang gelombang berkisar antara 535-553 nm. Dari hasil variasi penambahan volume bioreduktor ekstrak daun Katuk diperoleh grafik hubungan absorbansi rata-rata dengan volume bioreduktor ditunjukkan pada Gambar 4.8 sebagai berikut:



**Gambar 4.9** Grafik hubungan variasi volume bioreduktor dengan absorbansi

Grafik hubungan absorbansi rata-rata dengan volume bioreduktor ditunjukkan pada **gambar 4.8**. Nilai absorbansi pada volume 1,2 mL paling rendah yaitu 1,063. Volume 0,6 dan 0,7 mL tidak berbeda nyata namun menghasilkan absorbansi yang tertinggi yaitu 1,593 dan 1,464. Namun pada volume bioreduktor 0,9 dan 1,2 mL absorbansi yang dihasilkan menurun yaitu 1,323 dan 1,063. Pengaruh variasi volume bioreduktor dapat dibuktikan dengan Analisa secara statistik. Data yang diperoleh diuji dengan *one-way anova* pada taraf signifikan 95% (sign. < 0,05) sebagai berikut:

**Tabel 4.2** Hasil uji One Way Anova pengaruh variasi volume bioreduktor terhadap pembentukan nanopartikel emas

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.665	4	.166	32.236	.000
Within Groups	.052	10	.005		
Total	.717	14			

Berdasarkan hasil Tabel 4.1 diperoleh nilai signifikan kurang dari 0,05 yang dimana artinya ada pengaruh yang signifikan antara variasi volume bioreduktor terhadap pembentukan nanopartikel emas. Penelitian ini menunjukkan volume bioreduktor yang berpengaruh optimum terhadap pembentukan nanopartikel emas sebesar 0,6 mL dengan menghasilkan nilai absorbansi tertinggi yaitu 1,593 tidak berbeda nyata dengan volume 0,7 mL tetapi berbeda nyata dengan volume 0,5; 0,9; dan 1,2 mL. Hal ini dapat diketahui dengan meningkatnya absorbansi saat bertambahnya volume bioreduktor hingga 0,6 mL. menunjukkan pada volume 0,6-0,7 mL tidak ada pengaruh yang berbeda nyata walaupun absorbansi yang dihasilkan berbeda dengan volume optimum (0,6 mL). Data tersebut didukung pula pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Hasil uji Tukey HSD pengaruh variasi volume bioreduktor terhadap pembentukan nanopartikel emas

		Subset for alpha = 0.05			
	Volume	N	1	2	3
Tukey HSD <sup>a</sup>	1.2 ml	3	1.06333		
	0.5 ml	3	1.07167		
	0.9 ml	3		1.32300	
	0.7 ml	3		1.46467	1.46467
	0.6 ml	3			1.59333
	Sig.			1.000	.188

Semakin optimum volume bioreduktor maka ekstrak yang berfungsi untuk mereduksi Au semakin banyak. Dimungkinkan AuNPs yang terbentuk semakin banyak pula. Hal ini dikarenakan bioreduktor ekstrak daun Katuk yang berperan sebagai *capping agent* disekitar Au masih berjalan optimum. *Capping agent* berfungsi untuk menjaga kestabilan nanopartikel agar tidak mengalami aglomerasi. Kesimpulan dari variasi volume bioreduktor pada penelitian ini adalah volume optimum dengan absorbansi paling tinggi yakni volume bioreduktor 0,6 mL dan warna larutan yang dihasilkan berwarna merah anggur.

#### 4.5 Sintesis AuNPs dengan Variasi Waktu Pemanasan terhadap Karakteristik AuNPs

Nanopartikel emas (AuNPs) disintesis menggunakan waktu pemanasan yang berbeda-beda. Tujuan dilakuan variasi ini agar proses pembentukan AuNPs dapat dicapai secara maksimal pada waktu pemanasan yang optimum. Waktu

pemanasan erat kaitannya dengan ukuran nanopartikel yang dihasilkan, dimana semakin lama waktu yang diberikan maka AuNPs yang terbentuk akan semakin baik. Hal ini dikarenakan semakin banyak  $\text{Au}^{3+}$  yang tereduksi seiring dengan lama waktu yang diberikan. Namun, waktu pemanasan mempunyai titik optimum dan apabila pemanasan diteruskan melebihi titik optimum maka terjadi pertumbuhan ukuran partikel (*cluster*) terus berkembang sehingga bentuk *nanogold* yang awalnya berupa kolid berubah menjadi suspensi yang menghasilkan endapan emas berupa gumpalan-gumpalan berwarna ungu kecoklatan dan ukuran partikel emas menjadi besar (*bulk*). Hal ini disebabkan oleh sifat dari nanopartikel yang cenderung untuk beragregasi satu sama lain karena adanya gaya antarpartikel yang kuat sehingga partikel-partikel tersebut akan mendekat dan berkumpul membentuk *cluster* yang lebih besar seiring berjalannya waktu (Tamam dan Hidajati, 2014).

Ekstrak daun Katuk dengan volume optimum 0,6 mL disintesis dengan larutan  $\text{HAuCl}_4$  0,5 mM. Pada tahap variasi sebelumnya menggunakan waktu selama 25 menit, kemudian dilakukan variasi waktu pemanasan selama 15; 25; 35; 45; 55; 65 dan 75 menit dengan suhu  $60^\circ\text{C}$ . Kemudian dilakukan karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-800 nm. Berdasarkan teori SPR (*surface plasmon resonance*) bahwa panjang gelombang maksimum memiliki hubungan dengan ukuran nanopartikel dimana semakin besar ukuran nanopartikel maka semakin panjang nilai panjang gelombang yang dihasilkan. Hasil sintesis nanopartikel nanopartikel emas pada tahap kedua ini menghasilkan larutan berwarna merah anggur yang dihasilkan dari waktu 15; 25; 35; 45; 55; 65 dan 75 menit terdapat perbedaan (Gambar 4.3). Hasil absorbansi rata-

rata, panjang gelombang serta warna yang dihasilkan pada variasi waktu pemanasan sintesis nanopartikel emas sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Absorbansi yang diperoleh dari variasi waktu pemanasan sintesis nanopartikel emas.

Waktu Pemanasan (Menit)	Absorbansi	Standart Deviasi Absorbansi	Panjang Gelombang	Standart Deviasi Panjang Gelombang	Warna yang dihasilkan
15	1,065	0,09450	543,3	0,47138	Merah Anggur Pudar
25	1,593	0,09415	541,9	0,85749	Merah Anggur Pudar
35	1,620	0,05957	543,3	3,29983	Merah Anggur Pudar
45	1,858	0,04177	550	2,94397	Merah Anggur
55	1,840	0,03760	541,9	1,59226	Merah Anggur
65	1,816	0,02847	539,6	2,40416	Merah Anggur
75	1,750	0,02701	547,6	3,93064	Merah Anggur

Berdasarkan penelitian didapatkan perolehan absorbansi tertinggi pada variasi waktu pemanasan sintesis pada waktu ke 45 menit yaitu sebesar 1,858 dengan panjang gelombang 550 nm dan warna larutan merah anggur. Hal tersebut dimungkinkan saat waktu pemanasan sintesis ke 45 menit, proses reduksi  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$  oleh senyawa bioaktif daun Katuk berjalan secara maksimal. Ketika proses reduksi senyawa bioaktif akan mendonorkan elektron kepada  $\text{Au}^{3+}$  sehingga

mengalami penurunan bilangan oksidasi menjadi Au<sup>0</sup>, semakin banyak Au<sup>0</sup> yang dihasilkan mengindikasikan semakin banyaknya nanopartikel yang terbentuk.

Waktu pemanasan sintesis ke 15;25 dan 35 menit menghasilkan absorbansi berturut-turut 1,065; 1,593 dan 1,620 dengan panjang gelombang 543,3; 451,9 dan 543,3 nm dan warna larutan merah anggur pudar. Absorbansi yang dihasilkan lebih kecil dari variasi waktu pemanasan ke 45 menit. Hal tersebut disebabkan karena pada waktu pemanasan sintesis ke 15; 25 dan 35 menit dianggap terlalu singkat untuk membantu proses reduksi Au<sup>3+</sup> menjadi Au<sup>0</sup>. Semakin singkat waktu pemanasan sintesis nanopartikel emas maka semakin sedikit pula senyawa bioaktif yang dapat mereduksi Au<sup>3+</sup> menjadi Au<sup>0</sup> sehingga nanopartikel yang terbentuk semakin sedikit. Variasi waktu pemanasan sintesis nanopartikel emas lebih dari 45 menit menghasilkan absorbansi yang lebih kecil karena waktu pemanasan memiliki titik optimum dan apabila pemanasan diteruskan melebihi titik optimum maka terjadi pertumbuhan ukuran partikel (*cluster*) terus berkembang sehingga bentuk nanopartikel emas yang awalnya berupa kolid berubah menjadi suspense yang menghasilkan endapan emas berupa gumpalan-gumpalan berwarna ungu kecoklatan dan ukuran partikel emas menjadi besar (*bulk*).

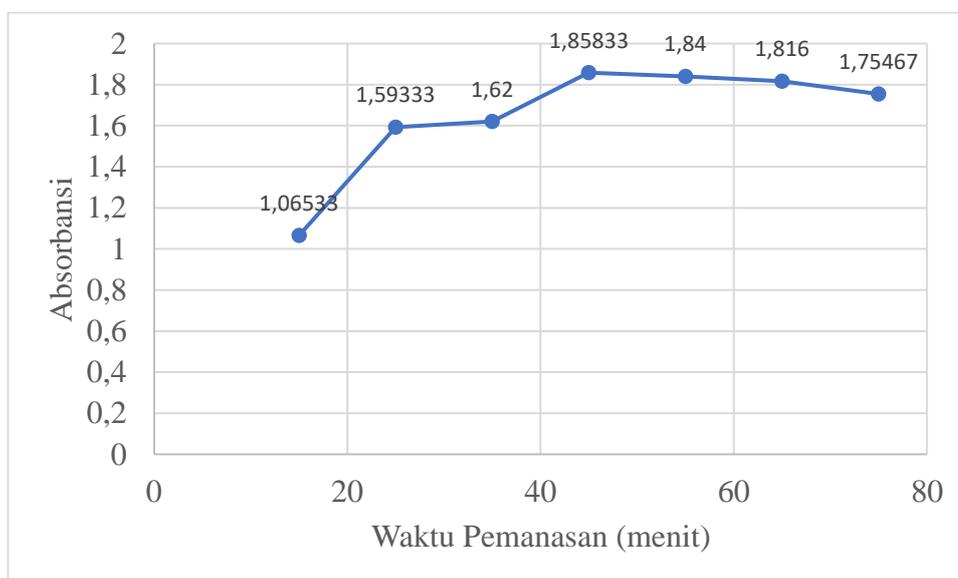
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan yang digunakan untuk melakukan sintesis nanopartikel emas maka, semakin tinggi nilai panjang gelombang yang dihasilkan, hal ini menunjukkan semakin besar pula rata-rata ukuran AuNPs yang dihasilkan, diketahui dari nilai panjang gelombang yang dihasilkan. Berdasarkan *Sigma Aldrich* (2022) semakin tinggi nilai panjang gelombang nanopartikel emas maka semakin besar pula ukuran nanopartikel yang dihasilkan. Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan panjang

gelombang yang diperoleh berhubungan dengan nilai ukuran nanopartikel emas yang dihasilkan, yaitu semakin bertambahnya waktu pemanasan yang dilakukan, maka semakin tinggi nilai panjang gelombang yang diperoleh. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pada pemanasan dengan waktu 15; 25; 35; 45; 55; 65 dan 75 menit panjang gelombang yang diperoleh yaitu 543,3; 541,9; 543,3; 550; 541,9; 539,6; dan 547,6 nm menurut *Sigma Aldrich* (2022) ukuran nanopartikel emas yang dihasilkan memiliki rentang ukuran sebesar 60-80 nm. Namun, pada waktu ke 45 menit menghasilkan absorbansi yang paling tinggi yaitu 1,858 yang artinya pada waktu ke 45 menit konsentrasi yang dihasilkan adalah yang paling tinggi. Hal ini didukung dengan hukum Lambert Beer, yaitu absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day & Underwood, 2002). Hasil yang didapatkan sesuai dengan teori SPR (*surface plasmon resonance*) bahwa panjang gelombang maksimum memiliki hubungan dengan ukuran nanopartikel dimana semakin besar ukuran nanopartikel maka semakin panjang nilai panjang gelombang yang dihasilkan.

