

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR
EKSTRAK AIR DAUN PEGAGAN (*Centella asiatica L.*)**

SKRIPSI

**Oleh:
SILVIA USMANIA
NIM. 17630054**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR
EKSTRAK AIR DAUN PEGAGAN (*Centella asiatica L.*)**

SKRIPSI

**Oleh:
SILVIA USMANIA
NIM. 17630054**



**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri 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
2022**

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR
EKSTRAK AIR DAUN PEGAGAN (*Centella asiatica L.*)**

SKRIPSI

Oleh:
SILVIA USMANIA
NIM. 17630054

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
pada Tanggal 14 Juni 2022**

Pembimbing I



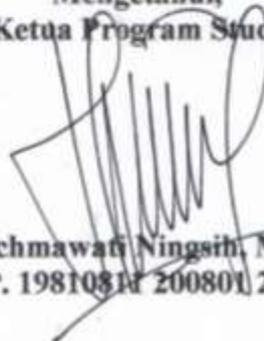
Diana Candra Dewi, M.Si
NIP. 19770720 200312 2 001

Pembimbing II



Rif'atul Mahmudah, M.Si
NIDT. 19830125 20160801 2 068

**Mengetahui,
Ketua Program Studi**



Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810814 200801 2 010

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR
EKSTRAK AIR DAUN PEGAGAN (*Centella asiatica L.*)**

SKRIPSI

Oleh:
SILVIA USMANIA
NIM. 17630054

**Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 14 Juni 2022**

Ketua Penguji : Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821101 200901 2 007

(.....)

Anggota Penguji I : Armeida Dwi Ridhowati Madjid, M.Si
NIP. 19890527 201903 2 016

(.....)

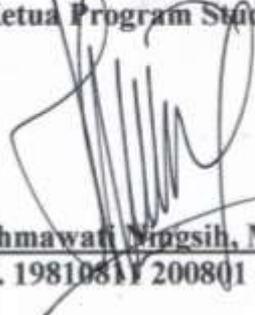
Anggota Penguji II : Diana Candra Dewi, M.Si
NIP. 19770720 200312 2 001

(.....)

Anggota Penguji III : Rif'atul Mahmudah, M.Si
NIDT. 19830125 20160801 2 068

(.....)

**Mengetahui,
Ketua Program Studi**



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Silvia Usmania
NIM : 17630054
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Sintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor
Ekstrak Air Daun Pegagan (*Centella asiatica L.*)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 22 Juni 2022
Yang membuat pernyataan,



Silvia Usmania
NIM. 17630054

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah dengan penuh rasa syukur kepada 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:

Kedua orang tua saya Bapak Danis Kuserdiawan, S.H dan Ibu Tri Yuli Setyaningsih, S.E serta adik saya Sofia Putri Danisa yang selama ini telah memberikan segala bentuk dukungan mulai dari masa awal perkuliahan hingga saya memperoleh gelar sarjana ini. Terima kasih telah menjadi orang tua yang sempurna dan adik yang baik bagi saya, kiranya tulisan ini hanya sebagian kecil hal yang dapat saya persembahkan kepada papa, mama, dan adik saya. Semoga kalian senantiasa diberi kesehatan dan panjang umur hingga saya sukses nantinya, Aamiin.

Bapak dan Ibu Dosen Kimia, khususnya Ibu Diana Candra Dewi, M.Si, Ibu Rif'atul Mahmudah, M.Si, Ibu Suci Amalia, M.Sc, dan Ibu Armeida Dwi R.M., M.Si yang telah memotivasi, memberikan arahan, dan membimbing dengan sangat sabar selama ini. Semoga kebaikan Bapak dan Ibu Dosen melipat balasan yang lebih baik dari Allah SWT, Aamiin.

Teman-teman penelitian di Laboratorium Analitik, teman-teman "*FF-Garden Space*" serta teman-teman terdekat saya yakni Nuriyah Sulkha, Aninda Quinsy A., Alivia Husin, Dhea Virta Tessa L., Elza Nurhidayati, Taufiqurrahman, M. Ilham Kusuma W., dan Ibnoe Safiro Almerkanzay. Terima kasih atas keterlibatan dan waktu yang telah kalian berikan dalam proses penyelesaian skripsi ini. Semoga cita-cita kalian semua dapat terwujud kelak, Aamiin.

MOTTO

“Don’t see anyone as your competition. You don’t have the same dreams, goals, ambition, or brains. You’re not the same.”



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Maha Besar Allah SWT segala puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis atas segala nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: **“Sintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Air Daun Pegagan (*Centella asiatica L.*)”**.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini telah banyak pihak yang telah mendukung, membimbing, dan memfasilitasi baik secara materi maupun teknis sehingga berjalan dengan lancar. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si, selaku ketua program studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Diana Candra Dewi, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan nasihat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Ibu Rif'atul Mahmudah, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan masukan sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan.

6. Seluruh Dosen dan Laboran Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu, pengetahuan, pengalaman, dan wawasannya, sebagai bekal bagi penulis.
7. Orang tua penulis, serta segenap anggota keluarga penulis yang senantiasa memberikan perhatian, nasihat, doa, dan dukungan baik moril maupun materil yang tak mungkin terbalaskan.
8. Teman-teman kimia angkatan 2017 serta rekan-rekan tim analitik yang telah saling memotivasi dan membantu terselesaikannya skripsi ini.
9. Semua kawan-kawan penulis, yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala bantuan dan motivasinya kepada penulis.

Sebagai seorang manusia dengan keterbatasan ilmu pengetahuan yang dikuasai, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat dibutuhkan untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dikemudian hari dapat menjadi rujukan dalam penulisan laporan selanjutnya.

Malang, 22 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
ملخص البحث	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Nanopartikel Emas (AuNPs)	8
2.1.1 Logam Emas (Au)	8
2.1.2 Sifat Nanopartikel Emas (AuNPs)	9
2.1.3 Pemanfaatan Nanopartikel Emas	11
2.2 Daun Pegagan (<i>Centella asiatica L.</i>)	12
2.2.1 Morfologi dan Identifikasi Daun Pegagan	13
2.3 Sintesis Nanopartikel Emas	15
2.3.1 <i>Green Synthesis</i> Nanopartikel Emas	15
2.3.2 Pemanasan Menggunakan Oven Pada Proses Sintesis Nanopartikel Emas	17
2.4 Karakterisasi Nanopartikel Emas	19
2.4.1 Spektrofotometer UV-Vis	19
2.4.2 Mikroskop Olympus (Cx22)	22
BAB III METODOLOGI	25
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	25
3.2.1 Alat-alat Penelitian	25
3.2.2 Bahan Penelitian	25
3.3 Rancangan Penelitian	25

3.4 Tahap Penelitian	26
3.5 Pelaksanaan Penelitian	27
3.5.1 Pemilihan dan Preparasi Sampel Bioreduktor Ekstrak Daun Pegagan	27
3.5.2 Pembuatan dan Penentuan λ_{maks} Larutan H ₂ AuCl ₄ 0,5 mM	27
3.5.3 Sintesis Nanopartikel Emas	28
3.5.3.1 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Volume Bioreduktor	28
3.5.3.2 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Waktu Pemanasan	29
3.5.3.3 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Suhu Pemanasan	29
3.5.4 Karakterisasi Nanopartikel Emas	30
3.5.4.1 Karakterisasi Nanopartikel Emas dengan Spektrofotometer UV-Vis	30
3.5.4.2 Karakterisasi Nanopartikel Emas dengan Mikroskop	31
3.5.5 Analisa Data	31
3.5.5.1 Hubungan Antara Volume Bioreduktor, Waktu Pemanasan, dan Suhu Pemanasan dengan Absorbansi	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Pemilihan dan Preparasi Sampel Bioreduktor Ekstrak Daun Pegagan.....	32
4.2 Pembuatan dan Penentuan λ_{maks} Larutan H ₂ AuCl ₄ 0,5 mM	33
4.3 Sintesis Nanopartikel Emas dengan <i>Heating Oven</i>	35
4.3.1 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Volume Bioreduktor.....	39
4.3.2 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Waktu Pemanasan	43
4.3.3 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Suhu Pemanasan..	47
4.4 Karakterisasi Nanopartikel Emas dengan Mikroskop	50
4.5 Potensi Daun Pegagan Sebagai Bioreduktor Nanopartikel Emas dalam Prespektif Islam	53
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perubahan warna pada proses pembentukan AuNPs dengan variasi waktu.....	10
Gambar 2.2	Spektra UV-Vis panjang gelombang maksimum sintesis AuNPs dengan variasi waktu	10
Gambar 2.3	Bentuk-bentuk nanopartikel emas	11
Gambar 2.4	Tanaman pegagan umur 60 hari setelah tanam	13
Gambar 2.5	Kandungan total flavonoid pada ekstrak air daun pegagan.....	16
Gambar 2.6	Perkiraan proses stabilisasi AuNPs dengan senyawa aktif tumbuhan	17
Gambar 2.7	Oven <i>Thermo Scientific</i> Heraeus UT.....	18
Gambar 2.8	Perubahan warna dari kuning menjadi ungu pada pembentukan AuNPs.....	21
Gambar 2.9	Pengukuran panjang gelombang maksimum hasil sintesis AuNPs	21
Gambar 2.10	Mikroskop Olympus Cx22	24
Gambar 4.1	Serbuk daun pegagan (<i>Centella Asiatica</i>)	32
Gambar 4.2	Perbedaan warna ekstrak pekat sebelum diencerkan (a) dan ekstrak yang sudah diencerkan hingga 25 ml (ekstrak yang digunakan) (b)	33
Gambar 4.3	Endapan H ₂ AuCl ₄ berwarna merah sebelum diencerkan	34
Gambar 4.4	Pengukuran panjang gelombang maksimum H ₂ AuCl ₄ 0,5 mM	35
Gambar 4.5	Perkiraan reaksi reduksi Au ³⁺ menjadi Au ⁰	36
Gambar 4.6	Mekanisme reduksi, pertumbuhan, dan pembentukan nanopartikel emas	37
Gambar 4.7	Spektra UV-Vis variasi volume bioreduktor	40
Gambar 4.8	Perubahan warna larutan dari kuning bening menjadi ungu pada variasi volume bioreduktor.....	40
Gambar 4.9	Pengukuran panjang gelombang maksimum sampel bioreduktor.....	41
Gambar 4.10	Grafik hubungan variasi volume bioreduktor dengan absorbansi.....	42
Gambar 4.11	Spektra UV-Vis variasi waktu pemanasan	44
Gambar 4.12	Perubahan warna larutan dari kuning bening menjadi ungu pada variasi waktu pemanasan	45
Gambar 4.13	Grafik hubungan variasi waktu pemanasan dengan absorbansi	45
Gambar 4.14	Perubahan warna larutan dari kuning bening menjadi ungu pada variasi suhu pemanasan	47
Gambar 4.15	Spektra UV-Vis variasi suhu pemanasan	48
Gambar 4.16	Grafik hubungan variasi suhu pemanasan dengan absorbansi	49
Gambar 4.17	(a) Sampel AuNPS sebelum disentrifugasi; (b) Sampel AuNPs sesudah disentrifugasi.....	51
Gambar 4.18	Hasil karakterisasi morfologi AuNPs yang berbentuk dominan bulat dengan menggunakan mikroskop pada perbesaran 400x	52
Gambar 4.19	Spektra UV-Vis nanopartikel emas dengan komposisi terbaik.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data bahan emas	8
Tabel 2.2 Spektrum tampak dan warna-warna komplementer	19
Tabel 2.3 Produk nanopartikel emas	22
Tabel 3.1 Perbandingan volume bioreduktor, waktu dan suhu pemanasan	26
Tabel 3.2 Variasi volume bioreduktor pada sintesis nanopartikel emas	28
Tabel 3.3 Variasi waktu pemanasan pada sintesis nanopartikel emas	29
Tabel 3.4 Variasi suhu pemanasan pada sintesis nanopartikel emas	30
Tabel 4.1 Hasil uji <i>One Way Anova</i> pengaruh variasi volume bioreduktor terhadap pembentukan nanopartikel emas	43
Tabel 4.2 Hasil uji <i>One Way Anova</i> pengaruh variasi waktu pemanasan terhadap pembentukan nanopartikel emas	46
Tabel 4.3 Hasil uji <i>One Way Anova</i> pengaruh variasi suhu pemanasan terhadap pembentukan nanopartikel emas	49



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema kerja	64
Lampiran 2. Diagram alir	65
Lampiran 3. Perhitungan	68
Lampiran 4. Data absrobansi variasi	69
Lampiran 5. Spektra UV-Vis	72
Lampiran 6. Hasil SPSS <i>one way anova</i>	77
Lampiran 7. Gambar analisa dengan mikroskop.....	84
Lampiran 8. Dokumentasi penelitian	86



ABSTRAK

Usmania, Silvia. 2022. **Sintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Air Daun Pegagan (*Centella asiatica L.*)**. Pembimbing I: Diana Candra Dewi, M.Si. Pembimbing II: Rif'atul Mahmudah, M.Si

Kata kunci: AuNPs, *Centella asiatica L.*, heating oven, spektrofotometer UV-Vis, Mikroskop

Nanopartikel emas memiliki keunggulan yang menonjol dibandingkan emas dalam bentuk ruahnya. Nanopartikel emas (AuNPs) merupakan partikel-partikel emas yang dibentuk dalam skala 1-100 nm dengan cara mereduksi ion logam Au^{3+} menjadi Au^0 . Penelitian ini menggunakan metode *green synthesis* yakni metode yang berbasis tumbuhan sebagai bioreduktor. Kelebihan bioreduktor bahan alam adalah kelimpahan yang melimpah, tidak bersifat toksik, serta memberi kontribusi pada pengurangan bahan reduktor anorganik. Bioreduktor berfungsi sebagai agen pereduksi dan gen penstabil dalam pembentukan AuNPs.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis AuNPs dengan metode *green synthesis* menggunakan larutan $H AuCl_4$ dan ekstrak air daun pegagan dengan bantuan pemanasan *heating oven*. Dilakukan variasi volume bioreduktor (0,15; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 2; dan 2,5 mL), waktu pemanasan (10; 25; 40; 55; dan 70 menit), dan suhu pemanasan (40; 60; 80; 100; dan 120°C), serta dikarakterisasi menggunakan instrument UV-Vis spektrofotometri. Hasil sintesis dari komposisi optimum dikarakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis dan mikroskop Olympus (Cx22).

Hasil penelitian menunjukkan volume optimum bioreduktor sebesar 1,2 mL, dengan waktu pemanasan optimum selama 55 menit dan pada suhu optimum 100°C. Hasil sintesis AuNPs dengan komposisi optimum menghasilkan panjang gelombang maksimum kisaran 532-533 nm dan hasil pengamatan pada mikroskop menunjukkan morfologi dan bentuk yang dominan bulat.

ABSTRACT

Usmania, Silvia. 2022. **Synthesis of Gold Nanoparticles Using Bioreductors Gotu Kola (*Centella asiatica* L.) Leaf Water Extract**. Supervisor I: Diana Candra Dewi, M.Si. Supervisor II: Rif'atul Mahmudah, M.Si

Keyword: AuNPs, *Centella asiatica* L., heating oven, UV-Vis spectrophotometer, Microscope

Gold nanoparticles have a prominent advantage over gold. Gold nanoparticles (AuNPs) are gold particles formed on a scale of 1-100 nm by reducing metal ions Au^{3+} to Au^0 . This research was done the green synthesis method, which using a plant as a bioreductant. The advantages of natural bioreductants are that they are abundant, non-toxic, and enhance of inorganic reducing agents. Bioreductor have a function as reducing and stabilizing agent in the formation of AuNPs.

In this research, AuNPs were synthesized using the green synthesis method using an aqueous extract of gotu kola leaves using a heating oven. Variations used in their research were volumes of the bioreductor (0.15; 0.3; 0.6; 0.9; 1.2; 1.5; 2; and 2.5 mL), heating time (10; 25; 40; 55; and 70 minutes), and heating temperature (40; 60; 80; 100; and 120°C), and the nanoparticles were characterized using a UV-Vis spectrophotometric instrument. The synthesis results from the optimum variation were characterized using UV-Vis spectrophotometry and Olympus microscope (Cx22).