Waktu pemanasan erat kaitannya dengan ukuran nanopartikel yang dihasilkan, dimana semakin lama waktu yang diberikan maka AuNPs yang terbentuk akan semakin baik. Hal ini dikarenakan semakin banyak  $\text{Au}^{3+}$  yang tereduksi seiring dengan lama waktu yang diberikan. Namun, waktu pemanasan mempunyai titik optimum dan apabila pemanasan diteruskan melebihi titik optimum maka terjadi pertumbuhan ukuran partikel (*cluster*) terus berkembang sehingga bentuk *nanogold* yang awalnya berupa koloid berubah menjadi suspensi yang menghasilkan endapan emas berupa gumpalan-gumpalan berwarna ungu kecoklatan dan ukuran partikel emas menjadi besar (*bulk*). Hal ini disebabkan oleh

sifat dari nanopartikel yang cenderung untuk beragregasi satu sama lain karena adanya gaya antarpartikel yang kuat sehingga partikel-partikel tersebut akan mendekat dan berkumpul membentuk *cluster* yang lebih besar seiring berjalannya waktu (Tamam dan Hidajati, 2014).

Waktu pemanasan pada 15; 25; dan 35 menit menghasilkan warna merah anggur pudar, artinya nanopartikel emas yang dihasilkan masih sedikit, hal ini karena waktu pemanasan yang digunakan terlalu cepat sehingga proses pemanasan untuk memecah partikel kurang maksimal. Sedangkan waktu pemanasan 45; 55; 65 dan 75 menit dihasilkan warna merah anggur yang hampir sama tetapi pada waktu ke-55 menit telah terdapat endapan-endapan kecil. Data tersebut didukung pada Gambar 4.5 sebagai berikut:



**Gambar 4.10** Grafik hubungan variasi waktu pemanasan dengan absorbansi

Pengaruh variasi waktu pemanasan dapat dibuktikan dengan Analisa secara statistik. Data yang diperoleh diuji dengan *one-way* anova pada taraf signifikan 90% (sign. < 0,05) sebagai berikut:

**Tabel 4.5** Hasil uji One Way Anova pengaruh waktu pemanasan terhadap pembentukan nanopartikel emas

**ANOVA**

Absorbansi

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.392	6	.232	54.859	.000
Within Groups	.059	14	.004		
Total	1.451	20			

Berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh nilai signifikan kurang dari 0,05 yang artinya ada pengaruh yang signifikan antara variasi waktu pemanasan terhadap pembentukan nanopartikel emas. Waktu pemanasan pada penelitian ini yang berpengaruh terhadap pembentukan nanopartikel emas yaitu 45 menit. Hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai absorbansi pada waktu 15-35 menit belum terbentuk AuNPs secara optimum. Namun, semakin bertambahnya waktu pemanasan (55-75 menit) maka AuNPs yang terbentuk kurang stabil dan dapat mengalami aglomerasi, dari yang awalnya berupa kolid berubah menjadi suspense yang menghasilkan endapan emas berupa gumpalan-gumpalan berwarna ungu kecoklatan dan ukuran partikel emas menjadi besar (*bulk*). apabila dilakukan pemanasan lebih dari 45 menit. Sebaliknya, apabila dilakukan pemanasan kurang dari 45 menit maka, proses mereduksi ekstrak daun Katuk pada Au berjalan kurang optimum sehingga nanopartikel emas yang dihasilkan masih sedikit. Hasil tersebut dibuktikan dengan uji BNT yang menunjukkan bahwa pada waktu pemanasan 45-75 menit tidak ada pengaruh yang berbeda nyata walaupun absorbansi yang dihasilkan berbeda dengan absorbansi pada waktu pemanasan 45 menit. Namun,

pada waktu 75 menit mengalami penurunan absorbansi. Data yang diperoleh didukung dengan uji Tukey pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

**Tabel 4.6** Hasil uji Tukey HSD pengaruh variasi pemanasan terhadap pembentukan nanopartikel emas

		Subset for alpha = 0.05				
	Waktu	N	1	2	3	
Tukey HSD <sup>a</sup>	15 menit	3	1.06533			
	25 menit	3		1.59333		
	35 menit	3		1.62000		
	75 menit	3		1.75467	1.75467	
	65 menit	3			1.81600	
	55 menit	3			1.84000	
	45 menit	3			1.85833	
	Sig.			1.000	.096	.481

Absorbansi rata-rata terhadap variasi waktu pemanasan dalam penelitian ini menunjukkan banyaknya nanopartikel yang telah terbentuk. Penelitian ini menunjukkan waktu pemanasan yang berpengaruh optimum terhadap pembentukan nanopartikel emas yaitu 45 menit dengan menghasilkan absorbansi tertinggi yaitu 1,858 yang artinya pada waktu 45 menit ukuran nanopartikel emas yang dihasilkan adalah yang paling tinggi. Hal ini didukung dengan hukum Lambert Beer, yaitu absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day & Underwood, 2002). Pada waktu 45 menit nanopartikel yang dihasilkan lebih banyak dari pada waktu ke 25 dan 35 menit Sedangkan pada waktu pemanasan 55; 65 dan 75 menit absorbansi yang dihasilkan menurun yakni (1,840; 1,816 dan 1,754). Proses

terbentuknya nanopartikel emas jika dilakukan pemanasan secara terus-menerus seperti pada waktu 55; 65 dan 75 menit pertumbuhan *cluster* akan terus berkembang dan tidak terkendali. Maka dapat diketahui bahwa waktu optimum pada pemanasan sintesis AuNPs pada penelitian ini adalah 45 menit. Menurut *Sigma Aldrich* (2022), nanopartikel emas berukuran 50-80 nm jika dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis memiliki panjang gelombang berkisar antara 539-550 nm.

#### **4.6 Kestabilan Nanopartikel Emas**

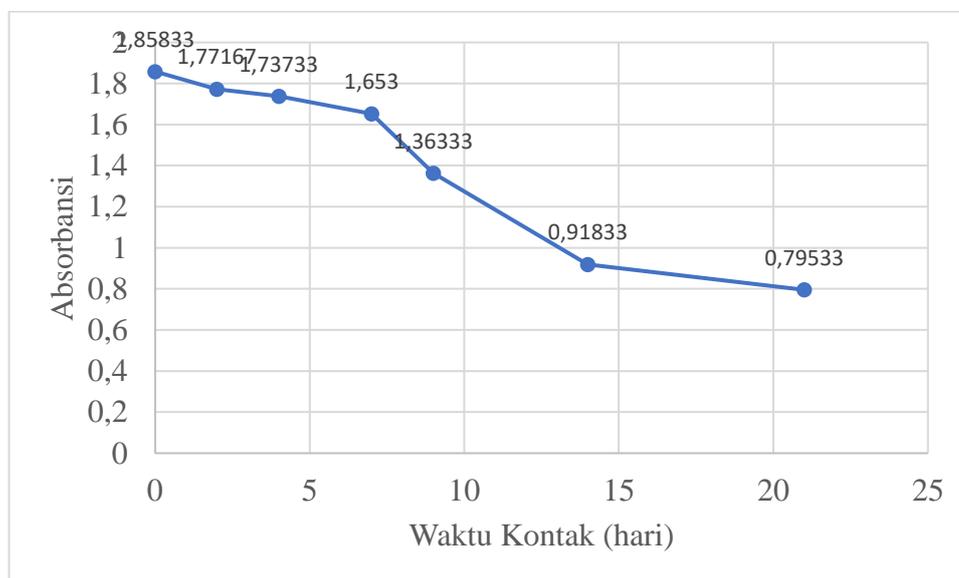
Pengaruh waktu kontak daun Katuk terhadap kestabilan nanopartikel emas dapat diamati melalui terjadinya perubahan puncak serapan. Nanopartikel emas memiliki kecenderungan untuk beragregasi. Hal ini disebabkan karena adanya gaya antarpartikel yang kuat sehingga partikel-partikel tersebut akan mendekat dan berkumpul bersama membentuk *cluster* yang lebih besar seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini dibuktikan dengan pengukuran absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis. Hasil absorbansi rata-rata, panjang gelombang serta warna yang dihasilkan pada pengamatan waktu kestabilan nanopartikel emas sebagai berikut:

**Tabel 4.7** Absorbansi yang diperoleh pengamatan waktu kestabilan nanopartikel emas.

Waktu Kestabilan (Hari)	Absorbansi	Standart Deviasi Absorbansi	Panjang Gelombang	Standart Deviasi Panjang Gelombang	Warna yang dihasilkan
0	1,858	0,04177	549,6	3,2998	Merah Anggur
2	1,771	0,08367	545,6	0,9428	Merah Anggur
4	1,737	0,09269	547,6	1,9328	Merah Anggur
7	1,653	0,08149	546,6	4,0277	Merah Anggur
9	1,363	0,12538	536,6	1,2472	Merah Anggur
14	0,918	0,07838	731,6	44,7536	Merah Anggur Sangat Pudar
21	0,795	0,05338	749,9	10,0499	Ungu Anggur Cenderung Biru

Pengamatan terhadap pembentukan nanopartikel emas diperjelas dengan melihat hubungan antara panjang gelombang terhadap waktu. Waktu penyimpanan dilakukan selama 21 hari (3 Minggu). Bertambahnya waktu kontak nanopartikel emas dengan bioreduktor ekstrak daun Katuk menyebabkan semakin menurunnya nilai panjang gelombang yang dihasilkan dari hari ke-1 hingga hari ke-9 sehingga, ukuran nanopartikel emas juga semakin kecil. Namun, pada hari ke-14 hingga ke-21 mengalami kenaikan nilai panjang gelombang dan absorbansi hal ini

dikarenakan stabilitas nanopartikel emas dengan bilangan oksidasi 0 kurang mampu untuk dipertahankan dan terbentuk adanya endapan.



**Gambar 4.11** Grafik hubungan waktu kontak (kestabilan) dengan absorbansi

Pengamatan terhadap grafik kestabilan nanopartikel emas menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyimpanan (selama 21 hari) sampel nanopartikel emas, maka ada pengaruh penurunan absorbansi. Hal tersebut didukung dengan uji BNT (Lampiran 4) yang menunjukkan tidak adanya pengaruh yang berbeda nyata dari hari ke-0 hingga hari ke-7 namun absorbansi yang dihasilkan semakin menurun. Sedangkan pada hari ke-9 hingga hari ke-21 terdapat pengaruh yang berbeda nyata dan semakin menurun. Hal ini didukung dengan data *one way* anova pada Tabel 4.5:

**Tabel 4.8** Hasil uji *One Way* Anova kestabilan nanopartikel emas

Absorbansi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.337	6	.556	53.467	.000

Within Groups	.146	14	.010		
Total	3.483	20			

Berdasarkan Tabel 4.5 diperoleh bahwa nilai signifikan kurang dari 0,05 yang artinya ada pengaruh terhadap pembentukan dan kestabilan nanopartikel emas selama masa penyimpanan 21 hari (3 Minggu). Hal ini ditandai dengan adanya larutan AuNPs yang mengalami pengendapan selama 21 hari (3 Minggu). Artinya, stabilitas nanopartikel emas dengan bilangan oksidasi 0 kurang mampu untuk dipertahankan. Pada hari ke-0 hingga hari ke-7 tidak ada pengaruh berbeda nyata namun nilai absorbansi yang dihasilkan semakin menurun yakni 1,858; 1,771; 1,737; dan 1,653. Sedangkan pada hari ke-9 terdapat pengaruh yang berbeda nyata dan nilai absorbansi semakin menurun yakni 1,363. Pada hari ke-14 dan hari ke-21 tidak ada pengaruh berbeda nyata akan tetapi nilai absorbansi yang dihasilkan semakin menurun dari sebelumnya yakni 0,918 dan 0,795. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan uji BNT pada tabel 4.6 sebagai berikut:

**Tabel 4.9** Hasil uji Tukey HSD waktu kontak nanopartikel emas

		Subset for alpha = 0.05			
	Waktu_Kontak	N	1	2	3
Tukey HSD <sup>a</sup>	Hari ke-21	3	.79533		
	Hari ke-14	3	.91833		
	Hari ke-9	3		1.36333	
	Hari ke-7	3			1.65300
	Hari ke-4	3			1.73733
	Hari ke-2	3			1.77167

Hari ke-0	3			1.85833
Sig.		.753	1.000	.243

Pada penelitian yang telah dilakukan ini dengan pengujian waktu kontak hingga hari ke-21 dihasilkan warna larutan yang masih tetap berwarna ungu dan terdapat adanya endapan. Namun nilai absorbansi yang dihasilkan dari nanopartikel emas pada hari ke-21 tersebut menunjukkan nilai absorbansinya turun yang artinya nanopartikel mengalami aglomerasi. Hal ini dimungkinkan karena proses reduksi daun Katuk yang terus berlanjut dan membuat ukuran AuNPs menjadi semakin kecil.

#### 4.7 Pemanfaatan Tumbuhan dalam Prespektif Islam

Al-Qur'an yang disebut juga *ayat qauliyah* (tanda-tanda kekuasaan Allah yang tertulis) mengajak manusia untuk merenungkan alam semesta (*tafakkur alam*) sebagai tanda kekuasaan Allah (*ayat kauniyah*). Fazlul, (1996) mengungkapkan bahwa alam semesta beserta segala proses kausalnya merupakan pertanda (*ayat*) atau bukti yang terpenting mengenai Pencipta-Nya. Adanya alam merupakan bukti adanya Tuhan. Tanpa disadari, manusia yang termasuk sebagai *ayat kauniyah* dalam keseharian selalu bersinggungan dengan *ayat kauniyah* yang lain. Salah satu contoh dari unsur alam yang paling tampak dan sering kali terlihat adalah tumbuhan-tumbuhan.

Tumbuhan memiliki peran penting bagi kehidupan manusia. Sebagaimana yang telah diisyaratkan Allah pada manusia dalam Al-Quran untuk memikirkan segala sesuatu yang tumbuh di bumi ini, termasuk daun Katuk. Sebab disetiap

penciptaan-Nya pasti mengandung hikmah dan tanda kekuasaan-Nya seperti firman Allah dalam QS. Shad (38) 27:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَطْلًا ۖ ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا ۖ فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ

Artinya: “*dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, Maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka*” (QS. Shad:27).

Ayat ini menjelaskan tentang makna memahami ciptaan Allah SWT dan hikmah didalamnya yang menunjukkan keagungan, kekuasaan, keluasan ilmu, pilihan, dan rahmat Allah SWT. Selain itu, menunjukkan tidak adanya ciptaan Allah SWT yang sia-sia. Artinya segala sesuatu yang diciptakan Allah mempunyai hikmah, faedah, dan maslahat serta penuh kebenaran.

Menurut Al Asyqar (2022) ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu yang ada di langit, di bumi dan diantara keduanya dengan maksud dan tujuan tertentu. Salah satu bukti dari ciptaan Allah SWT yang memiliki banyak manfaat yaitu tanaman Katuk. Tanaman katuk dapat dimanfaatkan dalam beberapa bidang, terutama dalam bidang kesehatan dalam pembuatan nanopartikel emas.

Proses untuk mensintesis emas digunakan metode *green synthesis* seperti mencampurkan ekstrak daun Katuk dengan larutan H<sub>Au</sub>Cl<sub>4</sub> menggunakan komposisi tertentu. Dibantu pula dengan proses pemanasan menggunakan *hot plate* untuk menghasilkan pembentukan nano yang stabil dalam beberapa hari. Berdasarkan hasil penelitian ini, produk hasil sintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun Katuk dapat menghasilkan nanopartikel. Sehingga, kedepannya

diharapkan dapat diteliti lebih lanjut untuk uji antikanker. Hal ini agar dapat diaplikasikan dalam bidang pengobatan sesuai anjuran Rasulullah melalui sabdanya:

مَا أَنْزَلَ اللَّهُ دَاءً إِلَّا أَنْزَلَ لَهُ شِفَاءً

Artinya: “*Tidaklah Allah menurunkan penyakit kecuali Dia juga menurunkan penawarnya*” (H.R Bukhari).

Hadist tersebut menjelaskan bahwa setiap penyakit pasti ada obatnya. Tugas manusia hanyalah mencari obat yang sesuai dengan penyakit tersebut. Apabila telah ditemukan obat yang sesuai maka orang yang menderita penyakit tersebut akan sembuh atas izin Allah AWT. *Wallahu'alam.*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi volume bioreduktor dan waktu pemanasan memiliki pengaruh terhadap karakteristik pembentukan AuNPs. Volume bioreduktor yang terbaik dalam pembentukan AuNPs pada penelitian ini yaitu 0,6 mL waktu pemanasan yang optimum yaitu 45 menit.
2. Hasil identifikasi senyawa aktif ekstrak daun Katuk menunjukkan bahwa ekstrak daun Katuk mengandung flavonoid, alkaloid, dan terpenoid yang dimana pada senyawa tersebut bertindak sebagai agen pereduksi yang mampu mereduksi nanopartikel emas dari  $\text{Au}^{3+}$  menjadi  $\text{Au}^0$ .
3. Nanopartikel emas hasil sintesis dengan bioreduktor ekstrak daun Katuk pada penelitian ini stabil hingga hari ke-7 dan mengalami aglomerasi pada hari ke-9, ke-14 hingga hari ke-21.

#### **5.2 Saran**

1. Pada sintesis AuNPs perlu dilakukan variasi suhu untuk mencapai waktu kestabilan yang panjang pada nanopartikel emas.
2. Perlu dilakukan uji TEM (*Transmission electron microscope*) untuk mengetahui morfologi pembentukan nanopartikel emas.
3. Perlu dilakukan uji lanjut untuk pengaplikasian AuNPs sebagai *drug-delivery*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., dan Khairurrijal. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Teknologi*, 2(1): 1-10.
- Abhimannue, A. P., dan Meno, A. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Sauropus Andrgynous Leaf Extract with Potential Biological Properties. *International Journal of Pharmaceutical Science and Research*, 12(8): 4267-4274.
- Ahmad, T., Irfan, M., Bustam, M. A., dan Bhattacharjee, S. 2016. Effect of Reaction Time on Green Synthesis of Gold Nanoparticles by Using Aqueous Extract of Elaise Guineensis (Oil Palm Leaves). *Procedia Engineering*, 148: 467–472.
- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., dan Ikram, S. 2016. A Review on Plants Extract Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles for Antimicrobial Applications: A Green Expertise. *Journal of Advanced Research*, 7(1): 17-28.
- Aljabali, A. A., Akkam Y., Al-Zoubi, M. S., Al-Batayneh, K. M., Al-Trad, B., Alrob, O. A., Alkilany, A. M., Benamara, M., dan Evans, D. J. 2018. Synthesis of Gold Nanoparticles Using Leaf Extract of *Ziziphus*, *Zizyphus* and their Antimicrobial Activity. *Nanomaterials*, 8(3): 174.
- Amir, S. N. K. M., Nordin, M. F. M., Shameli, K., dan Hamid, M. A. 2021. Gold Nanoparticles from Plant Materials: Green Extraction, Biological Synthesis and Its Beneficials Properties for Cosmeceutical Application. *Journal of Research in Nanoscience and Nanotechnology*, 2(1): 12-29.
- Amiruddin, M. A., dan Taufikurrohmah, T. 2013. Sintesis Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas Menggunakan Matriks Bentonit sebagai Material Peredam Radikal Bebas dalam Kosmetik. *UNESA Journal of Chemistry*, 2(1): 68-75.
- Anastas, P. T., dan Zimmerman, J. B. 2007. *Green Nanotechnology. Why We Need A Green Nano Award and How to Make it Happen*. Washington DC: Woodrow Wilson International Center for School.
- Astuti, Z.H. 2007. *Kebergantungan Ukuran Nanopartikel Terhadap Warna Yang Dipancarkan Pada Proses Deeksitasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Auffan, M., Rose, J., Bottero, J. Y., Lowry, G. V., Wiesner, M. R., dan Jolivet, J. P. 2009. Towards A Definition of Inorganic Nanoparticles from An Enviromental, Health and Safety Perspective. *Nature Nanotechnology*, 4(10): 634-641.

- Az-Zuhaili, W. 1996. *Al-Qur'an al-Karim Bunaituhuu Al-Tasyrii'yyat wa Khashaa-ishuhuu Al-Hadlaariyyat. Penerjemah M. Thohir dalam Al-Qur'an dan Paradima Peradaban*. Yogyakarta: Dinamika.
- Bai, X., Yueying, W., Song, Z., Fengm Y,m Chen, Y., Zhang, D., dan Feng, L. 2020. The Basic Properties of Gold Nanoparticles and Their Applications in Tumor Diagnosis and Treatment. *International Journal of Molecules Sciences*, 21: 2480-2496.
- Balalakshmi,C., Gopinan, K., Govindarajan, M., Lokesh, R., Arumugam, A., Kadaikunna, S., Khaled, J. M., Benelli, G. 2017. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using a Cheap Sphaeranthus Indicus Extrcat: Impact on Planr Cells and The Aquatic Crutacean Artemia nauplii. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*. S1011-1344(17)30731-5.
- Basavegowdam, N., Idhayadhulla, A., dan Lee, Y. R. 2014. Preparation of Au and Ag Nanoparticles Using Artemisia Annuu and Their in Vitro Antibacterial and Tyrosinase Inhibitory, *Material Science and Engineering: C*, 43: 58-64.
- Berardis, B. D., Marchetti, M., Risuglia, A., Letto, F., Fanizza, C., dan Superti, F. 2020. Exposure to Airborne Gold Nanoparticles: A Review of Current Toxicological Data on The Respiratory Tract. *Journal of Nanoparticle Research*, 22: 235-275.
- Bunawan, H., Bunawan, S. N., Baharum, S. N., dan Noor, N. M. 2015. Sauropus androgynous (L.) Merr. Induced Bronchiolitis Obliterans: Form Botanical Studies to Toxicology. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*: 1-8.
- Carter, C. B., Norton, M. G., Carter, C. B., dan Norton, M. G. 2007. Sols, Gels, and Organic Chemistry. *Ceramic Materials*: 400-411.
- Ciambelli, P., La Guardia, G., dan Vitale, L. 2019. Nanotechnology for Green Materials and Process. Catalysis, Green Chemistry and Sustainable Energy. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 179: 97-116.
- Cho, E. J., Holback, H., Liu, K. C., Aboulmagd, S. A., Park J., dan Yeo, Y. 2013. Nanoparticle Characterization: State of The Art, Challenges, and Emerging Technologies. *Molecular Pharmaceutics*, 10(6).
- Cotton, A., dan Wilkinson. G. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Jakarta: UI-Press.
- Das, R. K., Gogoi, N. Babu, P. J., Sharma, P., Mahanta, C., dan Bora, U. 2012. The Synthesis of Gold Nanoparticles Using Amaranthus Spinosus Leaf Extract and Study of Their Optical Properties. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 2: 275-281.
- Datkhile, K. D., Patil, S. R., Durgawale, P. P., Patil, M. N., Hinge, D. D., Jagdale, N. J., Deshmukh, V. N., dan More, A. L. Biogenic Synthesis of Gold

- Nanoparticles Using Argemone Mexicana L. and Their Cytotoxic and Genotoxic effects on Human Colon Cancer Cell Line (HCT-15). *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1): 9.
- Dreaden, E. C., Austin, L. A., Mackey, M. A., dan El-Sayed, M. A. 2012. Size Matters: Gold Nanoparticles in Targeted Cancer Drug Delivery. *Therapeutic Delivery*, 3: 457-478.
- Ealias. A. M., dan Saravanakumar, M. P. 2017. A Review on The Classification, Characterization, Synthesis of Nanoparticles and Their Application *IOP Conference Science: Material Science and Engineering*, 263: 1-16.
- El-Sayed, I. H., Huang, X., Huang, M. A., El-Sayed 2005. Surface Plasmon Resonance Scattering and Absorption of antiEGFR Antibody Conjugated Gold Nanoparticles in Cancer Diagnostics: Applications in Oral Cancer. *Nano letters*, 5: 829-834.
- Elia, P., Zach, R., Hazan, S., Kolusheva, S., Porat, Z., dan Zeiri, Y. 2014. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Plant Extract as Reducing Agents. *International Journal of Nanomedicine*, 9: 4007-4021.
- Fariied, M. Shamel, K., Miyake, M., Hajalilou, A., Zamanian, A., Zakaria, Z., Abouzari-Lotf, E., Hara, H., Ahmad Khairuddin, N. B. B., dan Binti Mad Nordin, M. F. 2016. A Green Approach for The Synhtesis of Silver Nanoparticles Using Ultrasonic Radiation's Times in Sodium Alginate Media: Characterization and Antibacterial Evolution. *Journal of Nanomaterials*: 1-11.
- Farrel, N. P. 1999. *Uses of Inorganic Chemistry in Medicine*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Fatimah, E. N., dan Hidajati, N. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas sebagai Material Pendukung Aktivitas Tabir Surya Turunan Sinamat. *Prosiding Seminar Nasional Kimia UNESA 2012 – ISBN: 978-979-028-550-7*.
- Fikri, F., Purnama, M. T. E. 2020. Pharmacology Phytochemistri Overview on Sauropus androgynous. *Systematic Review Pharmacy*, 11(6): 124-128.
- Gangapuram, B. R., Bandi, R., Alle, M., Dadigala, R., Kotu, G. M., dan Guttena, V. 2018. Microwave Assisted Rapid Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Annona squamosa L Peel Extract for the Efficient Catalytic Reduction of Organic Pollutants. *Journal of Molecular Structure*, 1167: 305–315.
- Gireesh, A. H., Harsha, H., Pramod, dan Kholkute, S. D. 2013. Pharmacognostic and Preliminary Phytochemical Analysis of Sauropus androgynus (L) Merr. Leaf. *International Journal of Drug Development and Research*, 5(1): 321–325.