The results showed that the optimum volume of the bioreductant was 1.2 mL, with an optimum heating time of 55 minutes and an optimum temperature of 100°C. The results of the synthesis of AuNPs with the optimum variation absorbed a maximum wavelength in 532-533 nm and observations on a microscope showed that the morphology and shape were predominantly spherical.

ملخص البحث

عثمانيا ، سيلفيا. ٢٠٢٢. تخليق جزيئات الذهب النانوية باستخدام موصل حيوي لمستخلص الماء من أوراق غوتو كولا (كينتيللا اسياتيكال). المشرفة الأولى: ديانا جندرا ديوي الماجستير. المشرفة الثانية: رفعة المحمودة الماجستير

الكلمات الرئيسية: , كينتيللا استياتيكال AuNPs, فرن التسخين، مقياس الطيف الضوئي-UV Vis ، المجهر.

تمتع جزيئات الذهب النانوية بميزة بارزة على الذهب في شكلها الأكبر. جزيئات الذهب النانوية (AuNPs) عبارة عن جزيئات ذهب تتكون على مقياس من ١٠٠-١ نانومتر عن طريق تقليل أيونات المعاد Au^{3+} الى Au^0 يستخدم هذا البحث طريقة نباتية كمفاعل حيوي. تتمثل مزايا المواد الحيوية الطبيعية في انها وفيرة وغير سامة و تساهم في تقليل عوامل الاختزال غير العضوية، تعمل الموصلات الحيوية كعوامل اختوال واستقرار للجينات في تكوين AuNPs. في هذه الدراسة ، تم تصنيع AuNPs باستخدام طريقة التخليق الأخضر باستخدام مستخلص مائي من أوراق غا تو كولا. تم تصنيع جزيئات الذهب النانوية باستخدام مستخلص ناقل حيوي لأوراق غوتو كولا (. كينتيللا اسياتيكال) ومحلول ٠,٠٥ ملي مولار $HAuCl_4$ باستخدام فرن تسخين. الاختلافات في حجم الموصل الحيوي ٠,١٥ ؛ ٠,٣ ؛ ٠,٦ ؛ ٠,٩ ؛ ١,٢ ؛ ١,٥ ؛ ٢ ؛ و ٠,٥ مل)، وقت التسخين (١٠ ؛ ٢٥ ؛ ٤٠ ؛ ٥٥ ؛ و ٧٠ دقيقة)، ودرجة حرارة التسخين (٤٠ ؛ ٦٠ ؛ ٨٠ ؛ ١٠٠ ؛ و ١٢٠ درجة مئوية) ، وتتميز باستخدام أداة قياس الطيف الضوئي بالأشعة المرئية وفوق البنفسجية. تم وصف نتائج التوليف من التركيب الأمثل باستخدام مقياس الطيف الضوئي بالأشعة المرئية وفوق البنفسجية ومجهر أوليمبوس (٢٢×C). أوضحت النتائج أن الحجم الأمثل للمحول الحيوي كان ١,٢ مل ، مع وقت تسخين مثالي ٥٥ دقيقة ودرجة حرارة مثالية ١٠٠ درجة مئوية. أسفرت نتائج تركيب AuNPs مع التركيب الأمثل عن طول موجي أقصى يبلغ ٥٣٣-٥٢٢ نانومتر وأظهرت الملاحظات على المجهر أن الشكل والشكل كانا كرويين في الغالب.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan suatu kajian ilmu dan rekayasa material dengan mengontrol bentuk dan ukuran pada skala nano dalam dimensi antara 1-100 nanometer. Nanosains dan nanoteknologi merupakan studi yang sedang dikembangkan oleh para ilmuwan dalam beberapa tahun terakhir ini karena partikel berukuran nanometer memiliki sifat multifungsional (Kavitha dkk, 2013). Sebagian besar peneliti berfokus pada sintesis nanopartikel logam mulia seperti emas dan perak (Srivastava dan Mukhopadhyay, 2015).

Material seperti emas yang secara kimia bersifat inert pada saat berukuran normal, dapat berubah menjadi katalis saat berukuran nano (Hayati, 2013). Nanopartikel emas diketahui memiliki beberapa kelebihan seperti stabil karena bermuatan nol atau netral sehingga tidak mengakibatkan adanya radikal bebas maka emas tidak beracun apabila masuk dalam tubuh manusia. Oleh karena itu, nanopartikel emas dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Amiruddin dan Taufikurrohmah (2013), hasil sintesis nanopartikel emas menggunakan matriks bentonit berpotensi sebagai peredam radikal bebas dalam kosmetik saat uji aktivitas antioksidan (DPPH). Hal ini didukung oleh penelitian Hayati, (2013) yang menyatakan bahwa nanopartikel emas juga mampu berperan sebagai agen hipoglikemik dengan cara menurunkan kadar glukosa darah sehingga dapat mengurangi resiko penyakit diabetes melitus.

Secara umum nanopartikel emas dapat disintesis dengan metode fisika dan kimia. Namun metode fisika memerlukan energi yang tinggi dalam proses sintesis, dan metode kimia dapat menimbulkan residu kimia yang berbahaya bagi lingkungan (Thakkar dkk, 2010). Sehingga dimunculkan metode yang lebih ramah lingkungan yakni metode biosintesis atau *green synthesis* (Lembang dkk, 2014).

Biosintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan metode reduksi menggunakan bahan alam yakni mikroorganisme dan ekstrak tumbuhan. Penggunaan mikroorganisme dalam metode reduksi ini memiliki kelemahan seperti pemeliharaan kultur yang sulit dan waktu sintesis yang lama. Reduksi kimia dengan memanfaatkan tumbuhan sebagai bioreduktor menjadi alternatif yang paling aman, mudah, biaya produksi yang relatif murah karena merupakan bahan alam dan memberikan kontribusi pada pengurangan bahan reduktor anorganik (Sovawi dkk, 2016). Kandungan metabolit sekunder (senyawa antioksidan dari ekstrak tumbuhan) juga dapat digunakan sebagai agen pereduksi atau *capping agent* dalam sintesis nanopartikel emas (Pebriani, 2020).

Kemampuan ekstrak tumbuhan untuk mereduksi ion logam menjadi partikel nano telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya. Sebagai contoh, Ankamwar (2010), mensintesis nanopartikel emas dengan menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai pereduksi. Rao dkk, (2017), mensintesis ekstrak daun ruku-ruku menggunakan prekursor HAuCl_4 . Namun, karena mahalnyanya harga beli tersebut maka prekursor dapat dibuat dengan melarutkan emas murni 99% dengan aqua regia (campuran larutan HCl dan HNO_3 dengan perbandingan 3:1) (Lembang dkk, 2014).

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan kondisi optimum sintesis nanopartikel emas dengan menggunakan bioreduktor antara lain yakni temperatur, waktu inkubasi serta konsentrasi Au (III) (Hidayat, 2019). Menurut Khalil dkk, (2012) menyatakan bahwa konsentrasi bioreduktor akan mempengaruhi hasil sintesis nanopartikel dengan melihat panjang gelombang pada UV-Vis yang menunjukkan bahwa ukuran partikel akan berbeda. Penelitian tersebut melakukan variasi volume bioreduktor ekstrak daun zaitun (0,2; 0,4; 0,8; 1; 2; 3; 5 dan 6 mL) yang mempengaruhi perbedaan konsentrasi pada setiap sampel dengan hasil volume bioreduktor terbaik 5 mL dan λ_{maks} sebesar 545 nm serta menghasilkan ukuran nanopartikel 50-100 nm. Penelitian GM dkk, (2021) juga menyatakan bahwa penambahan volume bioreduktor akan menimbulkan adanya pergeseran batokromik karena penambahan volume bioreduktor yang semakin besar akan menghasilkan absorbansi yang semakin besar pula. Penelitian ini dilakukan dengan variasi volume bioreduktor ekstrak etanol daun jambu bol putih (0,25; 0,75; 1,25; dan 2 mL) dan menghasilkan ukuran nanopartikel emas sebesar 17,13- 17,57 nm. Penjelasan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan suatu bioreduktor untuk mereduksi Au^{3+} akan berbeda berdasarkan volumenya.

Sintesis nanopartikel emas juga dapat dibantu dengan menggunakan *heating* oven. Keuntungan dari *heating* oven adalah panas yang dihasilkan merata dan dapat menembus wadah yang digunakan untuk mereaksikan sampel. Setiawan dkk, (2014) dalam penelitiannya, melakukan sintesis nanopartikel emas dengan bantuan pemanasan pada suhu 100°C selama 30-35 menit dan menghasilkan bentuk AuNPs yang hampir seragam dan stabil. Amin dkk, (2020) juga mensintesis nanopartikel emas menggunakan ekstrak daun berenuk dengan bantuan pemanasan 60°C selama

25 menit, AuNPs yang terbentuk menunjukkan morfologi anisotropik dengan ukuran rata-rata partikel yang kecil yakni 11,249 nm.

Penelitian ini dilakukan biosintesis nanopartikel emas menggunakan ekstrak daun pegagan atau *Centella Asiatica L.* sebagai bioreduktor untuk sintesis nanopartikel emas. Pegagan telah dikenal manfaatnya sebagai tanaman obat karena mengandung berbagai bahan aktif meliputi: triterpenoid, saponin, flavonoid, dan bahan aktif lain seperti tanin, asam amino, asam lemak alkaloid dan garam-garam mineral (Kumar dan Gupta, 2003). Penelitian Jhansi dan Kola, (2019), senyawa bioaktif penting yang memberikan aktivitas antioksidan tinggi pada pegagan antara lain adalah polifenol, flavonoid, 3-karoten, tanin, dan vitamin C. Senyawa bioaktif tersebut berpotensi digunakan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel emas. Dibalik senyawa aktif yang terdapat pada daun pegagan tersebut merupakan iradah dari Allah SWT yang memiliki hikmah dan tujuan tersendiri sebagaimana tercantum dalam QS. As-Syu'araa' ayat 7:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

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

Makna kata tumbuhan yang baik di atas yaitu tumbuhan yang dapat memberi manfaat bagi kelangsungan hidup umat manusia. Menurut tafsir Kemenag RI, dijelaskan bahwa pada ayat ini tersirat ajakan untuk mempelajari keseluruhan alam agar mereka tahu bahwa hanya Allah saja yang berhak untuk disembah. Sesungguhnya setiap makhluk hidup di dunia ini tidak ada yang diciptakan dalam keadaan sia-sia. Setiap tumbuhan memiliki kelebihan dan fungsinya masing-

masing yang diciptakan oleh Allah SWT dengan segi morfologi yang begitu baik sebagai bukti atas kuasa-Nya.

Kemampuan daun pegagan sebagai bioreduktor sebelumnya telah dibuktikan dalam penelitian pendahuluan oleh Das dkk, (2010) yang menyatakan bahwa kandungan antioksidan yang kuat dalam ekstrak etanol daun pegagan (*Centella Asiatica L.*) dapat digunakan sebagai bioreduktor untuk sintesis nanopartikel emas dengan prekursor HAuCl_4 pada suhu ruang. Variasi konsentrasi ekstrak etanol daun pegagan yakni 2; 4; 6; 8; 10% (v/v) dan dihasilkan warna *ruby-red* yang mengindikasikan terbentuknya nanopartikel emas. Kemudian diketahui λ_{maks} yakni 534 nm dan menghasilkan diameter partikel sebesar 9,3-10,9 nm.

Pada penelitian ini menggunakan ekstrak air daun pegagan (*Centella Asiatica L.*) sebagai pembeda dari penelitian sebelumnya. Menurut penelitian Nasri dkk, (2014), ekstrak air daun pegagan memiliki beberapa kelebihan yakni mempunyai aktivitas antioksidan yang tinggi dengan nilai IC_{50} 31,25 mg/mL dan mengandung senyawa bioaktif berupa flavonoid dengan total flavonoid sebesar 0,361 g/100g. Flavonoid berfungsi sebagai antioksidan dimana dapat mengikat material logam serta mampu mencegah aktivitas radikal bebas. Penelitian lain dari Anand dkk, (2010), menyebutkan bahwa ekstrak air daun pegagan memiliki kadar total flavonoid tertinggi (2,194 $\mu\text{g/g}$) dibandingkan dengan ekstrak methanol (1,326 $\mu\text{g/g}$), etilase (1,392 $\mu\text{g/g}$), kloroform (2,002 $\mu\text{g/g}$), aseton (1,28 $\mu\text{g/g}$), dan heksan (1,492 $\mu\text{g/g}$) daun pegagan. Selain itu, preparasi daun pegagan menggunakan air juga cukup sederhana, mudah didapatkan, dan tidak menimbulkan residu bahan kimia sehingga efektif untuk mengurangi polusi bahan kimia.

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti ingin mensintesis nanopartikel emas dari HAuCl_4 0,5 mM yang dibuat dengan cara melarutkan lempengan emas murni dengan aquaregia ($\text{HCl};\text{HNO}_3$ (3:1)). Larutan HAuCl_4 0,5 mM 5 mL disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak air daun pegagan dengan bantuan *heating oven* dengan mengontrol faktor volume bioreduktor, waktu, dan suhu pemanasan. Hasil sintesis tersebut dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui absorbansi optimum pada volume bioreduktor, waktu, dan suhu pemanasan. Hasil sintesis terbaik akan dilanjutkan dengan analisa mikroskop Olympus (Cx22) untuk mengetahui morfologi dan bentuk AuNPs.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah pengaruh volume bioreduktor ekstrak daun pegagan, waktu, dan suhu pemanasan terhadap karakteristik AuNPs secara spektrofotometer UV-Vis?
2. Berapakah volume bioreduktor, waktu, dan suhu pemanasan optimum dalam pembentukan AuNPs?
3. Bagaimanakah morfologi dan bentuk AuNPs menggunakan mikroskop?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh volume bioreduktor ekstrak daun pegagan, waktu, dan suhu pemanasan terhadap karakteristik AuNPs secara spektrofotometer UV-Vis.
2. Untuk mengetahui volume bioreduktor, waktu, dan suhu pemanasan optimum dalam pembentukan AuNPs.

3. Untuk mengetahui hasil morfologi dan bentuk AuNPs menggunakan mikroskop.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan berupa emas murni 99,9%.
2. Bioreduktor yang digunakan berupa ekstrak air daun pegagan (*Centella Asiatica L.*) dengan pelarut akuades.
3. Sintesis nanopartikel emas menggunakan variasi volume bioreduktor, waktu pemanasan, dan suhu pemanasan.
4. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan mikroskop.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat setelah penelitian ini adalah:

1. Emas yang sebelumnya hanya digunakan sebagai perhiasan sekarang mempunyai potensi untuk diaplikasikan lebih luas.
2. Daun pegagan berpotensi sebagai bioreduktor selain untuk campuran obat-obatan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanopartikel Emas (Au-NPs)

2.1.1 Logam Emas (Au)

Emas adalah salah satu unsur kimia dengan simbol Au yang berasal dari singkatan nama latinnya yaitu *Aurum*. Pada tabel periodik, emas termasuk ke dalam golongan IB dengan nomor atom 79. Logam tersebut memiliki bilangan oksidasi utama +1 (*aurous*) dan +3 (*auric*).

Tabel 2.1 Data bahan emas

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

Sumber: *Chemistry of Precious Metal*

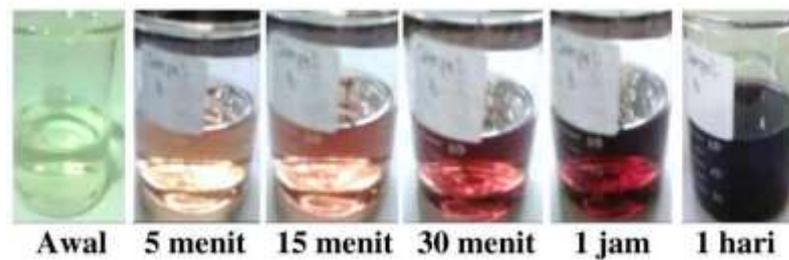
Emas merupakan logam berwarna kuning yang memiliki konduktor listrik dan termal yang baik. Emas memiliki sifat material yang inert karena memiliki ketahanan terhadap korosi. Emas dapat dilarutkan dengan larutan yang bersifat asam seperti aqua regia dan asam nitrat. Reaksi pelarutan emas tersebut termasuk dalam reaksi reduksi oksidasi, berikut reaksi yang mungkin terjadi bila dilarutkan dalam aqua regia (Hidayat, 2019):



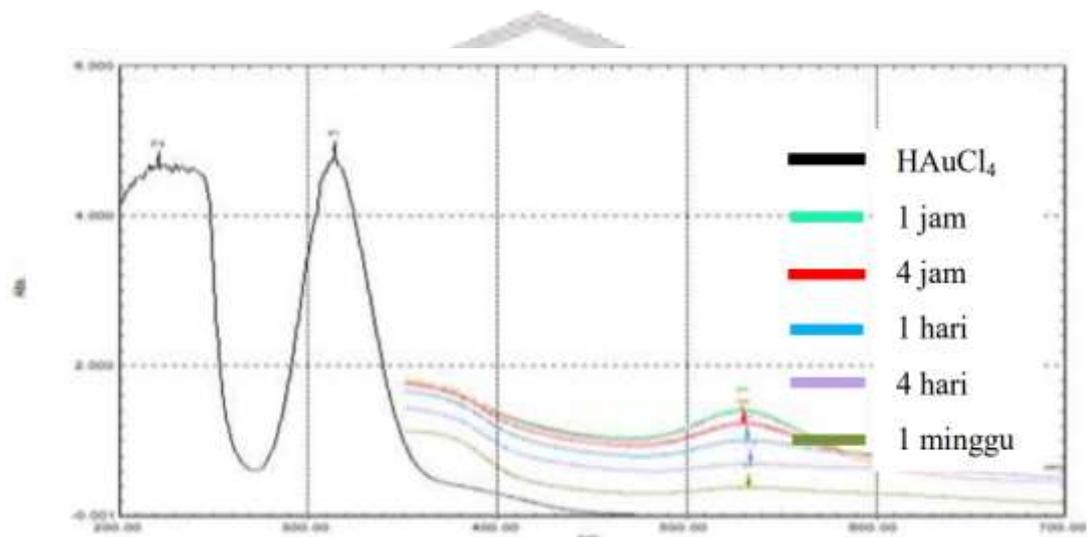
2.1.2 Sifat Nanopartikel Emas (AuNPs)

Logam mulia yang saat ini banyak dikembangkan sebagai nanopartikel adalah Au (emas), Pt (platina), Ag (perak), dan Pd (palladium). Logam yang paling banyak diteliti adalah emas (Au) karena ion emas bersifat stabil (bermuatan nol) dalam bentuk nanopartikel, kadar toksisitasnya rendah dan memiliki aktivitas sebagai peredam radikal bebas. Nanopartikel emas mempunyai kelebihan yang menonjol dibandingkan pada emas dalam bentuk ruahnya, yaitu mempunyai sifat optik dan elektronik dengan toksisitas yang rendah. Sifat optoelektronik AuNPs meningkat dari ukuran, bentuk, dan lingkungan lokalnya. AuNPs juga bersifat biokompatibel dan mudah mengikat untuk berbagai macam biomolekul seperti asam amino, protein/enzim dan DNA, dan berperan dalam immobilisasi biomolekul. (Hayati, 2013).

Proses sintesis nanopartikel emas dibuat dengan mereduksi ion logam Au^{3+} menjadi Au^0 (Sekarsari dan Taufikurrohmah, 2012). Proses reduksi tersebut akan mengakibatkan perubahan warna dari kuning (Au^{3+}) menjadi merah anggur atau *ruby red* (Au^0) seiring dengan peningkatan ukuran inti dari 1 nm sampai 100 nm. Warna tersebut merupakan hasil frekuensi pita plasmon yang berada pada daerah visibel yang menyerap warna biru dan memantulkan warna merah. Hal ini diperkuat dengan penelitian Lembang dkk, (2014), yang telah berhasil mensintesis nanopartikel emas dengan ekstrak daun ketapang (*Terminalia cattapa*) dimana dalam penelitian tersebut menghasilkan perubahan warna dari kuning jernih menjadi ungu seiring bertambahnya waktu sintesis (**Gambar 2.1**) dan menghasilkan serapan maksimum AuNPs pada rentang 529-534 nm (**Gambar 2.2**) dengan ukuran nanopartikel kisaran 18-40 nm.



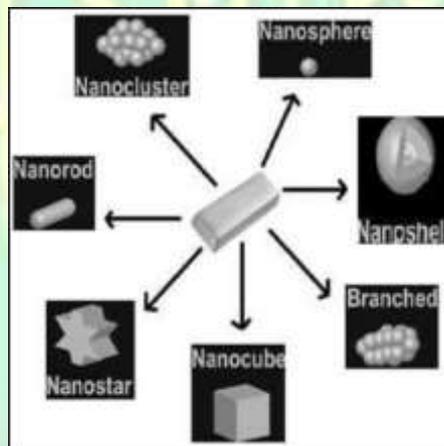
Gambar 2.1 Perubahan warna pada proses pembentukan AuNPs dengan variasi waktu (Lembang dkk, 2014)



Gambar 2.2 Spektra UV-Vis panjang gelombang maksimum sintesis AuNPs dengan variasi waktu (Lembang dkk, 2014)

Pada umumnya AuNPs memberikan puncak khas absorpsi plasmon permukaan yang kuat dari 500-550 nm yang muncul dari osilasi kolektif pada elektron konduksi sehingga terjadi eksitasi resonan yang menghasilkan foton. Pita plasmon permukaan tidak muncul pada material dalam bentuk ruahnya (Rohiman dkk, 2014). Hal ini didukung dengan penelitian Das dkk, (2010) yang menyebutkan bahwa sintesis nanopartikel emas menggunakan ekstrak etanol daun pegagan menghasilkan panjang gelombang maksimum sebesar 534 nm dan memiliki bentuk AuNPs yang dominan bulat (*spherical*) dengan ukuran nanopartikel rata-rata sebesar 9,3-10,9 nm.

Nanopartikel emas bersifat unik dalam sistem skala nano karena sifatnya yang mudah untuk disintesis dan dimodifikasi. Nanopartikel emas mempunyai beberapa elemen yang dapat dirubah seperti selektivitas, ukuran, bentuk dan biokompatibilitas. Bentuk dan ukuran nanopartikel emas sangat penting dalam sintesis nanopartikel (Lee dkk, 2008). Nanopartikel emas dapat disintesis dalam berbagai morfologi dan ukuran, berkisar antara 1 sampai 80 nm serta memiliki bentuk yang berbeda-beda (**Gambar 2.3**) seperti bola, oktahedral, dekahedral, tetrahedral, *nanotriangles*, *nanoprisms*, dan *nanorods* (Khan dkk, 2014). Akibat ukuran nanopartikel yang kecil dan luas permukaan yang besar, maka sifat dari nanopartikel akan cenderung untuk beragregasi. Agregasi merupakan salah satu mekanisme yang dapat menyebabkan destabilisasi koloid (Lee dkk, 2008).



Gambar 2.3 Bentuk-bentuk nanopartikel emas (Deb dkk, 2011)

2.1.3 Pemanfaatan Nanopartikel Emas

Nanopartikel emas merupakan bidang yang sedang dikembangkan oleh para ilmuwan dunia karena sifatnya yang unik dan memiliki kegunaan yang luas dalam berbagai bidang. Nanopartikel emas merupakan koloid yang tidak aktif dan tidak

beracun. Aplikasi dari nanopartikel emas termasuk penggambaran (*imaging*), pembuatan obat, sebagai antibakteri, antifungal serta antikanker, elektronik, kosmetik, pelapisan (*coating*), remediasi lingkungan, pembawaan obat target dan gen, teranostik, vaksin dan sebagai biosensor (Khan dkk, 2018; Rai dkk, 2012; Singh dkk, 2015; Bogdanovic dkk, 2014).

Nanopartikel emas memiliki sifat-sifat yang unik yang dapat dieksplor untuk aplikasi bidang biomedis dan kosmetik seperti penelitian yang dilakukan oleh Amiruddin dan Taufikurrohmah (2013) yang mensintesis nanopartikel emas dengan matriks bentonit sebagai material peredam radikal bebas dalam kosmetik karena adanya sifat antioksidan dalam emas. Hayati (2013), juga telah melakukan penelitian nanopartikel emas yang dapat dimanfaatkan untuk menurunkan resiko penyakit *Diabetes Melitus*. Keberadaan nanopartikel emas berpotensi sebagai agen hipoglikemik dengan membantu proses pemindahan glukosa ke dalam sel. Hal inilah yang menyebabkan nanopartikel emas dapat menurunkan kadar glukosa dalam darah.

Pada penelitian Artini, (2013) juga disebutkan bahwa nanopartikel emas pada terapi kanker dapat digunakan sebagai *drug-delivery vehicle (carrier)*, *contrast agent (imaging)*, *diagnostic device*, platform untuk *theranostic agents*, antioksidan (mampu bereaksi dengan radikal bebas di jaringan), *in vivo tumor targeting* serta probe pada riset preklinik untuk studi molekuler penyakit.

2.2 Daun Pegagan (*Centella asiatica L.*)

Pegagan (*Centella asiatica L.*) merupakan tanaman liar yang banyak tumbuh di perkebunan, ladang, tepi jalan, pematangan sawah ataupun di ladang

agak basah. Tanaman ini berasal dari daerah asia tropis, kemudian menyebar ke berbagai negara termasuk India, Cina, Jepang, Australia dan Indonesia. Nama lain dari tanaman ini adalah daun kaki kuda dan antanan. Pegagan sudah ditetapkan sebagai tanaman obat herbal penting sejak tahun 1884 yang digunakan untuk berbagai aplikasi pengobatan dengan memanfaatkan bagian daun dari pegagan (Jhansi dan Kola, 2019).

Pegagan ini hidup dengan optimum pada tanah yang agak lembab, cukup sinar serta dapat dijumpai di daerah dataran rendah sampai dengan dataran yang memiliki ketinggian 2.500 meter dpl. Secara empiris tanaman pegagan mempunyai syarat tumbuh spesifik dalam hal kebutuhan cahaya matahari, yang akan memengaruhi bentuk morfologi daun dan kandungan bioaktif (Sutardi, 2016).

2.2.1 Morfologi dan Identifikasi Daun Pegagan

Pegagan merupakan tanaman herba tahunan yang tumbuh di daerah tropis dan berbunga sepanjang tahun. Pegagan tumbuh merayap menutupi tanah, tidak memiliki batang, tinggi tanaman antara 10-50 cm, dan akar merayap (Sutardi, 2016).



Gambar 2.4 Tanaman pegagan umur 60 hari setelah tanam (Sutardi, 2016)

Pegagan memiliki daun satu helaian yang tersusun dalam roset akar dan terdiri dari 2-10 helai daun. Daun berwarna hijau dan berbentuk seperti kipas, buah

berbentuk pinggang atau ginjal dengan garis tengah sampai 10 cm (Rohmawati, 2015). Pegagan juga memiliki daun yang permukaannya dan punggungnya licin, tepi daun agak melengkung ke atas, bergigi dan kadang-kadang berambut, tulang daunnya menjari berpusat di pangkal dan tersebar ke ujung serta daunnya berdiameter sebesar 1-7 cm.

Pegagan memiliki tangkai daun berbentuk pelepah, sedikit panjang dan berukuran 5-15 cm. Pada tangkai daun pegagan terdapat daun sisik yang sangat pendek, licin, tidak berbulu, berpadu dengan tangkai daun di pangkalnya (Rohmawati, 2015). Klasifikasi tanaman pegagan (*Centella asiatica L.*) yakni sebagai berikut (Olivia, 2020):

Kingdom : Plantae
Divisi : Tracheophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Apiales
Family : Apiaceae
Genus : *Centella*
Spesies : *Centella asiatica (L.) Urban*

Pegagan diketahui mengandung berbagai bahan aktif seperti triterpeneoid, saponin, triterpeneoid genin, minyak atsiri, flavonoid, fitosterol, dan bahan aktif lainnya. Kandungan bahan aktif yang terpenting adalah triterpenoid dan saponin, yang meliputi asiatikosida, sentelosida, madecosida, dan asam asiatik serta komponen lain seperti minyak volatile, flavonoid, tanin, fitosterol, asam amino dan karbohidrat. Semua kandungan aktif tersebut merupakan senyawa antioksidan yang dapat dimanfaatkan manusia dalam berbagai bidang (Sutardi, 2016).

2.3 Sintesis Nanopartikel Emas

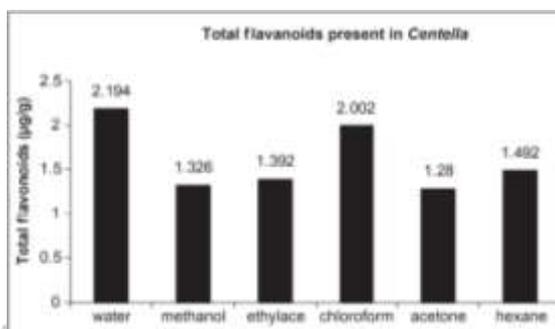
Nanopartikel emas dapat diproduksi menggunakan berbagai metode yakni metode fisika, kimia, dan biologi. Metode fisika seperti *ball milling*, teknik litografik, difusi api nanopartikel, penyemprotan pirolisis. Sedangkan metode kimia yang sering digunakan yaitu reduksi kimia, fotokimia, dan sonokimia. Namun, penggunaan sinar radiasi dan bahan kimia ini dapat menimbulkan efek samping karena merupakan bahan yang sangat beracun untuk lingkungan. Selain keracunan bahan kimia tersebut, metode di atas juga tidak efektif karena dapat menyebabkan kerugian untuk sintesis nanopartikel pada skala industri. Oleh karena itu, metode biosintesis yang ramah lingkungan (*green synthesis*) merupakan solusi yang tepat dengan memanfaatkan tumbuhan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel emas (Lembang dkk, 2014).

2.3.1 *Green Synthesis* Nanopartikel Emas

Prinsip kerja tanaman dalam mereduksi nanopartikel emas adalah kemampuan senyawa bioaktif pada tanaman yang mampu mereduksi Au yang bermuatan (Au^{3+}) menjadi nanopartikel Au^0 . Daun pegagan menunjukkan aktivitas antioksidan yang dibuktikan pada penelitian Nasri dkk, (2014) dimana ekstrak air daun pegagan memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi, dengan nilai IC_{50} 31,25 mg.mL.

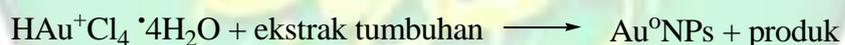
Penelitian Anand dkk, (2010) juga membuktikan bahwa ekstrak air daun pegagan mengandung kadar flavonoid tertinggi (2,194 $\mu\text{g/g}$) yang dapat berperan sebagai zat pereduksi. Kemampuan mereduksi tersebut disebabkan oleh adanya gugus aktif yang berasal dari metabolit sekunder seperti alkida, amida, fenolik dan alcohol, amina dan karboksilat, serta alkenil. Sifat dari golongan flavonoid ini

mudah mengalami oksidasi (pelepasan elektron) dapat mempermudah proses pembentukan nanopartikel emas yang mengalami proses reduksi (GM dkk, 2021).