- Hasany, S.F.I. Ahmed, Rajan J. A. Rehman. 2012. Systematic Review of the preparation Techniques of Iron Oxide Magnetic Nanoparticles. *Nanoscience and Nanotechnology*, 2(6): 148-158.
- Henriquez, L. C., Aguilar, K. A., Alvarez, J. U., Fernandez, L. V., Vasquez, G. M. D. O., dan Baudrit, J. R. V. 2020. Green Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles from Plant Extracts and Their Possible Applications as Antimicrobial Agents in The Agricultural Area. *Nanomaterials*, 10(9): 1763-1787.
- Huang, J., Li, Q., Su, Y., Yang, X., Wang, H., Wang, Y., Shao, W., He, N., Hong, J., dan C. Chen. 2007. Biosynthesis of Silver and Gold Nanoparticles by Novel Sundried *Cinnamomum camphora* Leaf. *Nanotechnology*, 18: 105104.
- Hutchison, J. E. 2008. Greener Nanoscience: A Proactive Approach to Advancing Applications and Reducing Implications of Nanotechnology. *ACS Nanotechnology*, 2: 395-402.
- Iravani, S., H. Korbekandi, S. V., Mirmohammadi, dan Zolfaghari, B. 2013. Synthesis of Silver Nanoparticles: Chemical, Physical and Biological Methods. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 9(6): 385-406.
- Irfan, M., Ahmad, T., Moniruzzaman, M. M., Abdullah, B. B., Bhattacharjee, S. 2016. Ionic Liquid Mediated Biosynthesis of Gold Nanoparticles Using *Elaeis Guineensis* (Oil Palm) Leaves Extract. *4<sup>th</sup> International Conference on Process Engineering and Advanced Materials*, 148: 568-572.
- Jain, A. K. 2011. An Overview of Microwave Assisted Technique: Green Synthesis. *Article WebMed Central*, 225(1): 1-15.
- Jayaseelan, J. C., Ramkumar, R., Rahuman, A. A., dan Perumal, P. 2013. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Seed Aqueous Extract of *Abelmoschus Esculentus* and its Antifungal Activity. *Industrial Crops and Products*, 45: 423-429.
- Jha, A. K., Prasa, K., Prasad, K., dan Kulkami, A. R. 2009. Plant System: Nature's Nanofactory. *Colloids and Surface B: Biointefaces*, 73: 219-223.
- Katsir, I. 2003. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 3*. Bogor: Pustaka Imam asy-Syafi'i.
- Kaykhaii, M., Sasani, M., dan Marghzari, S. 2018. Removal of Dyes from The Enviroment by Adsoprtion Process. *Chemical and Materials Engineering*, 6: 31-35.
- Kalimuthu, K., Cha, B. S., Kim, S., dan Park, K. S. 2020. Eco-Friendly Synthesis and Biomedical Applications of Gold Nanoparticles: A Review. *Microchemical Journal*, 152: 104296

- Keat, C. L., Aziz, A., Eid, A. M., dan Elmarzugi, N. A. 2015. Biosynthesis of Nanoparticles and Silver Nanoparticles. *Bioresources and Bioprocessing*, 2(47): 1-11.
- Kharissova, O. V., Dias, R., Kharisov, B. I., Perz, B. O., dan Perez, V. M. J. 2013. The Greener Synthesis of Nanoparticles. *Trens in Biotechnology*, 31(4): 240-248.
- Kim, M. H., Kim, S., Jang, H. H., Yi, S., Seo, S. H., dan Han, M. S. 2010. A Gold Nanoparticle-based Colometric Sensing Ensemble for The Colometric Detection of Cyanide Ions in Aqueous Solution. *Tetrahedron Letters*, 51(36): 4712-4716.
- Kong, F. Y., Zhang, J. W., Fang, R., Wang, Z. X., Wang, W. J., dan Wang, W. 2017. Unique Roles of Gold Nanoparticles in Drug Delivery, Targeting and Imaging Applications. *Molecules*, 22(9): 1445.
- Konrad, A., Herr, U., Tidecks, R., Kummer, F., dan Samwer K. 2001. Luminescence of Bulk and Nanocrystalline Cubic Yttria. *Journal of Applied Physics*, 90(7): 3516-3523.
- Kristianingrum, dan Susila. 2013. *Handout Spektroskopi Ultraviolet dan Sinar Tampak*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kumar, V. G., Gokavaparu, SD., Rajeswari, A., Dhas, TS., Karthick, V., Kapadia, Z., Shrestha, T., Barathy, IA., Roy, A., dan Shinha, S. 2011. Facile Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Leaf Extract of Antidiabetic Potent *Cassia auriculata*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 87: 159-163.
- Kumar, V., Yadav, S. C., dan Yadav, S. K. 2010. Syzigium cumini Leaf and Extraxt Medited Biosynthesis of Silver Nanoparticles and Their Characterization. *Journal Chemistry Technology and Biotechnology*: 1-9.
- Lee, Y. J., Ahn, E. Y., dan Park, Y. J. 209. Shape Dependent Cytotoxicity and Cellualr Uptake of Gold Nanoparticles Synthesized Using Green Tea Extract, *Nanoscale Research Letter*, 14(1): 1-14.
- Lembang, M. S., Maming, dan Zakir, M. 2014. Sintesis Nanopartikel Emas dengan Metode Reduksi Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia catappa*). *Skripsi*: Universitas Hasanuddin.
- Lestari, A. S., dan Sartika, D. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 11(1): 7-10.
- Liu, D., Qu, W., Chen, W., Zhang, W., Wang, Z., dan Jiang, X. 2010. Highly Sensitive Colometric Detection of Mercury(II) in Aqueous Media by Quaternary Ammonium Group-Capped Gold Nanparticles at Room Temperature. *Journal of American Chemical Society*, 82(23): 9606-9610.

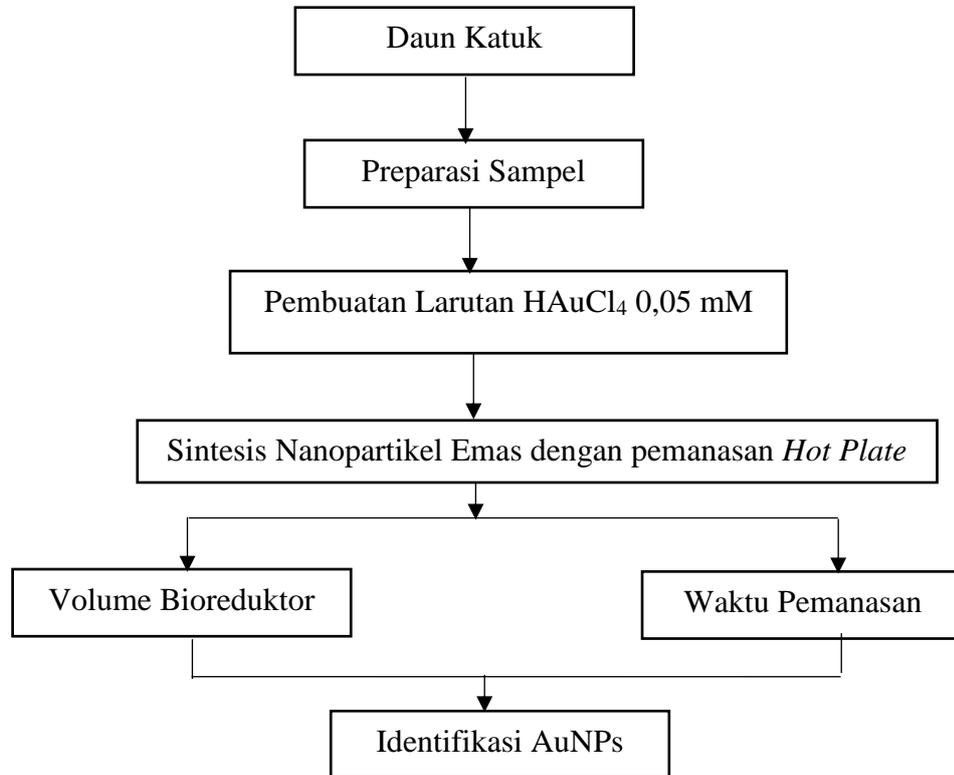
- . Makarov, V. V., Love, A. J., Sinitsyna, O. V., Makarova, S. S., Yaminsky, I. V., Taliansky, M. E., dan Kalinina, N. O. 2014. "Green" Nanotechnologies: Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. *Acta Naturae*, 6(1): 35-44.
- Manjamadha, V. P., dan Muthukumar, K. 2016. Ultrasound Assisted Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Weed Plant. *Bioprocess and Biosystem Engineering*, 39(3): 401-411.
- Mikhailova, E. O. 2021. Gold Nanoparticles: Biosynthesis and Potential of Biomedical Application. *Journal of Functional Biomaterials*, 12(70): 1-31.
- Mittal, A. K., Chisti, Y., dan Benerjee, U. C. 2013. Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Extracts. *Biotechnology Advances*, 31: 346-356.
- Moores, A., dan Goettmann, F. 2006. The Plasmon Band in Noble Metal Nanoparticles: An Introduction to Theory and Applications. *New Journal of Chemistry*, 30: 1121-1132.
- Nadagouda. M. N., Speth, T. F., dan Varma, R. S. 2011. Microwave-Assisted Green Synthesis of Silver Nanostructures. *Accounts of Chemical Research*, 44(7): 469-47.
- Ovais, M., Khalil, A. T., Raza, A., Islam, N. U., Ayaz, M., Saravanan, M., dan Shinwari, Z. K. 2018. Multifunctional Theranostic Applications of Biocompatible Green-synthesized Colloidal Nanoparticles. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(10), 4393–4408.
- Popov, V., Hinkov, I., Diankov, S., Karsheva, M., dan Handzhiyski, Y. 2015. Ultrasound-Assisted Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Incorporation in Antibacterial Cellulose Packaging Green Process. *Green Processing and Synthesis*, 4: 125-131.
- Putri, S. E., Pratiwi, D. E., dan Side, S. 2021. The Efficiency of Microwave Irradiation on Synthesis of Gold Nanoparticles Using Ethanol Extract of White Bol Guava Leaves. *Journal of physics: Conference Series*, 1752(1): 1-5.
- Pratiwi, R. A., dan Nandiyanto, A. B. D. 2022. How to Read and Interpret UV-Vis Spectrophotometric Results in Determining The Structure of Chemical Compounds. *Indonesian Journal of Educational Research and Technology*, 2(1): 1-20.
- Priyanka, dan Choudhary P. 2018. Uses of Transmission Electron Microscope in Microscopy and its Advantages and Disadvantages. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5): 743-747.
- Rónavári, A., Igaz, N., Adamecz, D. I., Szerencsés, B., Molnar, C., Kónya, Z., Kiricsi, M. 2021. Green Silver and Gold Nanoparticles: Biological

Synthesis Approaches and Potentials for Biomedical Applications.  
*Molecules*, 26(4): 844.