Gambar 2.5 Kandungan total flavonoid pada ekstrak air daun pegagan (Anand dkk, 2010)

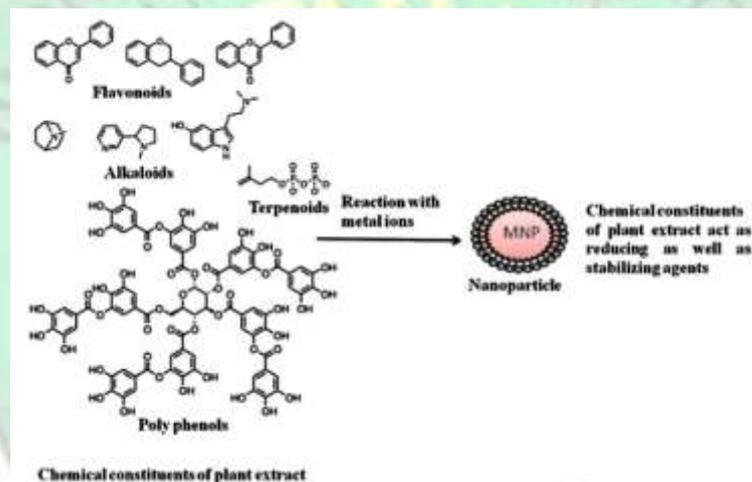
Das dkk, (2010) telah melakukan penelitian berupa sintesis nanopartikel emas dengan menggunakan ekstrak etanol daun pegagan sebagai pereduksi dan diketahui bahwa peran fenolik yang mempunyai sifat antioksidan dapat mereduksi nanopartikel emas. Berikut kemungkinan mekanisme terbentuknya nanopartikel emas dengan bioreduktor (Kuppusamy dkk, 2016):



Sistem tumbuhan dapat mensintesis partikel nano baik secara intraseluler dan ekstraseluler. Sintesis intraseluler nanopartikel logam adalah menumbuhkan tanaman di media organik yang kaya logam. Sedangkan metoda ekstraseluler adalah sintesis nanopartikel menggunakan ekstrak daun dibuat dengan cara merebus dan menghancurkan daun dari tanaman tersebut (Willian dan Pardi, 2021).

Metode reduksi melibatkan dua langkah yaitu proses reduksi ion logam oleh agen pereduksi dalam hal ini yakni ekstrak tanaman, selanjutnya proses stabilisasi oleh *capping agent*. Pada proses sintesis akan terjadi tumbukan antar partikel emas

(Au⁰) dan pergerakan partikel yang tidak terkontrol sehingga menyebabkan agregasi dan ukuran partikel yang lebih besar. Hal tersebut dapat dicegah menggunakan capping agent yang berfungsi sebagai pengikat AuNPs pada bagian luar sehingga dapat mengurangi kontak langsung antar Au⁰. Selain berperan sebagai reduktor dalam sintesis nanopartikel emas, senyawa aktif tanaman juga berperan sebagai *capping agent* dan stabilisator. Mittal dkk, (2013), dalam penelitiannya telah menjelaskan kemungkinan mekanisme pelapisan Au⁰ dengan metabolit sekunder yang terdapat dalam tumbuhan seperti, flavonoid, alkaloid, terpenoid dan golongan polifenol lainnya (**Gambar 2.6**).



Gambar 2.6 Perkiraan proses stabilisasi AuNPs dengan senyawa aktif tumbuhan (Mittal dkk, 2013)

2.3.2 Pemanasan Menggunakan Oven Pada Proses Sintesis Nanopartikel Emas

Oven merupakan sebuah peralatan berupa ruang termal terisolasi yang digunakan untuk memanaskan, memanggang, dan mengeringkan suatu bahan. Penggunaan oven biasanya digunakan untuk skala kecil. Oven yang kita gunakan

adalah elektrik oven yaitu oven yang terdiri dari beberapa tray didalamnya, serta memiliki sirkulasi udara didalamnya (Saputra dan Ningrum, 2010).

Kelebihan dari oven yaitu produk yang dihasilkan akan lebih higienis karena dalam prosesnya alat pengering oven memiliki ruang termal yang terisolasi sehingga proses pencemaran dari lingkungan luar bisa dihindari, selain itu juga pengeringan atau pemanasan menggunakan oven dapat merata keseluruhan bagian sampel serta suhu dan kondisi operasi pengeringan dapat diatur, sehingga kondisi cuaca tidak berpengaruh terhadap proses pengeringan menggunakan alat pengering oven (Saputra dan Ningrum, 2010).



Gambar 2.7 Oven *Thermo Scientific* Heraeus UT (Saputra dan Ningrum, 2010)

Pada prinsipnya proses sintesis nanopartikel emas umumnya dilakukan dengan bantuan pemanasan secara konvensional maupun non-konvensional. Sintesis nanopartikel emas dapat menggunakan bantuan oven, dimana memanfaatkan energi panas dalam oven tersebut. Proses pemanasan dalam sintesis nanopartikel berfungsi untuk mempercepat proses reaksi pembentukan nanopartikel emas. Hal tersebut tentunya harus dilakukan pengontrolan terhadap suhu dan waktu pemanasan agar senyawa antioksidan dan senyawa metabolit sekunder dalam ekstrak bahan alam dapat digunakan secara optimum tanpa adanya kerusakan gugus fungsi (Shofa, 2021).

2.4 Karakterisasi Nanopartikel Emas

2.4.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri adalah pengukuran absorpsi energi cahaya oleh suatu molekul pada suatu panjang gelombang tertentu untuk tujuan analisa kualitatif dan kuantitatif. Bila suatu molekul dikenakan radiasi elektromagnetik maka molekul tersebut akan menyerap radiasi elektromagnetik yang energinya sesuai. Hukum Lambert-Beer menyatakan bahwa intensitas yang diserap oleh larutan zat berbanding lurus dengan tebal dan konsentrasi larutan dan berbanding terbalik dengan transmittan (Underwood dan Day, 1986). Daerah pengukuran spektrofotometri UV-Vis adalah pada panjang gelombang 180-380 nm untuk daerah ultra violet (UV) dan 380-780 nm untuk visibel (tampak) (Khopkar, 2007).

Tabel 2.2 Spektrum tampak dan warna-warna komplementer

λ (nm)	Warna yang diserap	Warna sinar diteruskan
400-435	Ungu muda	Hijau kekuningan
435-480	Biru	Kuning
480-490	Biru kehijauan	Orange
490-500	Hijau kebiruan	Merah
500-560	Hijau	Ungu tua
560-580	Hijau kekuningan	Ungu muda
580-595	Kuning	Biru
595-605	Orange	Biru kehijauan
605-750	Merah	Hijau kebiruan

Sumber: Sukindro, 2011

Bagian-bagian yang penting pada spektrofotometer UV-Vis, yaitu: (a) Sumber energi radiasi (lampu *wolfman*) untuk daerah ultraviolet dan daerah cahaya tampak; (b) Monokromator untuk mengisolasi suatu berkas sinar sempit dari panjang gelombang yang dipancarkan oleh sumber; (b) Sel kuvet untuk cuplikan; (c) Detektor yang merupakan suatu *transducer* yang dapat merubah energi radiasi

menjadi sinyal listrik serta sistem pembacaan; dan (d) Recorder digunakan sebagai perekam absorbansi yang dihasilkan dari pengukuran (Khopkar, 2007).

Semua molekul dapat mengabsorpsi radiasi daerah UV-Vis karena mengandung elektron, baik sekutu maupun menyendiri, yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi. Cahaya yang diserap oleh suatu zat berbeda dengan cahaya yang ditangkap oleh mata manusia. Cahaya yang tampak atau cahaya yang dilihat dalam kehidupan sehari-hari disebut warna komplementer. Misalnya suatu zat akan berwarna orange bila menyerap warna biru dari spektrum sinar tampak dan suatu zat akan berwarna hitam bila menyerap semua warna yang terdapat pada spektrum sinar tampak (Underwood dan Day, 1986).

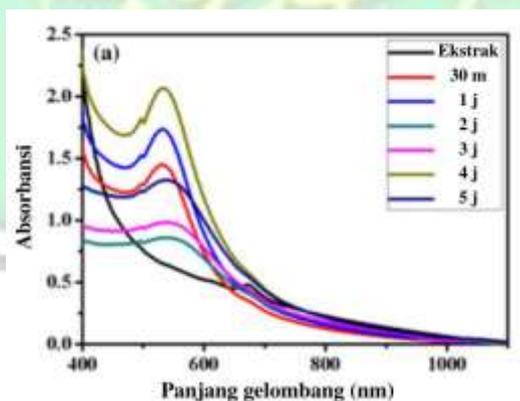
Spektrofotometer digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif suatu senyawa (Fessenden dan Fessenden, 1986). Nilai absorbansi dapat menunjukkan secara kuantitatif jumlah nanopartikel yang terbentuk. Sementara panjang gelombang maksimum menunjukkan analisa secara kualitatif. Pergeseran panjang gelombang maksimum dipengaruhi oleh ukuran partikelnya. Semakin besar panjang gelombang maksimum semakin besar pula ukuran nanopartikel yang dihasilkan.

Spektrofotometer UV-Vis juga digunakan untuk mengetahui karakteristik yang unik dari nanopartikel. Terbentuknya nanopartikel dapat dilihat dari munculnya panjang gelombang maksimum di kisaran 500-550 nm. Perubahan warna dari kuning menjadi merah hingga ungu (tergantung pada ukuran partikel) dapat dijadikan sebagai salah satu indikator terbentuknya nanopartikel emas. Warna merah anggur yang terbentuk mengindikasikan telah terjadinya reduksi ion Au^{3+} menjadi Au^0 (Lestari dan Cahyadi, 2022).

Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian oleh Boomi dkk, (2020), yang berhasil mensintesis nanopartikel emas dengan menggunakan ekstrak daun puring. Perubahan warna juga diperoleh dari larutan yang awalnya berwarna kuning menjadi berwarna ungu (**Gambar 2.8**) yang menunjukkan adanya reduksi ion emas menjadi nanopartikel emas. Selain itu, pada penelitian tersebut juga dilakukan pengukuran serapan maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan menghasilkan AuNPs pada panjang gelombang 532 nm (**Gambar 2.9**) dengan ukuran rata-rata nanopartikel sebesar 17 nm.



Gambar 2.8 Perubahan warna dari kuning menjadi ungu pada pembentukan AuNPs (Boomi dkk, 2020)



Gambar 2.9 Pengukuran panjang gelombang maksimum hasil sintesis AuNPs (Boomi dkk, 2020)

Hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis ditampilkan dengan puncak serapan permukaan plasmon. Plasmon adalah sifat eksitasi kolektif

konduksi elektron pada suatu logam. Umumnya puncak serapan permukaan plasmon dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, morfologi, dan komposisi dari nanopartikel emas. Panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) berkaitan dengan ukuran dari nanopartikel yang dihasilkan. Semakin besar λ_{maks} , maka semakin besar pula ukuran nanopartikel karena energi eksitasi semakin kecil dikarenakan jarak yang ditempuh elektron untuk bereksitasi semakin kecil (Roddu, 2021). Sifat khas ukuran nanopartikel ditinjau dari serapan maksimumnya dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Produk nanopartikel emas

Diameter	Panjang gelombang maksimum
5 nm	510-525 nm
10 nm	510-525 nm
15 nm	510-525 nm
20 nm	518-522 nm
30 nm	524-527 nm
40 nm	529-533 nm
50 nm	533-536 nm
60 nm	538-544 nm
80 nm	551-557 nm
100 nm	564-574 nm

Sumber: *Sigma Aldrich*, 2022

2.4.2 Mikroskop Olympus (Cx22)

Mikroskop merupakan alat yang dapat menghasilkan bayangan dari benda yang di mikroskop menjadi lebih besar. Pembesaran ini tergantung pada berbagai faktor, diantaranya titik fokus kedua lensa (objektif dan okuler), panjang tubulus atau jarak lensa objektif terhadap lensa okuler dan yang ketiga adalah jarak pandang mata normal (Haryanti, 2019).

Ada dua jenis mikroskop berdasarkan pada penampakan objek yang diamati yaitu mikroskop dua dimensi dan mikroskop tiga dimensi. Sedangkan berdasarkan

sumber cahayanya mikroskop dibedakan menjadi mikroskop cahaya dan mikroskop elektron yaitu: mikroskop elektron transmisi (TEM) dan mikroskop elektron payar (SEM) (Campbell dan Reece, 2008).

Bayangan benda (obyek) yang kita lihat dibentuk dan diperbesar oleh lensa obyektif, didalam tubus mikroskop membentuk bayangan nyata terbalik dari obyek. Bayangan nyata tersebut selanjutnya dibalik dan diperbesar lagi oleh lensa okuler. Lensa okuler merupakan lensa yang berfungsi untuk membuat bayangan terakhir, sehingga dapat dilihat langsung oleh mata pengamat (Haryanti, 2019).

Beberapa lensa obyektif biasanya dipasang pada roda berputar yang disebut revolver. Setiap lensa obyektif dapat diputar ke tempat yang sesuai dengan pembesaran yang diinginkan. Lensa obyektif dibuat dalam beberapa pembesaran yang berbeda, yaitu 4x, 10x, 40x, dan 100x, demikian juga lensa okuler tersedia beberapa pembesaran, yakni 4x, 10x, 16x, dan 20x. Lensa okuler dipasang paada ujung dalam tubus dan biasanya yang dipasang adalah yang pembesaaran 10x. Maka, apabila mengamati obyek menggunakan lensa okuler pembesaran 10x dan lensa obyektif 40x, maka pembesaran obyek yang dapat dilihat menjadi 400x dibanding besarnya obyek yang sebenarnya (Haryanti, 2019).

Kondensor berfungsi sebagai pengatur intensitas cahaya yang masuk ke dalam mikroskop. Kondensor mempunyai dua bagian penting, yaitu susunan lensa untuk mengumpulkan sinar sebelum masuk ke dalam obyek dan lensa obyektif serta diafragma berfungsi untuk mengatur sinar tepi yang masuk ke dalam lensa obyektif dan okuler (Haryanti, 2019).

Ada dua proses yang terjadi saat kita menggunakan mikroskop, yaitu yang pertama proses perbesaran mikroskop dapat menyebabkan benda-benda kecil

terlihat besar dan mampu membesarkan objek. Kedua yakni proses penguraian mikroskop dapat memperjelas pola-pola rumit yang tidak terlihat oleh mata telanjang (James dkk, 2002).



Gambar 2.10 Mikroskop Olympus Cx22 (James dkk, 2002)

Mikroskop optik/cahaya merupakan mikroskop yang menggunakan lensa dari gelas dan cahaya matahari atau lampu sebagai sumber penyinaran. Dalam mikroskop cahaya, cahaya tampak diteruskan melalui spesimen dan kemudian melalui lensa kaca. Lensa ini merefraksi (membengkokkan) cahaya sedemikian rupa sehingga citra spesimen diperbesar ketika diproyeksikan ke mata, ke film fotografi atau sensor digital, atau ke layar video (Haryanti, 2019).

Mikroskop optik terdiri atas 2 yaitu, mikroskop biologi dan stereo. Mikroskop biologi digunakan untuk pengamatan benda tipis transparan, memiliki lensa okuler dan lensa objektif dengan pembesaran diantaranya objektif 4x dengan okuler 10x, pembesaran 40x 2; Objektif 10x dengan okuler 10x, pembesaran 100x 3; Objektif 40x dengan okuler 10x, pembesaran 400x 4; dan Objektif 100x dengan okuler 10x, pembesaran 1000x (Haryanti, 2019).

BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Desember 2021-Maret 2022 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 yang digunakan dalam penelitian ini antara lain neraca analitik, spatula, gelas arloji, pipet tetes, beaker glass 50 mL dan 100 mL, corong gelas, labu takar 50 mL dan 500 mL, botol semprot, *heating oven* (*Thermo Scientific Hereaus*), spektrofotometer UV-Vis dan mikroskop Olympus Cx22 yang terhubung dengan kamera optilab (perbesaran 40, 100, dan 400 kali).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun pegagan (*Centella Asiatica L.*) yang diperoleh di UPT Laboratorium Herbal Materia Medica kota Batu, emas murni 99,9%, asam klorida (HCl) *p.a.*, asam nitrat (HNO₃) *p.a.*, akuades, akuabides, akuademin, kertas saring whatman no. 42, *aluminium foil*, dan *plastic wrap*.

3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini bersifat *experimental laboratory*, yakni sintesis nanopartikel emas (Au) dengan metode biosintesis memanfaatkan senyawa aktif pada tanaman berupa ekstrak air daun pegagan (*Centella Asiatica L.*) sebagai

bioreduktor. Tahap pertama dilakukan pengambilan sampel daun pegagan (*Centella Asiatica L.*) yang kemudian akan dipreparasi menggunakan akuabides dan didapatkan ekstrak air sampel daun pegagan. Tahap selanjutnya, pembuatan larutan HAuCl_4 dengan melarutkan emas murni kedalam larutan $\text{HCl} : \text{HNO}_3$ *p.a* (3:1) dan ditambah akuabides.

Larutan HAuCl_4 tanpa penambahan bioreduktor diukur panjang gelombang maksimumnya untuk digunakan sebagai blanko dan sisanya disintesis dengan penambahan bioreduktor ekstrak air daun pegagan dengan variasi volume bioreduktor, waktu, dan suhu pemanasan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Perbandingan volume bioreduktor, waktu dan suhu pemanasan

Volume Bioreduktor (mL)	Waktu Pemanasan (menit)	Suhu Pemanasan (°C)
0,3	10	40
0,6	25	60
0,9	40	80
1,2	55	100
1,5	70	120
2		
2,5		

Selanjutnya, perlakuan di atas dilakukan pengulangan sebanyak 3x. Hasil yang didapat berupa larutan berwarna *cherry red* yang akan diukur λ_{maks} serta absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm. Tahap berikutnya, nanopartikel emas dikarakterisasi dengan mikroskop untuk menentukan morfologi dan bentuk nanopartikel emas.

3.4 Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Pemilihan dan preparasi sampel bioreduktor ekstrak daun pegagan

2. Pembuatan larutan HAuCl_4 0,5 mM
3. Sintesis nanopartikel emas dengan bantuan pemanasan menggunakan oven
4. Karakterisasi nanopartikel emas dengan spektrofotometri UV-Vis dan mikroskop
5. Menganalisa data (validasi data) yang diperoleh

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Pemilihan dan Preparasi Sampel Bioreduktor Ekstrak Daun Pegagan

Pada penelitian ini digunakan sampel berupa tanaman pegagan. Tanaman ini diperoleh di UPT Laboratorium Herbal Materia Medica kota Batu. Bagian tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun pegagan dalam kondisi segar. Daun pegagan dipetik dan dicuci dengan menggunakan akuades hingga bersih. Kemudian daun yang telah bersih dikeringkan dan digiling menjadi serbuk halus. Serbuk tersebut ditimbang sebanyak 1 gram, lalu diekstraksi dengan pelarut aquabides sebanyak 10 ml selama 24 jam menggunakan *magnetic stirrer* (100 rpm; 25°C) (Das dkk, 2010). Larutan ekstrak disaring menggunakan kertas *whatman* no.42 dan filtratnya diencerkan dengan 25 ml aquabides kemudian disimpan di lemari pendingin (Amin dkk, 2020). Sampel yang didapatkan berupa filtrat daun pegagan yang siap digunakan untuk sintesis nanopartikel emas.

3.5.2 Pembuatan dan Penentuan λ_{maks} Larutan HAuCl_4 0,5 mM

Pembuatan larutan HAuCl_4 0,5 mM mengacu pada prosedur yang dikembangkan oleh penelitian Lembang dkk, (2014) yakni larutan HAuCl_4 0,5 mM dibuat dengan melarutkan 0,0493 gram emas ke dalam aquaregia ($\text{HCl} : \text{HNO}_3$ (3:1)) sebanyak 4 mL dengan dibantu pemanasan, kemudian ditambahkan dengan akuademin hingga volume 500 mL dan dihomogenkan. Larutan HAuCl_4 dikocok,

lalu dapat langsung digunakan. Tahap berikutnya, larutan HAuCl_4 dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-400 nm.

3.5.3 Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas

3.5.3.1 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Volume Bioreduktor

Sintesis nanopartikel emas dilakukan dengan mencampurkan larutan HAuCl_4 0,5 mM dan ekstrak air daun pegagan (Lembang dkk, 2014). Prosedur tahap ini mengacu pada penelitian Ankamwar (2010) yang dimodifikasi yaitu menggunakan larutan HAuCl_4 0,5 mM sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam botol vial 10 mL, lalu ditambahkan 0,3 mL ekstrak air daun pegagan. Kemudian sintesis nanopartikel emas dilakukan dengan bantuan pemanasan selama 25 menit pada suhu 60°C (Amin dkk, 2020) dan terjadi perubahan warna menjadi warna *cherry red* (Ankamwar, 2010). Digunakan variasi volume bioreduktor ekstrak air daun pegagan sebanyak 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 2; 2,5 mL (Khalil dkk, 2012). Percobaan ini dilakukan dengan 3x ulangan. Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm dan didapatkan hasil spektrum UV-Vis dengan absorbansi volume bioreduktor paling stabil (optimum).

Tabel 3.2 Variasi volume bioreduktor pada sintesis nanopartikel emas

Volume Bioreduktor (mL)	Lar. HAuCl_4 0,5 mM (mL)	Volume H_2O (mL)	Waktu (menit)
0,3	5	4,7	25
0,6	5	4,4	25
0,9	5	4,1	25
1,2	5	3,8	25
1,5	5	3,5	25
2	5	3,0	25
2,5	5	2,5	25

3.5.3.2 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Waktu Pemanasan

Sintesis nanopartikel emas dilakukan dengan mencampurkan larutan HAuCl₄ 0,5 mM dan ekstrak air daun pegagan (Lembang dkk, 2014). Prosedur tahap ini mengacu pada penelitian Ankamwar (2010) yang dimodifikasi yaitu menggunakan larutan HAuCl₄ 0,5 mM sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam botol vial 10 mL, lalu ditambahkan volume terbaik ekstrak air daun pegagan pada percobaan 3.5.3.1. Kemudian sintesis nanopartikel emas dilakukan dengan bantuan pemanasan pada suhu 25°C (Amin dkk, 2020) dan terjadi perubahan warna menjadi warna *cherry red* (Ankamwar, 2010). Digunakan variasi waktu pemanasan sintesis nanopartikel emas selama 10, 25, 40, 55, dan 70 menit. Percobaan ini dilakukan dengan 3x ulangan. Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm dan didapatkan hasil spektrum UV-Vis dengan absorbansi waktu pemanasan paling stabil yang akan digunakan pada prosedur selanjutnya. Berikut tabel variasi waktu pemanasan pada sintesis nanopartikel emas:

Tabel 3.3 Variasi waktu pemanasan pada sintesis nanopartikel emas

Volume Bioreduktor (mL)	Lar. HAuCl ₄ 0,5 mM (mL)	Waktu (menit)
Hasil volume terbaik pada Tabel 3.2	5	10
	5	25
	5	40
	5	55
	5	70

3.5.3.3 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Suhu Pemanasan

Sintesis nanopartikel emas dilakukan dengan mencampurkan larutan HAuCl₄ 0,5 mM dan ekstrak air daun pegagan (Lembang dkk, 2014). Prosedur tahap ini mengacu pada penelitian Ankamwar (2010) yang dimodifikasi yaitu menggunakan larutan HAuCl₄ 0,5 mM sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam

botol vial 10 mL, lalu ditambahkan volume terbaik ekstrak air daun pegagan pada percobaan 3.5.3.1 dengan waktu pemanasan terbaik pada percobaan 3.5.3.2 dan terjadi perubahan warna menjadi warna *cherry red* (Ankamwar, 2010). Digunakan variasi waktu suhu pemanasan sintesis nanopartikel emas pada suhu 40, 60, 80, 100, dan 120°C. Percobaan ini dilakukan dengan 3x ulangan. Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm dan didapatkan hasil spektrum UV-Vis dengan absorbansi suhu pemanasan paling stabil yang akan digunakan pada prosedur selanjutnya. Berikut tabel variasi waktu pemanasan pada sintesis nanopartikel emas:

Tabel 3.4 Variasi suhu pemanasan pada sintesis nanopartikel emas

Volume Bioreduktor (mL)	Lar. HAuCl ₄ 0,5 mM (mL)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
	5		40
Hasil volume terbaik pada Tabel 3.2	5	Hasil waktu pemanasan terbaik pada Tabel 3.3	60
	5		80
	5		100
	5		120

3.5.4 Karakterisasi Nanopartikel Emas

3.5.4.1 Karakterisasi Nanopartikel Emas dengan Spektrofotometer UV-Vis

Nanopartikel emas dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis yang bertujuan untuk menentukan terbentuknya nanopartikel emas dengan variasi volume bioreduktor, waktu pemanasan, serta suhu pemanasan. Pengukuran spektrofotometer UV-Vis ini dilakukan pada masing-masing perlakuan dengan cara mencari λ_{maks} . Hal tersebut bertujuan untuk menghasilkan puncak-puncak yang beragam, dimana puncak-puncak ini menyatakan perbedaan ukuran partikel yang dihasilkan.

3.5.4.2 Karakterisasi Nanopartikel Emas dengan Mikroskop

Nanopartikel emas dikarakterisasi dengan mikroskop yang bertujuan untuk mengetahui morfologi dan bentuk nanopartikel emas. Sampel yang telah dipreparasi diletakkan pada kaca preparat untuk dikarakterisasi dengan menggunakan mikroskop Olympus Cx22 yang telah terhubung dengan kamera optilab pada perbesaran 40-400 kali. Hasil dari kamera optilab dapat *discreen-capture* karena telah terhubung pada perangkat komputer, hal ini untuk mengetahui morfologi serta bentuk nanopartikel emas.

3.5.5 Analisa Data

Hasil sintesis nanopartikel emas dengan ekstrak air daun pegagan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis dan mikroskop. Pengamatan pada spektrofotometer UV-Vis dilakukan dengan serapan panjang gelombang dan absorbansi selama selang waktu tertentu. Sedangkan pengamatan pada mikroskop didapatkan berupa bentuk morfologi dan bentuk dari nanopartikel emas.

3.5.5.1 Hubungan Antara Volume Bioreduktor, Waktu Pemanasan, dan Suhu Pemanasan dengan Absorbansi

Nilai absorbansi dan panjang gelombang (400-800 nm) yang didapat dari pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis ditambahkan ke dalam tabel dan dihitung untuk mendapatkan nilai volume bioreduktor, waktu, dan suhu pemanasan terbaik yang akan dianalisis pada tahap terakhir yaitu uji statistik dengan *one way anova* dan uji BNJ untuk mengetahui pengaruh dari variasi volume bioreduktor, waktu, dan suhu pemanasan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan dan Preparasi Sampel Bioreduktor Ekstrak Daun Pegagan

Sintesis nanopartikel emas (AuNPs) pada penelitian ini menggunakan metode biosintesis yang memanfaatkan senyawa organik dari tumbuhan. Senyawa organik dalam tumbuhan dapat berpotensi sebagai bioreduktor karena memiliki kemampuan antioksidan dari gugus aktinya. Ekstrak tumbuhan yang digunakan sebagai zat pereduksi sekaligus zat penstabil adalah ekstrak daun pegagan yang masih segar dan kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk (**Gambar 4.1**).

Gambar 4.1 Serbuk daun pegagan (*Centella Asiatica L.*)

Daun pegagan telah dikenal sebagai tanaman yang mengandung banyak senyawa aktif salah satunya yakni flavonoid (Anand dkk, 2010). Pengambilan senyawa aktif dalam tumbuhan dapat dilakukan dengan ekstraksi pelarut. Larutan pengestraksi yang digunakan disesuaikan dengan kepolaran senyawa yang diinginkan. Menurut prinsip *like dissolves like*, suatu pelarut akan cenderung melarutkan senyawa yang mempunyai tingkat kepolaran yang sama, pelarut polar akan melarutkan senyawa polar dan sebaliknya. Penambahan aquabides pada perendaman serbuk daun pegagan berfungsi sebagai pelarut. Aquabides merupakan senyawa polar, sehingga dimungkinkan dapat melarutkan senyawa flavonoid dalam daun pegagan yang juga bersifat polar. Hal ini didukung dengan hasil penelitian Holil dan Griana (2020), yang menyebutkan bahwa pelarut air mampu mengikat 5 senyawa aktif dalam ekstrak daun kesambi (Flavonoid, tanin, triterpenoid, fenol, dan saponin). Filtrat pekat hasil ekstraksi tersebut, kemudian ditambahkan dengan

aquabides hingga 25 ml (**Gambar 4.2**), hal tersebut bertujuan untuk mengencerkan filtrat pekat agar mendapatkan ekstrak yang tepat sebagai bioreduktor.

Gambar 4.2 Perbedaan warna ekstrak pekat sebelum diencerkan (a) dan ekstrak yang sudah diencerkan hingga 25 ml (ekstrak yang digunakan) (b)

4.2 Pembuatan dan Penentuan λ_{maks} Larutan HAuCl_4 0,5 mM

Larutan HAuCl_4 dapat dibuat dengan melarutkan logam mulia emas sebanyak 0,0493 gram yang dilarutkan dalam 4 mL aquaregia. Penelitian ini menggunakan emas murni berbentuk lempengan sehingga memudahkan dalam proses penimbangan, pelarut aquaregia dibuat dengan mencampurkan $\text{HCl} : \text{HNO}_3$ (3:1). Pelarut aquaregia mampu melarutkan emas dengan sempurna, hal ini dikarenakan aquaregia bersifat asam kuat sehingga dapat melarutkan senyawa logam. Reaksi yang terjadi pada pembuatan larutan HAuCl_4 adalah reaksi redoks dimana ion Au yang tidak bermuatan (Au^0) teroksidasi menjadi ion Au trivalent (Au^{3+}) sehingga terbentuk anion tetrakloroaurat (III). Berikut adalah persamaan reaksinya (Kirana dan Taufikurrohmah, 2013):



Reaksi di atas juga menghasilkan produk samping berupa NO dan H_2 sehingga larutan dipanaskan pada suhu kurang lebih 120°C yang bertujuan untuk mempercepat lepasnya gas tersebut sehingga HAuCl_4 yang diperoleh bebas oksida nitrogen dengan ditandai dengan hilangnya uap putih pada larutan atau terbentuk endapan berwarna merah (**Gambar 4.3**). Proses akhir kisatan dilarutkan dengan akuabides untuk mengurangi kandungan logam lain yang mungkin terlarut dalam prekursor HAuCl_4 .

Gambar 4.3 Endapan H_{AuCl}₄ berwarna merah sebelum diencerkan

Larutan H_{AuCl}₄ berwarna bening kekuningan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada 200-400 nm bertujuan untuk mengukur panjang gelombang maksimal (λ_{max}) H_{AuCl}₄. Panjang gelombang maksimum larutan H_{AuCl}₄ 0,05 mM pada penelitian ini didapat 308,9 nm (**Gambar 4.4**), dimana panjang gelombang tersebut merupakan panjang gelombang awal sebelum penambahan bioreduktor dan belum terbentuknya AuNPs. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Huda dkk, (2009), pada penelitian tersebut dilakukan pengukuran panjang gelombang maksimum H_{AuCl}₄ dimana menghasilkan puncak serapan sebesar 308 nm.