## LAMPIRAN

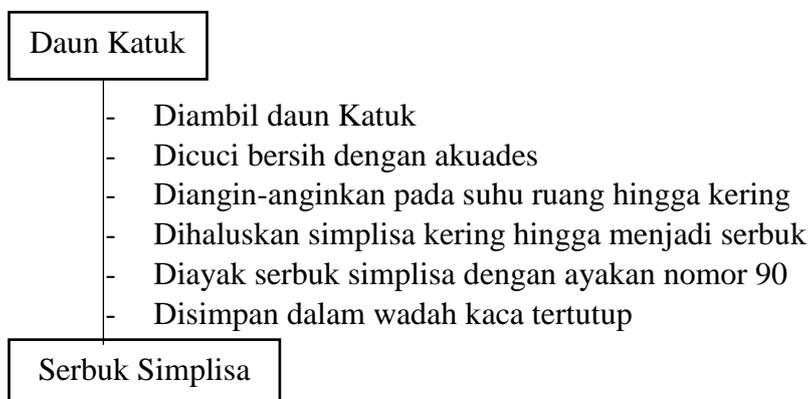
### Lampiran 1. Diagram Alir

#### L.1.1 Rancangan Penelitian

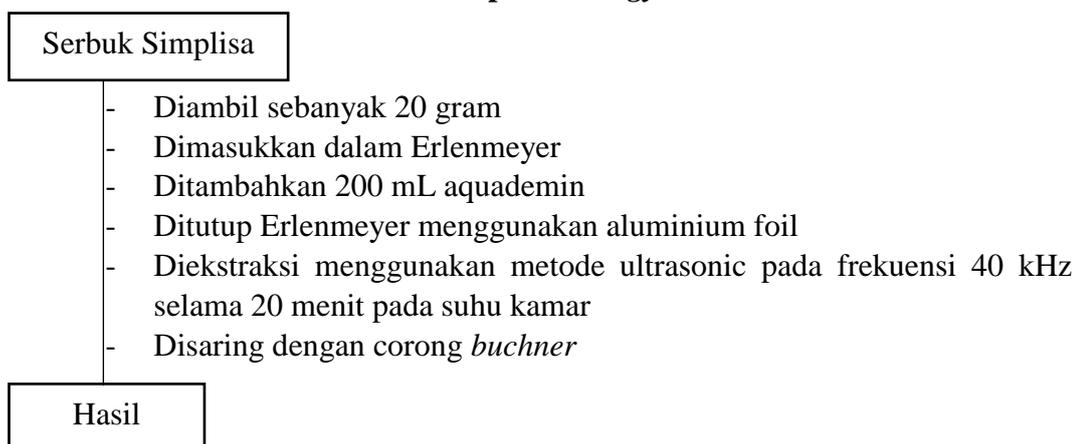


## L.1.2 Skema Kerja

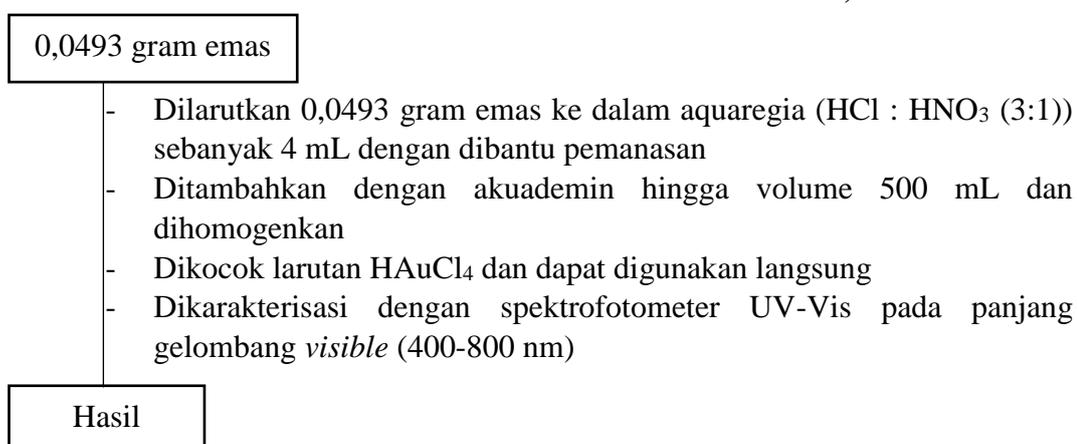
### L.1.2.1 Pemilihan dan Preparasi Sampel Bioreduktor Ekstrak Daun Katuk



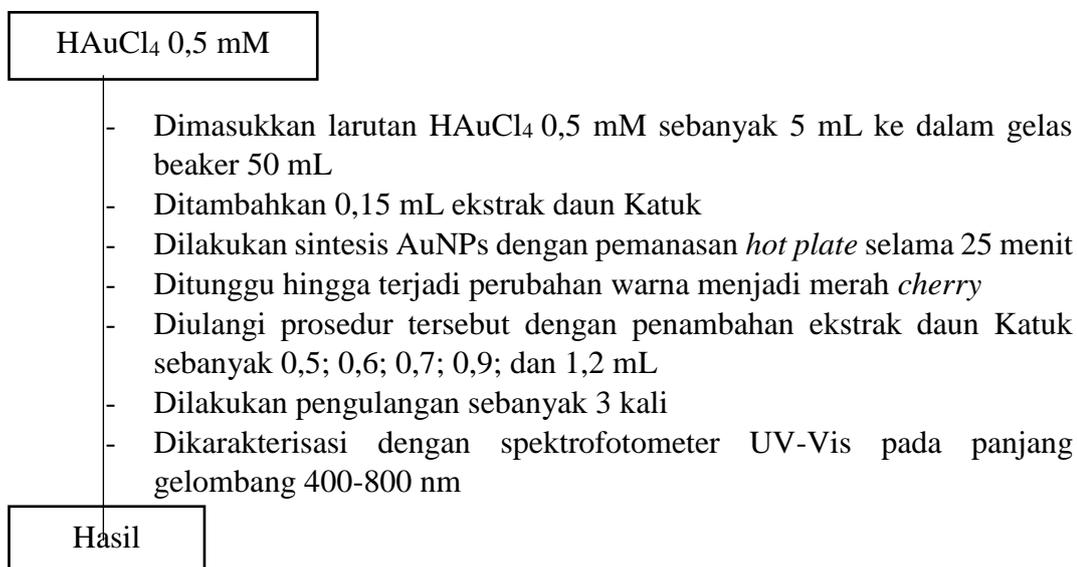
### L.1.2.2 Ekstraksi Ultrasonik *Sauropus Androgynus L. Merr*



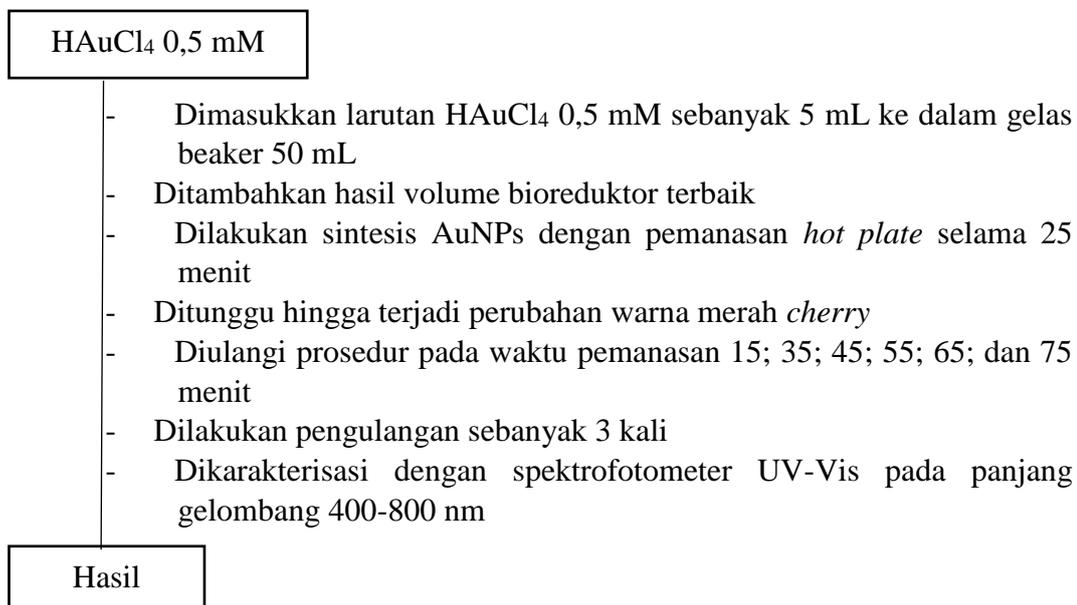
### L.1.2.2 Pembuatan dan Penentuan $\lambda_{\text{maks}}$ Larutan $\text{HAuCl}_4$ 0,5 mM



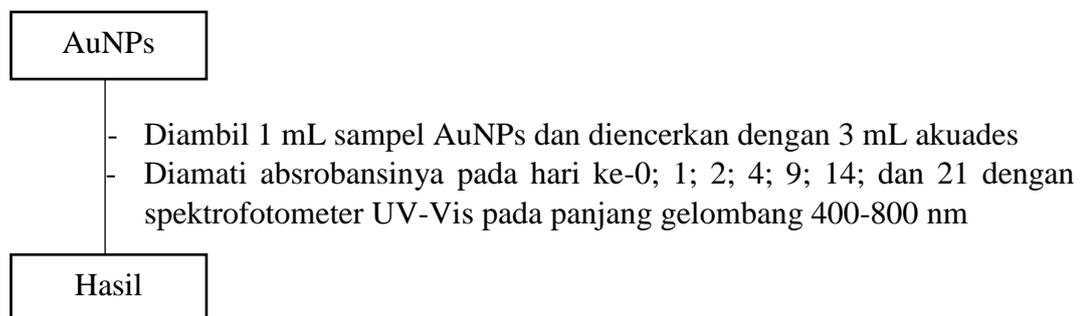
### L.1.2.3 Sintesis Nanopartikel Emas (AuNPs) dengan Variasi Volume Bioreduktor Menggunakan Pemanasan *Hot Plate*



### L.1.2.4 Sintesis Nanopartikel Emas (AuNPs) dengan Variasi Waktu Pemanasan menggunakan Pemanasan *Hot Plate*



### **L.1.2.5 Karakterisasi Nanopartikel Emas (AuNPs) dengan Spektrofotometer UV-Vis terhadap Pengaruh Waktu Kestabilan**



## Lampiran 2. Perhitungan

### L.2.1 Pembuatan Larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,5 mM

a. Mencari massa HAuCl<sub>4</sub>

Mr HAuCl<sub>4</sub> = 339,96 g/mol

$$M = \frac{\text{gram}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{V}$$

$$0,5 \times 10^{-3} \text{ M} = \frac{\text{massa (HAuCl}_4\text{)}}{339,96 \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}}\right)} \times \frac{1000 \text{ (mL)}}{500 \text{ (ml)}}$$

$$0,5 \times 10^{-3} \text{ M} = \frac{\text{massa (HAuCl}_4\text{)}}{339,96 \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}}\right)} \times 2 \text{ mL}$$

$$m \text{ HAuCl}_4 = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ M} \times 339,96 \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}}\right)}{2 \text{ mL}}$$

$$m \text{ HAuCl}_4 = 0,08499 \text{ gram}$$

Mencari massa Au dalam larutan HAuCl<sub>4</sub>

$$m \text{ Au} = \frac{A_r \text{ (Au)}}{M_r \text{ (HAuCl}_4\text{)}} \times m \text{ HAuCl}_4$$

$$= \frac{196,96 \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}}\right)}{339,96 \left(\frac{\text{gram}}{\text{mol}}\right)} \times 0,08499 \text{ gram}$$

$$= 0,5793 \times 0,08499 \text{ gram}$$

$$m \text{ Au} = 0,0493 \text{ gram}$$

Catatan:

Larutan HAuCl<sub>4</sub> 0,5 mM dibuat dengan melarutkan 0,0493 gram emas ke dalam larutan aquaregia (HCl : HNO<sub>3</sub> (3:1)) sebanyak 4 mL yang selanjutnya ditandabatkan dengan akuademin hingga 500 mL

### Lampiran 3. Hasil SPSS ONE WAY ANOVA

#### 1. Volume Bioreduktor

#### Oneway

#### ANOVA

Absorbansi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.665	4	.166	32.236	.000
Within Groups	.052	10	.005		
Total	.717	14			

#### Post Hoc Test

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Absorbansi

	(I) Volume	(J) Volume	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0.5 ml	0.6 ml	-.521667*	.058652	.000	-.71469	-.32864
		0.7 ml	-.393000*	.058652	.000	-.58603	-.19997
		0.9 ml	-.251333*	.058652	.011	-.44436	-.05831
		1.2 ml	.008333	.058652	1.000	-.18469	.20136
	0.6 ml	0.5 ml	.521667*	.058652	.000	.32864	.71469
		0.7 ml	.128667	.058652	.257	-.06436	.32169
		0.9 ml	.270333*	.058652	.007	.07731	.46336
		1.2 ml	.530000*	.058652	.000	.33697	.72303
	0.7 ml	0.5 ml	.393000*	.058652	.000	.19997	.58603
		0.6 ml	-.128667	.058652	.257	-.32169	.06436
		0.9 ml	.141667	.058652	.188	-.05136	.33469

		1.2 ml	.401333*	.058652	.000	.20831	.59436
	0.9 ml	0.5 ml	.251333*	.058652	.011	.05831	.44436
		0.6 ml	-.270333*	.058652	.007	-.46336	-.07731
		0.7 ml	-.141667	.058652	.188	-.33469	.05136
		1.2 ml	.259667*	.058652	.009	.06664	.45269
	1.2 ml	0.5 ml	-.008333	.058652	1.000	-.20136	.18469
		0.6 ml	-.530000*	.058652	.000	-.72303	-.33697
		0.7 ml	-.401333*	.058652	.000	-.59436	-.20831
		0.9 ml	-.259667*	.058652	.009	-.45269	-.06664
LSD	0.5 ml	0.6 ml	-.521667*	.058652	.000	-.65235	-.39098
		0.7 ml	-.393000*	.058652	.000	-.52368	-.26232
		0.9 ml	-.251333*	.058652	.002	-.38202	-.12065
		1.2 ml	.008333	.058652	.890	-.12235	.13902
	0.6 ml	0.5 ml	.521667*	.058652	.000	.39098	.65235
		0.7 ml	.128667	.058652	.053	-.00202	.25935
		0.9 ml	.270333*	.058652	.001	.13965	.40102
		1.2 ml	.530000*	.058652	.000	.39932	.66068
	0.7 ml	0.5 ml	.393000*	.058652	.000	.26232	.52368
		0.6 ml	-.128667	.058652	.053	-.25935	.00202
		0.9 ml	.141667*	.058652	.036	.01098	.27235
		1.2 ml	.401333*	.058652	.000	.27065	.53202
	0.9 ml	0.5 ml	.251333*	.058652	.002	.12065	.38202
		0.6 ml	-.270333*	.058652	.001	-.40102	-.13965
		0.7 ml	-.141667*	.058652	.036	-.27235	-.01098
		1.2 ml	.259667*	.058652	.001	.12898	.39035
	1.2 ml	0.5 ml	-.008333	.058652	.890	-.13902	.12235

	0.6 ml	-.530000*	.058652	.000	-.66068	-.39932
	0.7 ml	-.401333*	.058652	.000	-.53202	-.27065
	0.9 ml	-.259667*	.058652	.001	-.39035	-.12898

2.