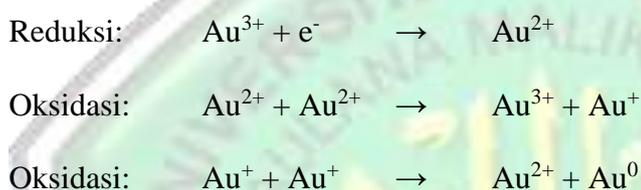
Gambar 4.4 Pengukuran panjang gelombang maksimum H_{AuCl}₄ 0,5 mM

4.3 Sintesis Nanopartikel Emas dengan *Heating Oven*

Nanopartikel emas pada penelitian ini disintesis dengan mencampurkan larutan H_{AuCl}₄ dengan bioreduktor ekstrak daun pegagan sebagai agen pereduksi dan penstabil. Senyawa organik dari tumbuhan pegagan berfungsi untuk mereduksi ion Au pada larutan H_{AuCl}₄ dalam bentuk trivalent (Au³⁺) menjadi unsur Au yang tidak bermuatan (Au⁰) dan hasil reduksinya juga distabilkan oleh senyawa yang terkandung dalam daun pegagan. Kandungan antioksidan yang tinggi dan dimungkinkan bioaktif penting seperti golongan polifenol dan flavonoid dalam tumbuhan pegagan inilah yang berperan penuh terhadap proses reduksi emas (Jhansi dan Kola, 2019). Perkiraan reaksi proses reduksi Au³⁺ menjadi Au⁰ oleh senyawa aktif pada tumbuhan pegagan ditunjukkan pada **Gambar 4.5** (Inayah dkk, 2014).

Gambar 4.5 Perkiraan reaksi reduksi Au^{3+} menjadi Au^0

Gambar tersebut menunjukkan perkiraan reaksi yang terjadi pada proses bioreduksi oleh senyawa aktif. Nanopartikel emas (Au^0) terbentuk melalui reaksi reduksi oksidasi dari ion Au^{3+} dengan senyawa aktif pada ekstrak tanaman yang mengandung gugus hidroksil, dimana gugus hidroksil ini mempunyai pasangan elektron bebas (PEB) yang dapat digunakan untuk mereduksi Au^{3+} . Selain keterlibatan senyawa aktif, kemungkinan terjadi reaksi disproporsionasi sehingga dihasilkan nanopartikel emas. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:



Reaksi disproporsionasi adalah reaksi redoks dimana oksidator dan reduktornya merupakan zat yang sama. Emas (Au^{3+}) bereaksi dengan elektron dari senyawa aktif membentuk Au^{2+} , lalu Au^{2+} akan bereaksi dengan sesamanya menghasilkan Au^{3+} dan Au^+ dimana Au^{3+} akan bereaksi kembali dengan elektron dan Au^+ akan bereaksi dengan sesamanya membentuk Au^{2+} dan Au^0 , kemudian Au^{2+} akan kembali bereaksi sesamanya (Inayah dkk, 2014).

Pada umumnya mekanisme pertumbuhan pada sintesis nanopartikel emas dengan bioreduktor terdiri dari 3 fase (**Gambar 4.6**). Fase aktivasi (fase 1), ion Au^{3+} dalam larutan HAuCl_4 tereduksi oleh tumbuhan membentuk Au^0 . Kemudian fase pertumbuhan (fase 2), fase ini dikenal dengan proses pematangan dimana nanopartikel kecil secara spontan bergabung menjadi partikel yang lebih besar. Fase terakhir yakni terminasi (fase 3), dimana nanopartikel emas *tercapping* dan terbentuk ukuran AuNPs dengan diameter tertentu.

Gambar 4.6 Mekanisme reduksi, pertumbuhan, dan pembentukan nanopartikel emas (Mittal dkk, 2013)

Pembentukan nanopartikel emas pada penelitian ini ditandai dengan adanya serapan khas puncak resonansi plasmon pada panjang gelombang 500-600 nm dan perubahan warna dari kuning jernih menjadi ungu (Lestari dan Cahyadi, 2022). Pada penelitian ini didapatkan panjang gelombang HAuCl_4 yakni 308,9 nm dan setelah dilakukan sintesis terjadi pergeseran batokromik ke panjang gelombang pada rentang 517-536 nm (**Lampiran 4**) yang mengindikasikan terbentuknya AuNPs. Menurut *Sigma Aldrich* (2022), nanopartikel emas berukuran 5-100 nm jika dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis memiliki panjang gelombang maksimum yaitu berkisar antara 515-572 nm. Hal tersebut didukung penelitian Hidayat (2019), yang telah berhasil mensintesis nanopartikel emas menggunakan bioreduktor ekstrak buah mengkudu dengan hasil panjang gelombang kisaran 502,1-582,9 nm dan pada karakterisasi menggunakan TEM menghasilkan ukuran rata-rata nanopartikel sebesar 22,81 nm.

Fenomena resonansi permukaan plasmon (SPR) merupakan salah satu karakteristik dari nanopartikel emas yang dapat diamati dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Resonansi permukaan plasmon adalah fenomena optik yang muncul karena adanya interaksi antara gelombang elektromagnetik dan gelombang elektron konduksi dalam logam. Di bawah iradiasi cahaya, konduksi elektron dalam struktur nanopartikel emas digerakkan oleh medan listrik untuk bergerak bolak-balik (berosilasi) secara kolektif pada frekuensi resonansi tertentu. Pita SPR jauh lebih kuat untuk nanopartikel plasmon (logam mulia, terutama Au dan Ag) dibandingkan logam lainnya. Intensitas dan panjang gelombang pita SPR

tergantung pada faktor-faktor yang mempengaruhi kerapatan muatan elektron pada permukaan partikel seperti jenis logam, ukuran partikel, bentuk, struktur, komposisi dan konstanta dielektrik (Huang dan El-Sayed, 2010).

Pita SPR dapat dibaca pada rentang panjang gelombang 520 – 570 nm (Dzimitrowicz dkk, 2019; Huang dan El-Sayed, 2010; Nur dan Nasir, 2014). Selain panjang gelombang, dalam spektrofotometer UV-Vis juga dapat diketahui absorbansi dari sampel. Absorbansi sampel nanopartikel emas yang diharapkan yaitu pada rentang 0,2 – 1,2 (Vellayanti, 2020). Hal ini didukung oleh hasil penelitian Rahma, (2019) yang mensintesis nanopartikel emas dengan ekstrak daun ketapang dan menghasilkan absorbansi pada rentang 0,2-0,4 dengan ukuran rata-rata AuNPs 13 nm. Pada puncak absorpsi plasmon permukaan dari 520-570 nm tersebut, frekuensi pita plasmon permukaan berada pada daerah visible yang menyerap warna biru dan memantulkan warna merah sehingga larutan AuNPs memberikan rentang warna dari merah hingga ungu (Pertiwi dkk, 2018).

Pada saat atom emas belum saling berinteraksi satu sama lain yakni larutan tidak berwarna, kemudian saat proses sintesis terjadi perubahan warna menjadi warna merah anggur yang menunjukkan adanya pertumbuhan *cluster*. Interaksi antara atom-atom Au dengan ikatan logam sesama akan menghasilkan *cluster* dalam jumlah yang sangat besar. Namun, kumpulan *cluster* yang terus-menerus semakin berkembang akan menyebabkan agregasi dan ukuran partikel yang lebih besar. Hal ini dapat dikendalikan dengan adanya agen penstabil dari senyawa aktif pada ekstrak daun pegagan dengan cara mengikat AuNPs pada bagian luar sehingga dapat mengurangi kontak langsung antar Au⁰ dan ukurannya dapat dikontrol sampai diameter tertentu. Parameter pengendalian nanopartikel emas dalam penelitian ini

dilakukan dengan menggunakan variasi volume bioreduktor, waktu, dan suhu pemanasan.

4.3.1 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Volume Bioreduktor

Variasi volume bioreduktor dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui volume optimum bioreduktor ekstrak daun pegagan pada proses sintesis nanopartikel emas (AuNPs). Tahap ini menggunakan variasi volume 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 2; dan 2,5 mL pada suhu 60°C selama pemanasan 25 menit (Amin dkk, 2020). Analisis spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengetahui terbentuknya nanopartikel emas dengan mengidentifikasi panjang gelombang maksimumnya. Spektra UV-Vis dari pengukuran panjang gelombang maksimum variasi volume bioreduktor ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.

Gambar 4.7 Spektra UV-Vis variasi volume bioreduktor

Gambar 4.8 Perubahan warna larutan dari kuning bening (bioreduktor) menjadi ungu (AuNPs) pada variasi volume bioreduktor

Hasil karakterisasi spektrofotometer UV-Vis variasi volume bioreduktor 0,3; 0,6; 0,9; dan 1,2 mL menghasilkan panjang gelombang (λ_{\max}) 517-526 nm dan menghasilkan warna larutan berwarna ungu muda dimana ini dapat menjadi indikasi terbentuknya AuNPs (**Gambar 4.8**). Menurut *Sigma Aldrich* (2022), AuNPs pada serapan maksimum 517-526 nm memiliki ukuran partikel kisaran 20-30 nm. Pada volume 1,5; 2; dan 2,5 mL tidak teridentifikasi profil spektranya ketika pengukuran λ_{\max} masing-masing volume. Sehingga, pada ketiga volume tersebut dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 517 nm dan

menghasilkan warna larutan yang semakin berwarna jingga (**Gambar 4.8**) dimana warna larutan tersebut tidak termasuk karakteristik AuNPs.

Warna jingga tersebut dimungkinkan karena adanya akumulasi warna dari reaktan (berwarna kuning) yang berlebih dengan produk yang berwarna merah anggur. Hal ini didukung dengan data pengukuran panjang gelombang maksimum sampel bioreduktor daun pegagan yang diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang 200-800 nm. Sampel bioreduktor daun pegagan ini menunjukkan serapan maksimum pada 228 nm (**Gambar 4.9**), sehingga dapat dimungkinkan pada volume bioreduktor 1,5; 2; dan 2,5 mL terjadi akumulasi warna yang diakibatkan oleh reaktan yang berlebih dengan produk yang terbentuk dan tidak memiliki serapan maksimum di rentang 500-550 nm dimana rentang tersebut merupakan karakteristik nanopartikel emas.

Gambar 4.9 Pengukuran panjang gelombang maksimum sampel bioreduktor

Grafik hubungan absorbansi rata-rata dengan volume bioreduktor ditunjukkan pada **Gambar 4.10**, nilai absorbansi pada volume 0,3 mL paling rendah yakni 0,224. Volume 0,6; 0,9; 1,2 mL berturut-turut menghasilkan nilai absorbansi yang semakin tinggi yakni 0,315; 0,367; dan 0,396. Namun, pada volume bioreduktor 1,5 mL absorbansi yang dihasilkan menurun yakni 0,273, kemudian pada volume 2-2,5 mL menghasilkan absorbansi yang semakin meningkat yakni 0,323 dan 0,375 akan tetapi diikuti dengan warna larutan yang semakin jingga.

Gambar 4.10 Grafik hubungan variasi volume bioreduktor dengan absorbansi rata-rata (ket: notasi A; B;C; dan D merupakan notasi untuk analisis BNJ)

Data yang diperoleh sebelumnya diuji dengan *one way anova* pada taraf signifikan 95% (sign. <0,05), untuk mengetahui pengaruh variasi volume bioreduktor secara statistik. Berdasarkan hasil **Tabel 4.1** diperoleh nilai signifikan/probabilitas kurang dari 0,05 (H_1 diterima) yang artinya terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi volume bioreduktor terhadap pembentukan nanopartikel emas. Hasil tersebut didukung dengan uji *one way*-BNJ (**Lampiran 6**) yang menunjukkan bahwa pada volume 1,2 mL menghasilkan absorbansi tertinggi yakni 0,396, tidak berbeda nyata dengan volume 0,9 dan 2,5 mL tetapi berbeda nyata dengan volume 0,3; 0,6; 1,5; dan 2 mL. Absorbansi terendah dihasilkan oleh volume 0,3 mL yakni 0,224 yang berbeda nyata dengan volume 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 2; dan 2,5 mL. Kesimpulan dari variasi volume bioreduktor pada penelitian ini adalah volume optimum dengan absorbansi paling tinggi yakni volume bioreduktor 1,2 mL dan warna larutan yang dihasilkan berwarna ungu.

Tabel 4.1 Hasil uji *One Way Anova* pengaruh variasi volume bioreduktor terhadap pembentukan nanopartikel emas

4.3.2 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Waktu Pemanasan

Waktu pemanasan yang digunakan dalam sintesis nanopartikel emas (AuNPs) berbeda-beda. Tujuan dilakukan variasi tersebut 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 makin

baik. Hal ini dikarenakan semakin banyak 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).

Gambar 4.11 Spektra UV-Vis variasi waktu pemanasan

Ekstrak daun pegagan dengan volume optimum yakni 1,2 mL disintesis dengan larutan HAuCl_4 0,5 mM. Pada tahap variasi sebelumnya menggunakan waktu selama 25 menit, kemudian dilakukan variasi waktu pemanasan selama 10, 25, 40, 55, dan 70 menit dengan suhu 60°C . Kemudian, dilakukan karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm dan menghasilkan serapan maksimum pada rentang 520-527 nm (**Gambar 4.11**). Menurut *Sigma Aldrich* (2022), nanopartikel emas pada serapan maksimum 520-527 nm memiliki ukuran partikel kisaran 20-30 nm.

Hasil sintesis nanopartikel emas pada tahap kedua ini menghasilkan larutan berwarna ungu yang dihasilkan dari waktu 10; 25; 40; 55 dan 70 menit tidak jauh berbeda (**Gambar 4.12**). Waktu pemanasan ke-10 menit menghasilkan warna ungu yang sedikit lebih pucat, 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 25; 40; 55; dan 70 menit warna ungu yang dihasilkan semakin pekat, tetapi pada waktu ke-70 menit telah terdapat endapan-endapan kecil.

Gambar 4.12 Perubahan warna larutan dari kuning bening (bio reduktor) menjadi ungu (AuNPs) pada variasi waktu pemanasan

Gambar 4.13 Grafik hubungan variasi waktu pemanasan dengan absorbansi (ket: notasi A merupakan notasi untuk analisis BNJ)

Absorbansi rata-rata terhadap variasi waktu pemanasan dalam penelitian ini tidak terlalu berbeda secara signifikan (**Gambar 4.13**). Absorbansi menunjukkan banyaknya nanopartikel yang telah terbentuk. Absorbansi tertinggi yakni pada waktu ke 55 menit (0,383), artinya pada waktu 55 menit menghasilkan nanopartikel lebih banyak daripada waktu ke 10; 25; dan 40 menit. Sedangkan pada waktu pemanasan 70 menit absorbansi yang dihasilkan menurun sedikit (0,380). Proses terbentuknya nanopartikel emas jika dilakukan pemanasan secara terus-menerus seperti pada waktu 70 menit, pertumbuhan *cluster* akan terus berkembang dan tidak terkendali. Maka dapat diketahui bahwa waktu optimum pada pemanasan sintesis AuNPs adalah 55 menit.

Tabel 4.2 Hasil uji *One Way Anova* pengaruh variasi waktu pemanasan terhadap sintesis nanopartikel emas

Analisis data dengan uji *one way anova* yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa nilai F hitung sebesar 2,425, hal ini berarti F hitung lebih besar dari F tabel (4,600) (Miller dan Miller, 2010) dan nilai signifikan lebih dari 0,05 yaitu sebesar 0,117 yang artinya tidak ada pengaruh waktu

pemanasan terhadap proses sintesis nanopartikel emas menggunakan *heating oven* dari menit ke 10; 25; 40; 55; dan 70. Hal ini didukung dengan adanya uji statistik menggunakan *one way-BNJ* (**Lampiran 6**) yang menunjukkan tidak adanya pengaruh yang berbeda nyata dari waktu pemanasan 10; 25; 40; 55; dan 70 menit.

4.3.3 Sintesis Nanopartikel Emas dengan Variasi Suhu Pemanasan

Tahap ketiga yakni variasi suhu pemanasan yang bertujuan mencari suhu optimum pada sintesis nanopartikel emas (AuNPs). Penentuan suhu optimum menjadi salah satu faktor penting pada proses sintesis nanopartikel, dimana semakin tinggi suhu pemanasan pada proses sintesis nanopartikel maka ukuran yang dihasilkan semakin kecil dan morfologi permukaan nanopartikel semakin homogen (Zhafiroh, 2020). Akan tetapi, suhu pemanasan menggunakan bahan alam memiliki titik optimum, apabila suhu melebihi titik optimum tersebut maka akan merusak senyawa aktif dalam bahan alam yang digunakan.

Ekstrak daun pegagan dengan volume optimum 1,2 ml ditambahkan ke dalam larutan H_{AuCl}₄ 0,05 mM dengan bantuan pemanasan selama 55 menit dengan variasi suhu pemanasan yang digunakan yakni 40; 60; 80; 100 dan 120°C. Pada tahap ini menghasilkan warna ungu *burgundy* dengan intensitas warna yang semakin pekat seiring dengan tingginya suhu pemanasan. Namun, pada suhu 120°C muncul adanya endapan ungu kehitaman akibat adanya agregasi. Perubahan warna dari proses sintesis nanopartikel emas ditunjukkan pada **Gambar 4.14**

Gambar 4.14 Perubahan warna larutan dari kuning bening (bioreduktor) menjadi ungu (AuNPs) pada variasi suhu pemanasan

Karakterisasi AuNPs menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm, kemudian menghasilkan serapan maksimum pada rentang 530-536,1 nm (**Gambar 4.15**). Menurut *Sigma Aldrich* (2022), nanopartikel emas pada serapan maksimum 530-536,1 nm memiliki ukuran partikel kisaran 40-50 nm.

Gambar 4.15 Spektra UV-Vis variasi suhu pemanasan

Berdasarkan data sebelumnya dapat diperoleh hubungan antara variasi suhu pemanasan terhadap nilai absorbansi larutan AuNPs ditunjukkan pada **Gambar 4.16** dan dapat diketahui absorbansi rata-rata yang dihasilkan yakni 0,914-0,991. Sintesis pada suhu 100°C menghasilkan absorbansi paling tinggi yakni 0,991. Absorbansi tersebut menunjukkan pertumbuhan nanopartikel yang terbentuk, sehingga pada suhu 100°C nanopartikel yang terbentuk lebih banyak jika dibandingkan dengan suhu 40, 60, dan 80°C. Semakin rendah suhu sintesis maka semakin kecil kecepatan pembentukan nanopartikel, sehingga pada suhu 40, 60, dan 80°C jumlah nanopartikel yang terbentuk sedikit. Sedangkan pada suhu 120°C mengalami penurunan absorbansi dan muncul endapan yang disebabkan oleh terjadinya agregasi sehingga membentuk partikel yang lebih besar. Selain itu, pada penggunaan suhu yang terlalu tinggi juga dapat merusak senyawa aktif yang terdapat dalam bioreduktor tersebut. Sehingga dapat diketahui suhu optimum pembentukan AuNPs pada penelitian ini adalah pada suhu 100°C.

Gambar 4.16 Grafik hubungan variasi suhu pemanasan dengan absorbansi (ket: notasi A dan B merupakan notasi untuk analisis BNJ)

Tabel 4.3 Hasil uji *One Way Anova* pengaruh variasi suhu pemanasan terhadap sintesis nanopartikel emas

Data sebelumnya dianalisis secara statistik dengan *one way anova* (**Tabel 4.3**) terhadap nilai absorbansi dan suhu pemanasan didapat nilai F hitung sebesar 6,700 dengan nilai signifikan sebesar 0,007. Hal ini berarti F hitung lebih besar dari F tabel (4,600) (Miller dan Miller, 2010) dan nilai probabilitas lebih kecil dari 0,05 (H_1 diterima, H_0 ditolak) sehingga dapat dinyatakan terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi suhu pemanasan terhadap pembentukan nanopartikel emas.

Hal tersebut didukung dengan data SPSS menggunakan *one way anova*-BNJ (**Lampiran 6**) bahwa pada suhu 40°C menghasilkan absorbansi terendah 0,914 berbeda nyata dengan suhu 100 dan 120°C dan tidak berbeda nyata dengan suhu 60 dan 80°C. Pada suhu 100°C menghasilkan nilai absorbansi tertinggi 0,991 berbeda nyata dengan 40°C dan tidak berbeda nyata suhu 60, 80, dan 120°C. Pada suhu sintesis 60 dan 80°C tidak berbeda nyata dengan 40, 100, dan 120°C. Berdasarkan data ketiga variasi yang telah dilakukan sebelumnya, kesimpulan akhir bahwa suhu optimum untuk sintesis nanopartikel emas dengan *heating oven* menggunakan ekstrak daun pegagan yakni 100°C dengan waktu pemanasan 55 menit dan volume bioreduktor sebanyak 1,2 mL.

4.4 Karakterisasi Nanopartikel Emas dengan Mikroskop

Karakterisasi menggunakan mikroskop Olympus (Cx22) yang terhubung dengan kamera optilab bertujuan untuk mengetahui bentuk dan morfologi permukaan nanopartikel emas (AuNPs). Sampel yang dikarakterisasi yakni hasil

sintesis menggunakan ekstrak daun pegagan dengan bantuan pemanasan *heating* oven berdasarkan komposisi terbaik pada penelitian ini dengan 3 kali pengulangan. Hasil analisis keseluruhan dapat dilihat pada **Lampiran 7**.

Sampel yang akan dikarakterisasi yakni berupa cairan maka harus dipreparasi terlebih dahulu dengan cara disentrifugasi selama 1 jam pada kecepatan 5000 rpm untuk mengendapkan nanopartikel emas. Namun, pada penelitian ini tidak dihasilkan endapan berupa serbuk (padatan) melainkan endapan yang masih berbentuk cairan yang lebih pekat dari sebelumnya (**Gambar 4.17**). Hal ini dimungkinkan karena sampel yang digunakan terlalu sedikit dan ukuran sampel yang terlalu kecil, dimana dimungkinkan ukurannya telah memasuki ukuran nano sehingga sulit untuk menghasilkan serbuk padatan.

Gambar 4.17 (a) Sampel AuNPS sebelum disentrifugasi;
(b) Sampel AuNPS sesudah disentrifugasi

Cairan kental berwarna ungu kehitaman tersebut diletakkan pada kaca preparat dan dianalisis menggunakan mikroskop Olympus (Cx22) dengan pengaturan perbesaran obyektif 40x, 100x, dan 400x. Perubahan perbesaran tersebut bertujuan untuk mengetahui perbedaan partikel yang dianalisis, semakin besar perbesaran maka dapat diketahui partikel secara jelas, sebaliknya jika perbesaran semakin kecil maka partikel yang teranalisis tidak terlihat secara jelas dikarenakan ukuran partikel terlihat kecil. Pada hasil sintesis AuNPs (**Lampiran 7**) menunjukkan bahwa perbesaran 40x tidak menunjukkan bentuk nanopartikel emas secara jelas melainkan hanya terlihat koloid yang pekat. Sedangkan pada perbesaran 100x morfologi dan bentuk nanopartikel emas mulai terlihat, namun hanya bulatan-bulatan kecil yang terdistribusi secara acak. Kemudian pada

perbesaran 400x menunjukkan morfologi dan bentuk nanopartikel yang terlihat jelas yakni berbentuk bulat yang terdistribusi secara acak (**Gambar 4.18**). Hasil tersebut merupakan sebagian dari *cluster* emas yang telah terbentuk.

Gambar 4.18 Hasil karakterisasi morfologi AuNPs yang berbentuk dominan bulat dengan menggunakan mikroskop pada perbesaran 400x

Berdasarkan data mikroskop tersebut, nanopartikel emas hasil sintesis dengan komposisi terbaik menghasilkan warna ungu *burgundy* menunjukkan morfologi dan bentuk yang dominan bulat. Adanya keterbatasan dari alat mikroskop yang tidak dapat mendeteksi ukuran partikel dalam skala nano, maka penentuan ukuran AuNPs pada penelitian ini ditinjau dari hubungan panjang gelombang maksimum terhadap ukuran AuNPs. Berdasarkan teori SPR, panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) dapat menunjukkan ukuran dari nanopartikel yang dihasilkan. Semakin besar λ_{maks} , maka semakin besar pula ukuran nanopartikel karena energi eksitasi semakin kecil dikarenakan jarak yang ditempuh elektron untuk bereksitasi semakin kecil (Roddu, 2021). Penelitian Boomi dkk, (2020), melakukan biosintesis nanopartikel emas menggunakan ekstrak daun puring (*croton sparsiflorus*), menghasilkan nanopartikel emas yang berwarna ungu *burgundy* dengan panjang gelombang maksimum (λ_{max}) sebesar 532 nm, diperoleh AuNPs yang berbentuk bulat dengan rata-rata ukuran partikel sebesar 17 nm ketika dikarakterisasi dengan TEM. Dhas dkk, (2020) juga melakukan penelitian nanopartikel emas berbasis *green synthesis* memanfaatkan ekstrak rumput laut, dalam jurnal ini disebutkan bahwa nanopartikel emas yang dihasilkan berwarna *ruby red* dengan λ_{max} sebesar 532 nm dan morfologi AuNPs berbentuk bulat dan ukuran partikel rata-rata 65,87 nm ketika dikarakterisasi dengan TEM. Hal ini didukung oleh data *Sigma Aldrich*

(2022), dimana AuNPs dengan panjang gelombang 529-533 nm memiliki ukuran partikel sebesar 40 nm.

Gambar 4.19 Spektra UV-Vis nanopartikel emas dengan komposisi terbaik

Pada penelitian ini, nanopartikel emas dengan komposisi terbaik yakni pada volume bioreduktor sebanyak 1,2 mL, waktu pemanasan 55 menit, dan suhu pemanasan 100°C menghasilkan panjang gelombang maksimum pada 532-533 nm (**Gambar 4.19**). Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dijabarkan sebelumnya, panjang gelombang maksimum tersebut dapat dihubungkan dengan ukuran AuNPs. Perkiraan ukuran nanopartikel emas pada penelitian ini berkisar 17 nm-65 nm ditinjau dari hasil panjang gelombang maksimumnya.

4.5 Potensi Daun Pegagan Sebagai Bioreduktor Nanopartikel Emas dalam Prespektif Islam

Salah satu dari unsur alam yang dapat diambil manfaatnya yakni emas yang merupakan golongan logam mulia yang terdapat di bumi. Emas digunakan sebagai perhiasan, alat tukar berupa koin emas dengan sistem barter, bahkan sebagai investasi atau tabungan masa depan (Yaffi, 2021). Selain sebagai perhiasan dan alat tukar, emas juga dimanfaatkan di bidang pengobatan dalam bentuk nanopartikelnya. Sebagaimana Allah SWT telah mencantumkan emas dalam kitab suci Al-Qur'an pada Surah Ali 'Imran ayat 14 yang mencantumkan perihal pemanfaatan emas.

زَيْنَ لِلنَّاسِ حُبُّ الشَّهَوَاتِ مِنَ النِّسَاءِ وَالْبَنِينَ وَالْمَنَاطِرِ الْمُعْتَظِرَةِ مِنَ الذَّهَبِ وَالْفِضَّةِ وَالْحَيْلِ الْمُسَوِّمَةِ
وَالْأَنْعَامِ وَالْحَرْثِ ۗ ذَلِكَ مَتَاعُ الْحَيَاةِ الدُّنْيَا ۗ وَاللَّهُ عِنْدَهُ ۖ حُسْنُ الْمَاٰبِ

Artinya: “Dijadikan terasa indah dalam pandangan manusia cinta terhadap apa yang diinginkan, berupa perempuan-perempuan, anak-anak, harta benda yang bertumpuk dalam bentuk emas dan perak, kuda pilihan, hewan ternak dan sawah ladang. Itulah kesenangan hidup di dunia, dan di sisi Allah-lah tempat kembali yang baik” (QS. Ali ‘Imran: 14).

Pada ayat ini, Allah menunjukkan gambaran pengetahuan jika emas adalah sejenis logam langka yang memiliki nilai jual yang tinggi dan merupakan ciptaan Allah SWT yang harus dimanfaatkan dengan baik. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, emas dalam bentuk nanopartikel dapat bermanfaat dalam berbagai bidang seperti industri kosmetik, AuNPs dapat berpotensi sebagai peredam radikal bebas dalam kosmetik saat uji aktivitas antioksidan (DPPH) (Amiruddin dan Taufikurrohman, 2013). Selain itu, pada bidang kedokteran AuNPs dapat berperan sebagai diagnosis kanker (Fadhilah dan Megantara, 2018), *drug delivery* dan *targeting therapy* dalam penyembuhan penyakit tumor (Fikri, 2015) serta penyembuhan penyakit diabetes (Hayati, 2013). Hal ini dikarenakan nanopartikel emas bersifat stabil karena bermuatan nol sehingga tidak mengakibatkan adanya radikal bebas, tidak beracun apabila masuk dalam tubuh manusia.

Pemanfaatan nanopartikel emas sebagai obat atau alternatif penyembuhan di bidang kedokteran tersebut sesuai dengan sabda Rasulullah SAW dalam hadits Al-Bukhari yang menjelaskan bahwa Allah SWT senantiasa menurunkan obat di setiap penyakit yang diciptakan. Hadits ini menjelaskan bahwa adanya obat di setiap penyakit serta mengajak kita sebagai manusia intelektual untuk senantiasa mengajinya sebaik mungkin, sebagaimana yang terdapat pada sabdanya.

حَدَّثَنَا مُحَمَّدُ بْنُ الْمُثَنَّى حَدَّثَنَا أَبُو أَحْمَدَ الرَّبِيعِيُّ حَدَّثَنَا عُمَرُ بْنُ سَعِيدٍ بْنِ أَبِي حُسَيْنٍ قَالَ حَدَّثَنِي عَطَاءُ بْنُ أَبِي رَبَاحٍ عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ مَا أَنْزَلَ اللَّهُ دَاءً إِلَّا أَنْزَلَ لَهُ شِفَاءً

Artinya: “Telah menceritakan kepada kami Muhammad bin Al Mutsanna telah menceritakan kepada kami Abu Ahmad Az Zubairi telah menceritakan kepada kami 'Umar bin Sa'id bin Abu Husain dia berkata; telah menceritakan kepadaku 'Atha' bin Abu Rabah dari Abu Hurairah radliallahu 'anhu dari Nabi shallallahu 'alaihi wasallam beliau bersabda: Allah tidak akan menurunkan penyakit melainkan menurunkan obatnya juga.” (Hadits Shahih Al-Bukhari No. 5246).

Daun pegagan memiliki potensi sebagai bioreduktor pada proses sintesis nanopartikel emas karena memiliki senyawa bioaktif seperti triterpenoid, saponin, flavonoid, dan lain-lain. Senyawa bioaktif tersebut mampu mereduksi Au yang bermuatan (Au^{3+}) menjadi nanopartikel Au^0 . Sehingga penggunaan daun pegagan sebagai agen pereduksi ini dapat menjadi alternatif sintesis nanopartikel emas yang lebih ramah lingkungan dan aman. Sebagaimana telah diisyaratkan oleh Allah tentang manfaat tumbuhan dalam QS. An-Nahl ayat 11 yang berbunyi:

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).

Tafsir Ibnu Katsir, menjelaskan Allah menumbuhkan semuanya dari bumi dengan air yang sama, tetapi menghasilkan sifat-sifat yang berbeda baik dari jenis, rasa, warna, bau, maupun bentuknya. Segala macam tumbuh-tumbuhan yang mengandung senyawa yang bermanfaat bagi manusia baik untuk kehidupan maupun kesehatannya.