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

### Absorbansi

		Subset for alpha = 0.05			
	Volume	N	1	2	3
Tukey HSD <sup>a</sup>	1.2 ml	3	1.06333		
	0.5 ml	3	1.07167		
	0.9 ml	3		1.32300	
	0.7 ml	3		1.46467	1.46467
	0.6 ml	3			1.59333
	Sig.			1.000	.188

3.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

## 2. Waktu Pemanasan

### ANOVA

Absorbansi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.392	6	.232	54.859	.000
Within Groups	.059	14	.004		
Total	1.451	20			

### Post Hoc Test

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Absorbansi

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	15 menit	25 menit	-.528000*	.053095	.000	-.70930	-.34670
		35 menit	-.554667*	.053095	.000	-.73596	-.37337
		45 menit	-.793000*	.053095	.000	-.97430	-.61170
		55 menit	-.774667*	.053095	.000	-.95596	-.59337
		65 menit	-.750667*	.053095	.000	-.93196	-.56937
		75 menit	-.689333*	.053095	.000	-.87063	-.50804
		25 menit	15 menit	.528000*	.053095	.000	.34670
	25 menit	35 menit	-.026667	.053095	.998	-.20796	.15463
		45 menit	-.265000*	.053095	.003	-.44630	-.08370
		55 menit	-.246667*	.053095	.005	-.42796	-.06537
		65 menit	-.222667*	.053095	.012	-.40396	-.04137
		75 menit	-.161333	.053095	.096	-.34263	.01996
	35 menit	15 menit	.554667*	.053095	.000	.37337	.73596

	25 menit	.026667	.053095	.998	-.15463	.20796
	45 menit	-.238333*	.053095	.007	-.41963	-.05704
	55 menit	-.220000*	.053095	.013	-.40130	-.03870
	65 menit	-.196000*	.053095	.030	-.37730	-.01470
	75 menit	-.134667	.053095	.218	-.31596	.04663
45 menit	15 menit	.793000*	.053095	.000	.61170	.97430
	25 menit	.265000*	.053095	.003	.08370	.44630
	35 menit	.238333*	.053095	.007	.05704	.41963
	55 menit	.018333	.053095	1.000	-.16296	.19963
	65 menit	.042333	.053095	.981	-.13896	.22363
	75 menit	.103667	.053095	.481	-.07763	.28496
55 menit	15 menit	.774667*	.053095	.000	.59337	.95596
	25 menit	.246667*	.053095	.005	.06537	.42796
	35 menit	.220000*	.053095	.013	.03870	.40130
	45 menit	-.018333	.053095	1.000	-.19963	.16296
	65 menit	.024000	.053095	.999	-.15730	.20530
	75 menit	.085333	.053095	.681	-.09596	.26663
65 menit	15 menit	.750667*	.053095	.000	.56937	.93196
	25 menit	.222667*	.053095	.012	.04137	.40396
	35 menit	.196000*	.053095	.030	.01470	.37730
	45 menit	-.042333	.053095	.981	-.22363	.13896
	55 menit	-.024000	.053095	.999	-.20530	.15730
	75 menit	.061333	.053095	.900	-.11996	.24263
75 menit	15 menit	.689333*	.053095	.000	.50804	.87063
	25 menit	.161333	.053095	.096	-.01996	.34263
	35 menit	.134667	.053095	.218	-.04663	.31596

		45 menit	-.103667	.053095	.481	-.28496	.07763
		55 menit	-.085333	.053095	.681	-.26663	.09596
		65 menit	-.061333	.053095	.900	-.24263	.11996
LSD	15 menit	25 menit	-.528000*	.053095	.000	-.64188	-.41412
		35 menit	-.554667*	.053095	.000	-.66854	-.44079
		45 menit	-.793000*	.053095	.000	-.90688	-.67912
		55 menit	-.774667*	.053095	.000	-.88854	-.66079
		65 menit	-.750667*	.053095	.000	-.86454	-.63679
		75 menit	-.689333*	.053095	.000	-.80321	-.57546
	25 menit	15 menit	.528000*	.053095	.000	.41412	.64188
		35 menit	-.026667	.053095	.623	-.14054	.08721
		45 menit	-.265000*	.053095	.000	-.37888	-.15112
		55 menit	-.246667*	.053095	.000	-.36054	-.13279
		65 menit	-.222667*	.053095	.001	-.33654	-.10879
		75 menit	-.161333*	.053095	.009	-.27521	-.04746
	35 menit	15 menit	.554667*	.053095	.000	.44079	.66854
		25 menit	.026667	.053095	.623	-.08721	.14054
		45 menit	-.238333*	.053095	.001	-.35221	-.12446
		55 menit	-.220000*	.053095	.001	-.33388	-.10612
		65 menit	-.196000*	.053095	.002	-.30988	-.08212
		75 menit	-.134667*	.053095	.024	-.24854	-.02079
	45 menit	15 menit	.793000*	.053095	.000	.67912	.90688
		25 menit	.265000*	.053095	.000	.15112	.37888
		35 menit	.238333*	.053095	.001	.12446	.35221
		55 menit	.018333	.053095	.735	-.09554	.13221
		65 menit	.042333	.053095	.439	-.07154	.15621

	75 menit	.103667	.053095	.071	-.01021	.21754
55 menit	15 menit	.774667*	.053095	.000	.66079	.88854
	25 menit	.246667*	.053095	.000	.13279	.36054
	35 menit	.220000*	.053095	.001	.10612	.33388
	45 menit	-.018333	.053095	.735	-.13221	.09554
	65 menit	.024000	.053095	.658	-.08988	.13788
	75 menit	.085333	.053095	.130	-.02854	.19921
65 menit	15 menit	.750667*	.053095	.000	.63679	.86454
	25 menit	.222667*	.053095	.001	.10879	.33654
	35 menit	.196000*	.053095	.002	.08212	.30988
	45 menit	-.042333	.053095	.439	-.15621	.07154
	55 menit	-.024000	.053095	.658	-.13788	.08988
	75 menit	.061333	.053095	.267	-.05254	.17521
75 menit	15 menit	.689333*	.053095	.000	.57546	.80321
	25 menit	.161333*	.053095	.009	.04746	.27521
	35 menit	.134667*	.053095	.024	.02079	.24854
	45 menit	-.103667	.053095	.071	-.21754	.01021
	55 menit	-.085333	.053095	.130	-.19921	.02854
	65 menit	-.061333	.053095	.267	-.17521	.05254

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

### Absorbansi

Waktu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD <sup>a</sup> 15 menit	3	1.06533		

25 menit	3		1.59333	
35 menit	3		1.62000	
75 menit	3		1.75467	1.75467
65 menit	3			1.81600
55 menit	3			1.84000
45 menit	3			1.85833
Sig.		1.000	.096	.481

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

### 3. Waktu Kontak (Kestabilan)

#### ANOVA

Absorbansi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.337	6	.556	53.467	.000
Within Groups	.146	14	.010		
Total	3.483	20			

#### Post Hoc Tests

##### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Absorbansi

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Hari ke-0	Hari ke-2	.086667	.083276	.935	-.19769	.37102
		Hari ke-4	.121000	.083276	.766	-.16335	.40535
		Hari ke-7	.205333	.083276	.243	-.07902	.48969
		Hari ke-9	.495000*	.083276	.001	.21065	.77935
		Hari ke-14	.940000*	.083276	.000	.65565	1.22435
		Hari ke-21	1.063000*	.083276	.000	.77865	1.34735
	Hari ke-2	Hari ke-0	-.086667	.083276	.935	-.37102	.19769
		Hari ke-4	.034333	.083276	.999	-.25002	.31869
		Hari ke-7	.118667	.083276	.781	-.16569	.40302
		Hari ke-9	.408333*	.083276	.003	.12398	.69269
		Hari ke-14	.853333*	.083276	.000	.56898	1.13769
		Hari ke-21	.976333*	.083276	.000	.69198	1.26069
	Hari ke-4	Hari ke-0	-.121000	.083276	.766	-.40535	.16335

	Hari ke-2	-.034333	.083276	.999	-.31869	.25002
	Hari ke-7	.084333	.083276	.943	-.20002	.36869
	Hari ke-9	.374000*	.083276	.007	.08965	.65835
	Hari ke-14	.819000*	.083276	.000	.53465	1.10335
	Hari ke-21	.942000*	.083276	.000	.65765	1.22635
Hari ke-7	Hari ke-0	-.205333	.083276	.243	-.48969	.07902
	Hari ke-2	-.118667	.083276	.781	-.40302	.16569
	Hari ke-4	-.084333	.083276	.943	-.36869	.20002
	Hari ke-9	.289667*	.083276	.045	.00531	.57402
	Hari ke-14	.734667*	.083276	.000	.45031	1.01902
	Hari ke-21	.857667*	.083276	.000	.57331	1.14202
Hari ke-9	Hari ke-0	-.495000*	.083276	.001	-.77935	-.21065
	Hari ke-2	-.408333*	.083276	.003	-.69269	-.12398
	Hari ke-4	-.374000*	.083276	.007	-.65835	-.08965
	Hari ke-7	-.289667*	.083276	.045	-.57402	-.00531
	Hari ke-14	.445000*	.083276	.002	.16065	.72935
	Hari ke-21	.568000*	.083276	.000	.28365	.85235
Hari ke-14	Hari ke-0	-.940000*	.083276	.000	-1.22435	-.65565
	Hari ke-2	-.853333*	.083276	.000	-1.13769	-.56898
	Hari ke-4	-.819000*	.083276	.000	-1.10335	-.53465
	Hari ke-7	-.734667*	.083276	.000	-1.01902	-.45031
	Hari ke-9	-.445000*	.083276	.002	-.72935	-.16065
	Hari ke-21	.123000	.083276	.753	-.16135	.40735
Hari ke-21	Hari ke-0	-1.063000*	.083276	.000	-1.34735	-.77865
	Hari ke-2	-.976333*	.083276	.000	-1.26069	-.69198
	Hari ke-4	-.942000*	.083276	.000	-1.22635	-.65765

		Hari ke-7	-.857667*	.083276	.000	-1.14202	-.57331
		Hari ke-9	-.568000*	.083276	.000	-.85235	-.28365
		Hari ke-14	-.123000	.083276	.753	-.40735	.16135
LSD	Hari ke-0	Hari ke-2	.086667	.083276	.316	-.09194	.26528
		Hari ke-4	.121000	.083276	.168	-.05761	.29961
		Hari ke-7	.205333*	.083276	.027	.02672	.38394
		Hari ke-9	.495000*	.083276	.000	.31639	.67361
		Hari ke-14	.940000*	.083276	.000	.76139	1.11861
		Hari ke-21	1.063000*	.083276	.000	.88439	1.24161
	Hari ke-2	Hari ke-0	-.086667	.083276	.316	-.26528	.09194
		Hari ke-4	.034333	.083276	.686	-.14428	.21294
		Hari ke-7	.118667	.083276	.176	-.05994	.29728
		Hari ke-9	.408333*	.083276	.000	.22972	.58694
		Hari ke-14	.853333*	.083276	.000	.67472	1.03194
		Hari ke-21	.976333*	.083276	.000	.79772	1.15494
	Hari ke-4	Hari ke-0	-.121000	.083276	.168	-.29961	.05761
		Hari ke-2	-.034333	.083276	.686	-.21294	.14428
		Hari ke-7	.084333	.083276	.328	-.09428	.26294
		Hari ke-9	.374000*	.083276	.001	.19539	.55261
		Hari ke-14	.819000*	.083276	.000	.64039	.99761
		Hari ke-21	.942000*	.083276	.000	.76339	1.12061
	Hari ke-7	Hari ke-0	-.205333*	.083276	.027	-.38394	-.02672
		Hari ke-2	-.118667	.083276	.176	-.29728	.05994
		Hari ke-4	-.084333	.083276	.328	-.26294	.09428
		Hari ke-9	.289667*	.083276	.004	.11106	.46828
		Hari ke-14	.734667*	.083276	.000	.55606	.91328