Hasil sintesis dari ekstrak daun pegagan dengan HAuCl_4 berhasil menghasilkan AuNPs ditandai dengan perubahan warna larutan dari kuning menjadi ungu yang menjadi salah satu karakteristik nanopartikel emas. Perubahan warna tersebut didukung dengan serapan maksimum pada 532 nm dan morfologi dominan bulat dengan perbesaran 400 kali menggunakan mikroskop. Sintesis nanopartikel emas dengan memanfaatkan ekstrak daun pegagan sebagai bioreduktor ini nantinya diharapkan dapat menjadi alternatif metode sintesis yang aman, mudah, dan ramah lingkungan dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti kedokteran dan industri.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi volume bioreduktor, dan suhu pemanasan berpengaruh terhadap karakteristik pembentukan nanopartikel emas. Sedangkan waktu pemanasan tidak berpengaruh dalam pembentukan nanopartikel emas.
2. Volume bioreduktor optimum dalam pembentukan AuNPs pada penelitian ini yakni 1,2 mL, sedangkan waktu dan suhu pemanasan yang optimum pada penelitian ini yaitu 55 menit dan 100°C.
3. Analisa menggunakan mikroskop menunjukkan morfologi dominan bulat.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang perlu dijadikan bahan pertimbangan perbaikan, diantaranya:

1. Optimasi sintesis nanopartikel emas dengan menggunakan alat irradiasi *microwave* yang dimungkinkan dapat menghasilkan ukuran partikel yang lebih seragam dan waktu yang dibutuhkan juga lebih cepat.
2. Karakterisasi AuNPs menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM) untuk mengetahui morfologi serta diameter nanopartikel emas secara spesifik.
3. Perlu dilakukan uji lanjut untuk pengaplikasian AuNPs di bidang industry, kedokteran dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, F., Mahardika, M., & Fatimah, S. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor dari Ekstrak Daun Berenuk. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 4(2), 54.
- Amiruddin, M. A., & Taufikurrohmah, T. (2013). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas Menggunakan Matriks Bentonit sebagai Material Peredam Radikal Bebas dalam Kosmetik. *UNESA Journal of Chemistry* (Vol. 2, Issue 1).
- Anand, T., Naika, M., Phani, K. G., & Khanum, F. (2010). Antioxidant and DNA Damage Preventive Properties of *Centella asiatica* (L) Urb. *Pharmacognosy Journal*, 2(17), 53–58.
- Ankamwar, B. (2010). Biosynthesis of Gold Nanoparticles (Green-Gold) Using Leaf Extract of *Terminalia Catappa*. *E-Journal Chemistry*, 7(4), 1334–1339.
- Artini, I. G. A. Y. U. (2013). Peranan Nanopartikel dalam Penatalaksanaan Kanker di Era Targeting Therapy. *Indonesian Journal of Cancer*, 7(3), 111–117.
- Bogdanović, U., Lazić, V., Vodnik, V., Budimir, M., Marković, Z., & Dimitrijević, S. (2014). Copper Nanoparticles with High Antimicrobial Activity. *Materials Letters*, 128, 75–78.
- Boomi, P., Poorani, G. P., Selvam, S., Palanisamy, S., Jegatheeswaran, S., Anand, K., Balakumar, C., Premkumar, K., & Prabu, H. G. (2020). Green Biosynthesis of Gold Nanoparticles Using *Croton sparsiflorus* Leaves Extract and Evaluation of UV Protection, Antibacterial and Anticancer Applications. *Applied Organometallic Chemistry*, 34(5), 1–13.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2008). *Biologi* (Terjemahan: Damaring Tyas Wulandari ; Edisi 8 Jilid 3). Erlangga: Jakarta.
- Das, R. K., Borthakur, B. B., & Bora, U. (2010). Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Ethanolic Leaf Extract of *Centella asiatica*. *Materials Letters*, 64(13), 1445–1447.
- Deb, S., Patra, H. K., Lahiri, P., Dasgupta, A. K., Chakrabarti, K., & Chaudhuri, U. (2011). Multistability in Platelets and their Response to Gold Nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 7(4), 376–384.
- Dhas, T. S., Sowmiya, P., Kumar, V. G., Ravi, M., Suthindhiran, K., Borgio, J. F., Narendrakumar, G., Kumar, V. R., Karthick, V., & Kumar, C. M. V. (2020). Antimicrobial Effect of *Sargassum Plagiophyllum* Mediated Gold Nanoparticles on *Escherichia Coli* and *Salmonella typhi*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101627.

- Dzimitrowicz, A., Jamróz, P., diCenzo, G. C., Sergiel, I., Kozlecki, T., & Pohl, P. (2019). Preparation and Characterization of Gold Nanoparticles Prepared with Aqueous Extracts of Lamiaceae Plants and The Effect of Follow-Up Treatment with Atmospheric Pressure Glow Microdischarge. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 4118–4130.
- Fadhilah, N., & Megantara, S. (2018). Penggunaan Nanopartikel Emas Dalam Teknologi Untuk Diagnosis Kanker. *Farmaka*, 16(2), 254–263.
- Fessenden, R. J., & Fessenden, J. S. (1986). *Kimia Organik Dasar Edisi Ketiga Jilid 2* (Terjemahan oleh A. H. Pudjaatmaka). Erlangga: Jakarta.
- Fikri, H. K. (2015). Potensi Nanopartikel Emas (AuNP) sebagai Agen Toksisitas, *Drug Delivery*, dan *Targeting Therapy* dalam Tatalaksana Karsinoma Prostat. *Esai Ilmiah Nasional*. Fakultas Kedokteran: Universitas Malikussaleh.
- GM, A. W., Putri, S. E., & Syahrir, M. (2021). Biosintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Ekstrak Etanol Daun Jambu Bol Putih. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 15(1), 18.
- Haryanti, S. (2019). Pengembangan Almari Penyimpanan Terstandar untuk Perawatan Mikroskop di Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan. *Laporan Penelitian Kependidikan*. Poltekkes Kemenkes Yogyakarta.
- Hayati, N. (2013). Kajian Pemanfaatan Nanopartikel Emas untuk Mengurangi Risiko Penyakit Diabetes Melitus. *Skripsi*. Jurusan Kimia, Universitas Negeri Medan.
- Hidayat, M. W. (2019). Sintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda Citrifolia L.*) dengan Irradiasi *Microwave*. *Skripsi*. Jurusan Kimia. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Holil, K., & Griana, T. P. (2020). Analisis Fitokimia dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Kesambi (*Schleira oleosa*) Metode DPPH. *Journal of Islamic Pharmacy*, 5(1), 28.
- Huang, X., & El-Sayed, M. A. (2010). Gold nanoparticles: Optical Properties and Implementations in Cancer Diagnosis and Photothermal Therapy. *Journal of Advanced Research*, 1(1), 13–28.
- Huda, T., Ismilayli, N., & Santosa, S. J. (2009). Studi Adsorpsi Ion Au (III) dengan Menggunakan Asam Humat. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA: UGM Yogyakarta*, 299–303.
- Inayah, M., Maming, & Zakir, M. (2014). Sintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor dari Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia*

mangostana l.) sebagai Indikator Kolorimetri Keberadaan Logam Zn^{2+} . *Jurusan Kimia FMIPA: Universitas Hasanuddin*, 7(2), 107–115.

- James, J., Baker, C., & Swain, H. (2002). *Prinsip-Prinsip Sains untuk Keperawatan*. Erlangga: Jakarta.
- Jhansi, D and Kola, M. (2019). The Antioxidant Potential of *Centella asiatica*: A Review. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 18(2), 18–20.
- Kavitha, K. ., Syed, B., Rakshith, D., Kavitha, H.U., Yashwantha, R.H.C., Harini, B., & Satish, S. (2013). Plants as Green Source towards Synthesis of Nanoparticles. *International Research Journal of Biological Sciences* (Vol. 2, Issue 6).
- Khalil, M. M. H., Ismail, E. H., & El-Magdoub, F. (2012). Biosynthesis of Au Nanoparticles Using Olive Leaf Extract. 1st Nano Updates. *Arabian Journal of Chemistry*, 5(4), 431–437.
- Khan, A. K., Rashid, R., Murtaza, G., & Zahra, A. (2014). Gold Nanoparticles: Synthesis and Applications in Drug Delivery. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(7), 1169–1177.
- Khan, S., Bakht, J., & Syed, F. (2018). Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using *Acer Pentapomicum* Leaves Extract its Characterization, Antibacterial, Antifungal and Antioxidant Bioassay. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 13(2), 579–589.
- Khopkar, S. (2007). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI-Press.
- Kirana, R. D., & Taufikurrohmah, T. (2013). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas dengan Variasi Matriks Setil Stearil Alkohol sebagai Material Antiaging dalam Kosmetik. Vol. 2 (No 3).
- Kumar, M. V., & Gupta, Y. (2003). Effect of *Centella Asiatica* on Cognition and Oxidative Stress in an Intracerebroventricular Streptozotocin Model of Alzheimer's Disease in Rats. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 30(5–6), 336–342.
- Kuppusamy, P., Yusoff, M. M., Maniam, G. P., & Govindan, N. (2016). Biosynthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Derivatives and their New Avenues in Pharmacological Applications. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 24(4), 473–484.
- Lee, G. J., Lee, Y. P., & Yoon, C. S. (2008). Microstructures and Linear/Nonlinear Optical Properties of Monolayered Silver Nanoparticles. *Journal of the Korean Physical Society*, 53(6 PART 1), 3818–3822.
- Lembang, M. S., Maming, & Zakir, M. (2014). Sintesis Nanopartikel Emas dengan

Metode Reduksi Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia catappa*). *Journal Kampus Tamalanrea Makassar* 90425.

- Lestari, G. A. D., & Cahyadi, K. D. (2022). Biosynthesis of Gold Nanoparticles Mediated by Andaliman Fruit Water Extract and its Application as Antioxidants. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 25(2), 56–62.
- Miller, J. N., & Miller, J. C. (2010). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. (Six Edition). Pearson Education Ltd. English.
- Mittal, A. K., Chisti, Y., & Banerjee, U. C. (2013). Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Extracts. *Biotechnology Advances*, 31(2), 346–356.
- Nasri, N. M., Rizany, I., Suhartono, E., & Agustina, R. (2014). Peran Ekstrak Air Kelakai dan Ekstrak Air Daun Pegagan dalam Mempercepat Penurunan Eritema pada Model Tikus Putih yang Mengalami Luka Terkontaminasi. In *Jurnal Dunia Keperawatan* (Vol. 2, Issue 1, pp. 93–100).
- Nur, H., & Nasir, M. S. (2014). Gold Nanoparticles Embedded on the Surface of Polyvinyl Alcohol Layer. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 4(1).
- Olivia, N. T. (2020). Uji Aktivitas Antibakteri Masker Gel *Peel off* Kombinasi Ekstrak Pegagan (*Centella asiatica*) dan Niacinamid terhadap Bakteri *Propionibacterium acnes*. *Skripsi*. Program Studi Farmasi, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Pebriani, Z. (2020). Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Emas Ekstrak Kunyit Putih (*Curcuma Zedoaria* (Berg.) Roscoe) dengan Variasi Konsentrasi Larutan Asam Kloroaurat (HAuCl₄). *Skripsi*. Program Studi Farmasi, Universitas Sriwijaya.
- Pertiwi, R. D., Djajadisastra, J., Mutalib, A., & Pujiyanto, A. (2018). Pembuatan, Karakterisasi dan Uji *In Vitro* Nanopartikel Emas Berbasis Konjugat Gom Arab-Vinkristin. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 16(1), 6.
- Rahma, D. E. (2019). Sintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia Catappa*) dengan Irradiasi *Microwave*. *Skripsi*. Jurusan Kimia. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Rai, M. K., Deshmukh, S. D., Ingle, A. P., & Gade, A. K. (2012). Silver Nanoparticles: The Powerful Nanoweapon Against Multidrug-Resistant Bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 112(5), 841–852.
- Rao, Y., K. G., Inwati, & Singh, M. (2017). Green Synthesis of Capped Gold Nanoparticles and their Effect on Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Future Sciences, University of Gujarat, India*, 3(4).

- Roddu, A. K. (2021). Sintesis Nanopartikel Emas dan Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Okra (*Abelmoschus Esculentus (L.) Moench*) dan Aplikasinya dalam Desain Sensor Gula Darah. *Disertasi*. Pascasarjana FMIPA, Universitas Hasanuddin Makassar.
- Rohiman, A., Buchari, Amran, M. B., Juliastuti, E., & Idris, I. (2014). Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasi Gold Nanoparticles (AuNPs) pada Penumbuhan Silicon Nanowires (SiNWs). *Research Research and Development Development on Nanotechnology Nanotechnology in Indonesia*, 1(2), 74–82.
- Rohmawati, M. (2015). Karakterisasi Morfologi dan Anatomi Pegagan (*Centella Asiatica (L.) Urban.*) di Kabupaten Batang sebagai Sumber Belajar pada Mata Kuliah Praktikum Morfologi dan Anatomi Tumbuhan. *Skripsi*. FITK, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- Saputra, A., & Ningrum, D. K. (2010). Pengeringan Kunyit Menggunakan Microwave dan Oven. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia, Universitas Diponegoro.
- Sekarsari, R. A., & Taufikurrohman, T. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Nanogold dengan Variasi Konsentrasi HAuCl₄ sebagai Material Antiaging dalam Kosmetik. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa*, 4(2), 978–979.
- Setiawan, H., Pujiyanto, A., Lubis, H., Ritawidya, R., Mujinah, Kurniasih, D., Witarti, Hambali, & Mutalib, A. (2014). Sintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Reduktor Trisodium Sitrat. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Radioisotop, Radiofarmaka, Siklotron Dan Kedokteran Nuklir*, ISSN : 2087-9652.
- Shofa, A. (2021). Green Synthesis SNO₂NPs dengan Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia Catappa*) sebagai Bioreduktor untuk Aplikasi Fotodegradasi Zat Warna. *Skripsi*. Jurusan Kimia, UIN Walisongo Semarang.
- Sigma-Aldrich. (2022). *Gold Nanoparticles*. Springer Briefs in Materials. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98746-6_3
- Singh, C. R., Kathiresan, K., & Anandhan, S. (2015). A Review on Marine Based Nanoparticles and their Potential Applications. *African Journal of Biotechnology*, 14(18), 1525–1532.
- Sovawi, A. C., Harjono, & Kusuma, S. B. W. (2016). Sintesis Nanopartikel Emas dengan Bioreduktor Ekstrak Buah Jambu Biji Merah (*Psidium guajava L.*). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 5(3).
- Srivastava, N., & Mukhopadhyay, M. (2015). Biosynthesis and Characterization of Gold Nanoparticles Using *Zooglea ramigera* and Assessment of its Antibacterial Property. *Journal of Cluster Science*, 26(3), 675–692.

- Sukindro. (2011). Analisis Kadar Fosfor dalam Kacang Hijau dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis di Pasar Pekanbaru. *Skripsi*. Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru.
- Sutardi. (2016). Kandungan Bahan Aktif Tanaman Pegagan dan Khasiatnya untuk Meningkatkan Sistem Imun Tubuh. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 35(3), 121.
- Tamam, N., & Hidajati, N. (2014). Penentuan Ukuran Cluster Nanopartikel Emas Menggunakan Matrik Gliserin dengan Instrumen Zetasizer Nano. *UNESA Journal of Chemistry*, 3(2), 40–46.
- Thakkar, K. N., Mhatre, S. S., & Parikh, R. Y. (2010). Biological Synthesis of Metallic Nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 6(2), 257–262.
- Underwood, A. L., & Day, R. A. (1986). *Analisis Kimia Kuantitatif*. Penerjemah: Aloysius.
- Vellayanti, S. (2020). Formulasi dan Karakterisasi Sediaan Serum Nanopartikel Emas Daun Tin (*Ficus carica L.*). *Skripsi*. Program Studi Farmasi, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Willian, N., & Pardi, H. (2021). Tinjauan Biofabrikasi Nanopartikel Perak dan Emas. *Jurnal Zarah*. 9(1), 42–53.
- Yaffi, F. A. (2021). Strategi Pemasaran Tabungan Emas sebagai Salah Satu Sumber Dana Pihak Ketiga Bank BTN Syariah. *Skripsi*. Program Studi Perbankan dan Keuangan Program Diploma, UPN Veteran Jakarta.
- Zhafiroh, S. N. (2020). Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Emas-Ekstrak Kunyit Putih (*Curcuma zedoaria (Berg.) Roscoe*) dengan Variasi Suhu. *Skripsi*. Jurusan Farmasi, Universitas Sriwijaya.