	Hari ke-21	.857667*	.083276	.000	.67906	1.03628
Hari ke-9	Hari ke-0	-.495000*	.083276	.000	-.67361	-.31639
	Hari ke-2	-.408333*	.083276	.000	-.58694	-.22972
	Hari ke-4	-.374000*	.083276	.001	-.55261	-.19539
	Hari ke-7	-.289667*	.083276	.004	-.46828	-.11106
	Hari ke-14	.445000*	.083276	.000	.26639	.62361
	Hari ke-21	.568000*	.083276	.000	.38939	.74661
	Hari ke-14	Hari ke-0	-.940000*	.083276	.000	-1.11861
Hari ke-2		-.853333*	.083276	.000	-1.03194	-.67472
Hari ke-4		-.819000*	.083276	.000	-.99761	-.64039
Hari ke-7		-.734667*	.083276	.000	-.91328	-.55606
Hari ke-9		-.445000*	.083276	.000	-.62361	-.26639
Hari ke-21		.123000	.083276	.162	-.05561	.30161
Hari ke-21		Hari ke-0	-1.063000*	.083276	.000	-1.24161
	Hari ke-2	-.976333*	.083276	.000	-1.15494	-.79772
	Hari ke-4	-.942000*	.083276	.000	-1.12061	-.76339
	Hari ke-7	-.857667*	.083276	.000	-1.03628	-.67906
	Hari ke-9	-.568000*	.083276	.000	-.74661	-.38939
	Hari ke-14	-.123000	.083276	.162	-.30161	.05561

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

**Absorbansi**

		Subset for alpha = 0.05			
	Waktu_Kontak	N	1	2	3
Tukey HSD <sup>a</sup>	Hari ke-21	3	.79533		
	Hari ke-14	3	.91833		
	Hari ke-9	3		1.36333	
	Hari ke-7	3			1.65300
	Hari ke-4	3			1.73733
	Hari ke-2	3			1.77167
	Hari ke-0	3			1.85833
	Sig.			.753	1.000

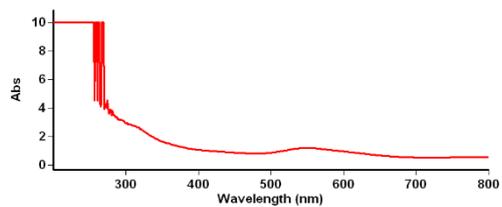
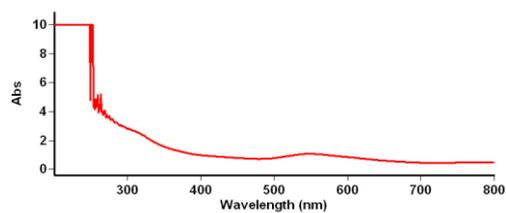
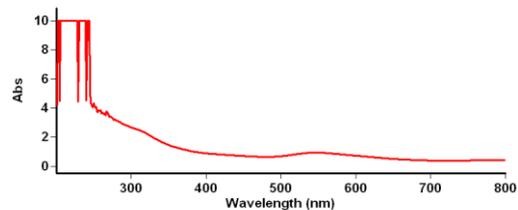
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

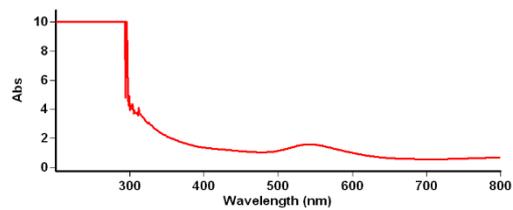
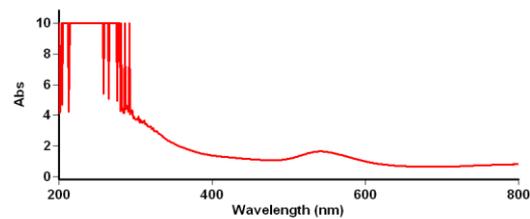
## Lampiran 4. Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis

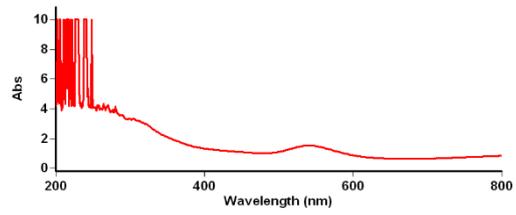
### L.4.1 Variasi Penambahan Volume Bioreduktor

#### 1. Penambahan Volume Bioreduktor 0,5 mL

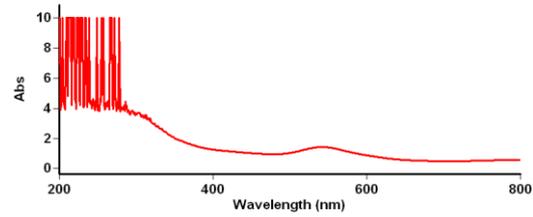
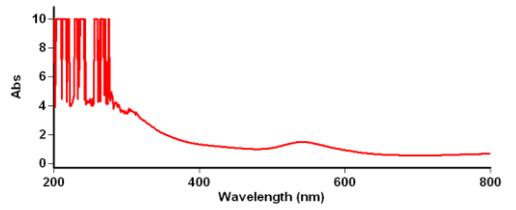
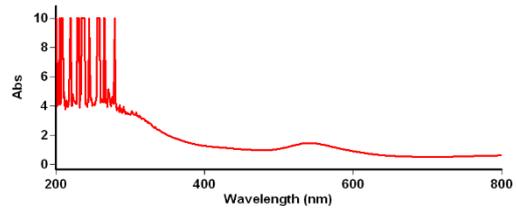


#### 2. Penambahan Volume Bioreduktor 0,6 mL

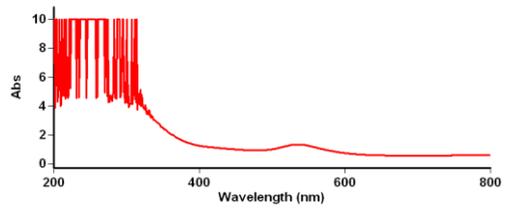


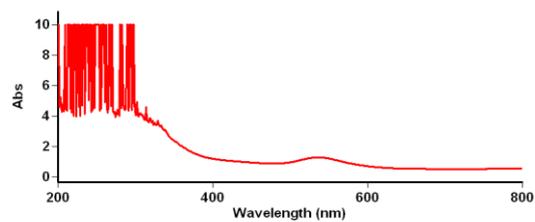
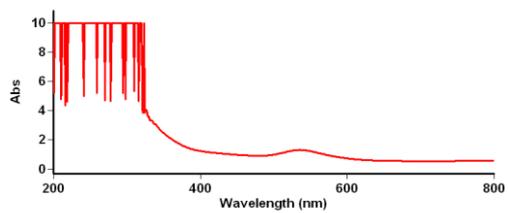


### 3. Penambahan Volume Bioreduktor 0,7 mL

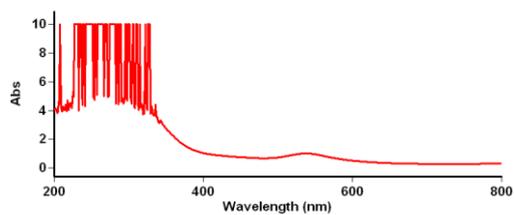
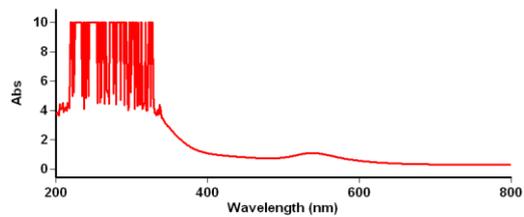
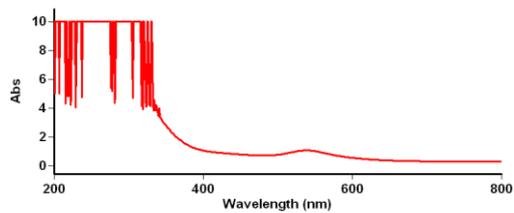


### 4. Penambahan Volume Bioreduktor 0,9 mL



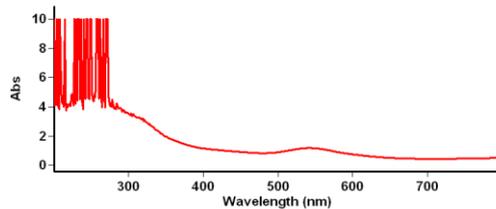
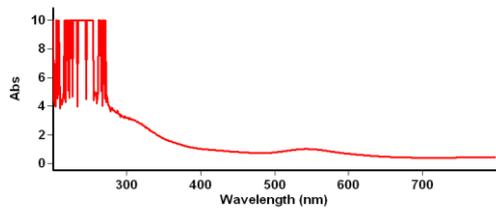
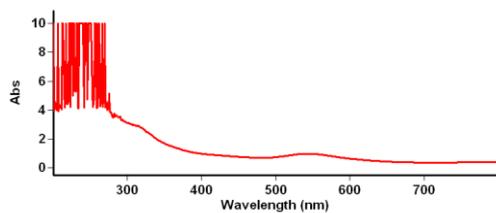


#### 5. Penambahan Volume Bioreduktor 1,2 mL

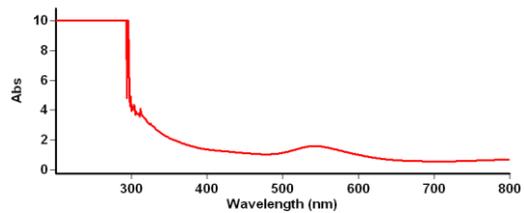
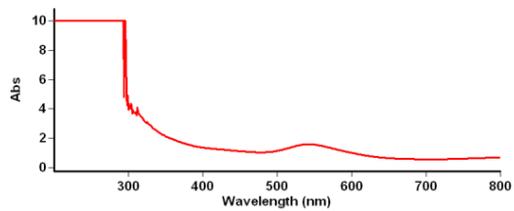
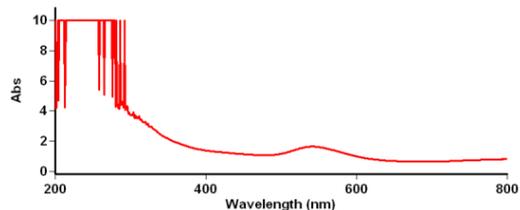


### L.4.2 Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Nanopartikel Emas

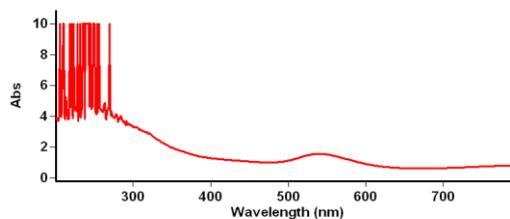
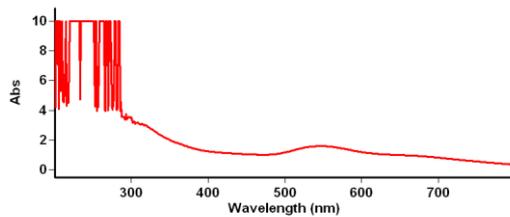
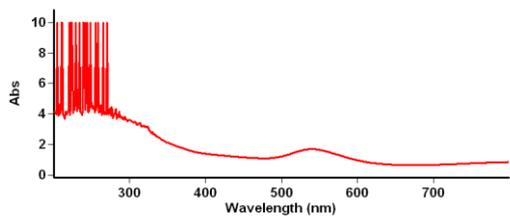
#### 1. Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Nanopartikel Emas 15 Menit



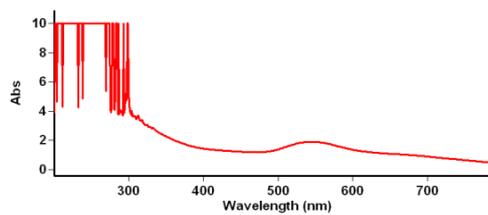
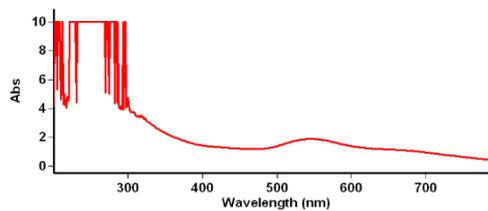
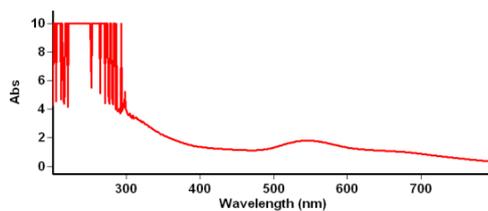
## 2. Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Nanopartikel Emas 25 Menit



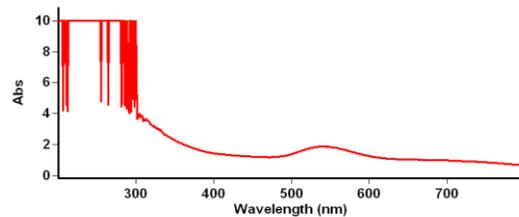
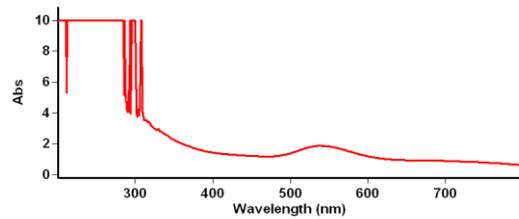
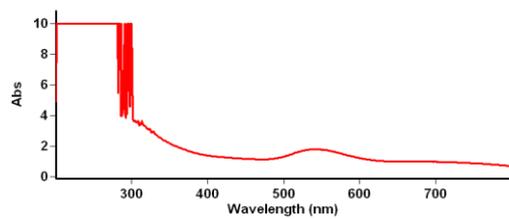
### 3. Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Nanopartikel Emas 35 Menit



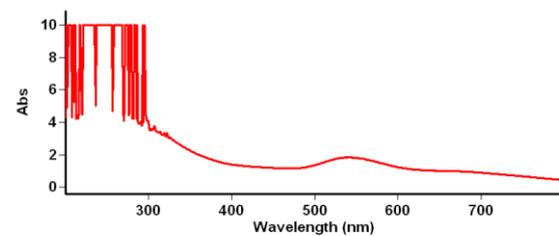
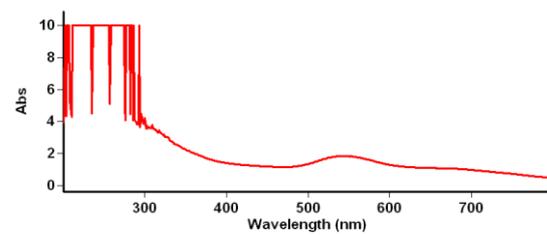
### 4. Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Nanopartikel Emas 45 Menit

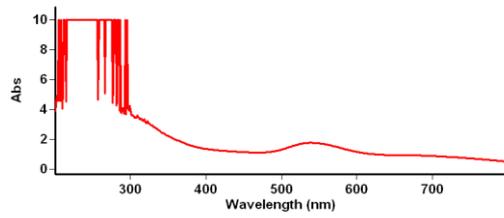


### 5. Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Nanopartikel Emas 55 Menit

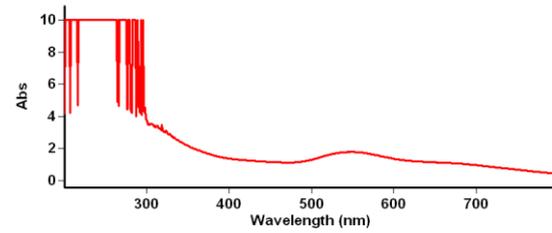
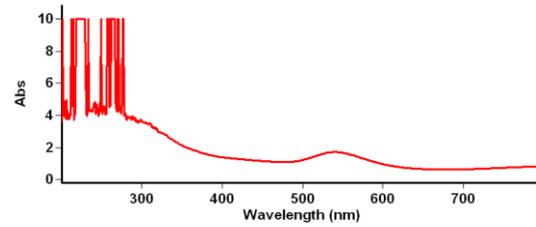
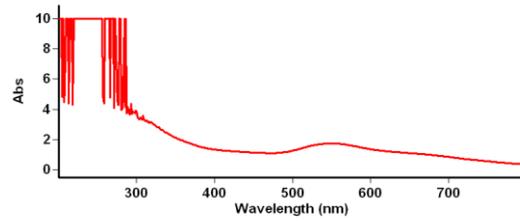


### 6. Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Nanopartikel Emas 65 Menit



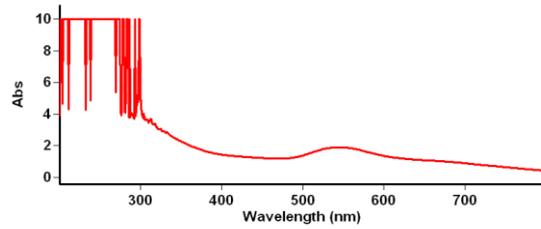
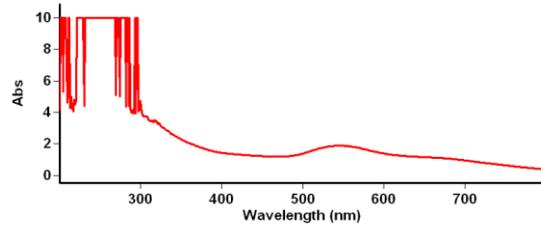
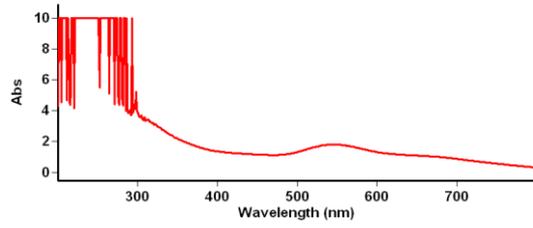


## 7. Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Nanopartikel Emas 75 Menit

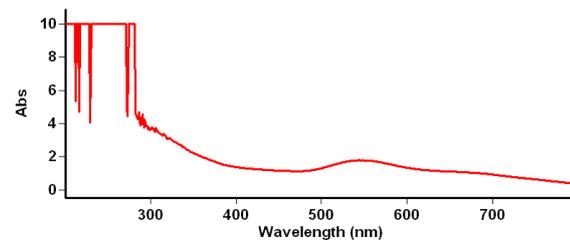
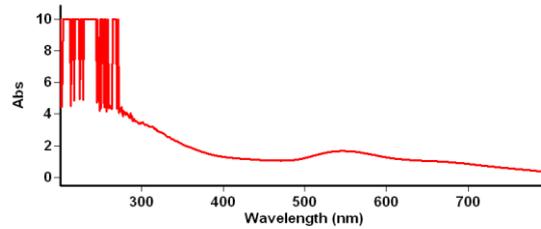


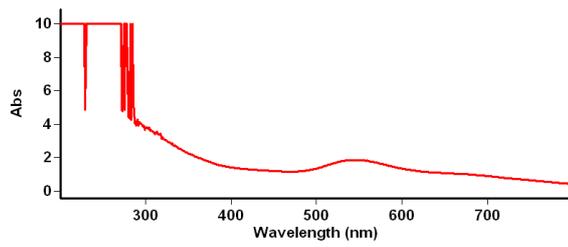
### L.4.3 Pengamatan Waktu Kestabilan Nanopartikel Emas

#### 1. Pengamatan Waktu Kestabilan pada Hari ke-0

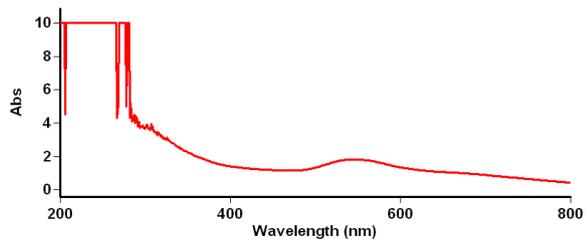
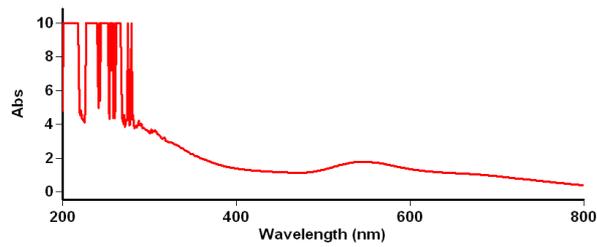
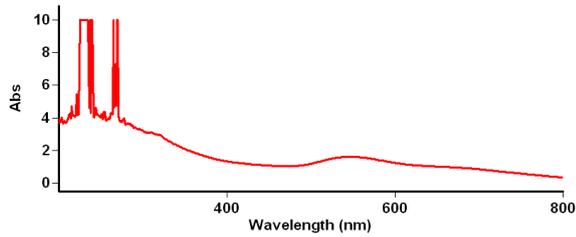


#### 2. Pengamatan Waktu Kestabilan pada Hari ke-2

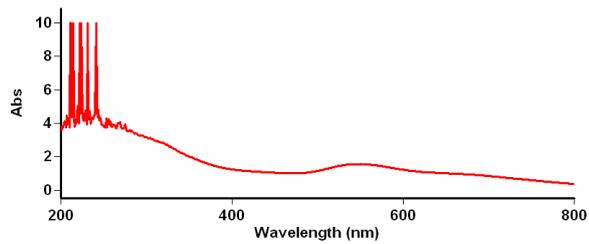


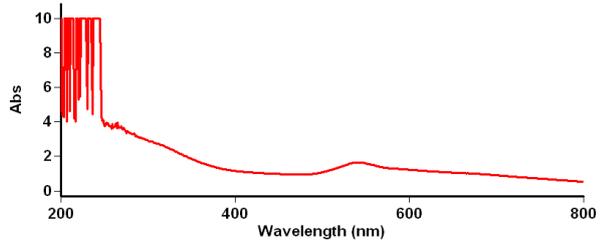
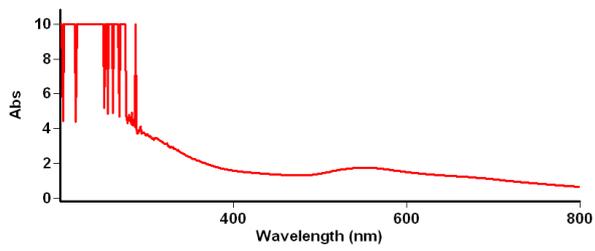


### 3. Pengamatan Waktu Kestabilan pada Hari ke-4

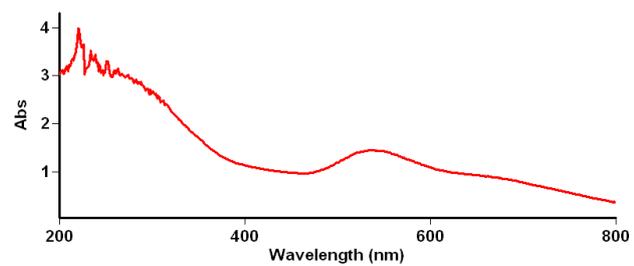
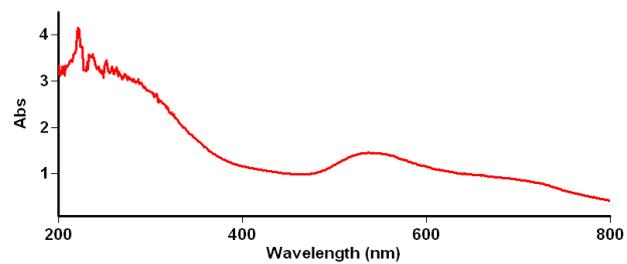
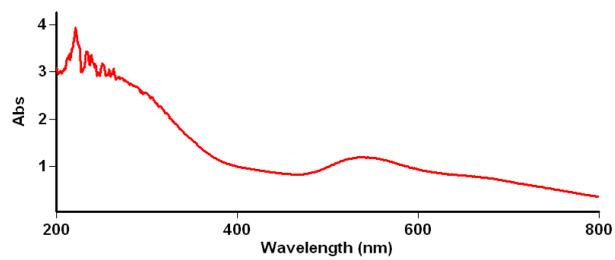


### 4. Pengamatan Waktu Kestabilan pada Hari ke-7

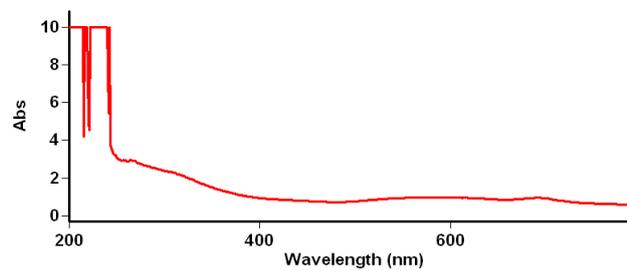
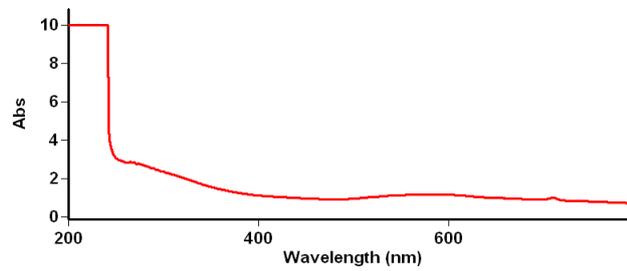
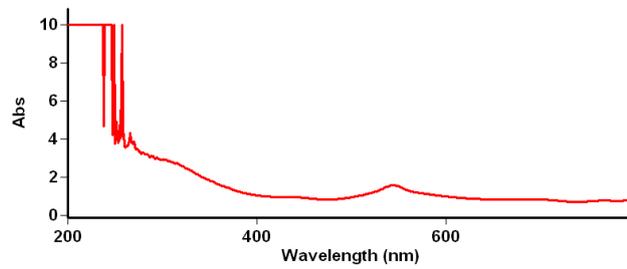




### 5. Pengamatan Waktu Kestabilan pada Hari ke-9



## 6. Pengamatan Waktu Kestabilan pada Hari ke-14



## 7. Pengamatan Waktu Kestabilan pada Hari ke-21

