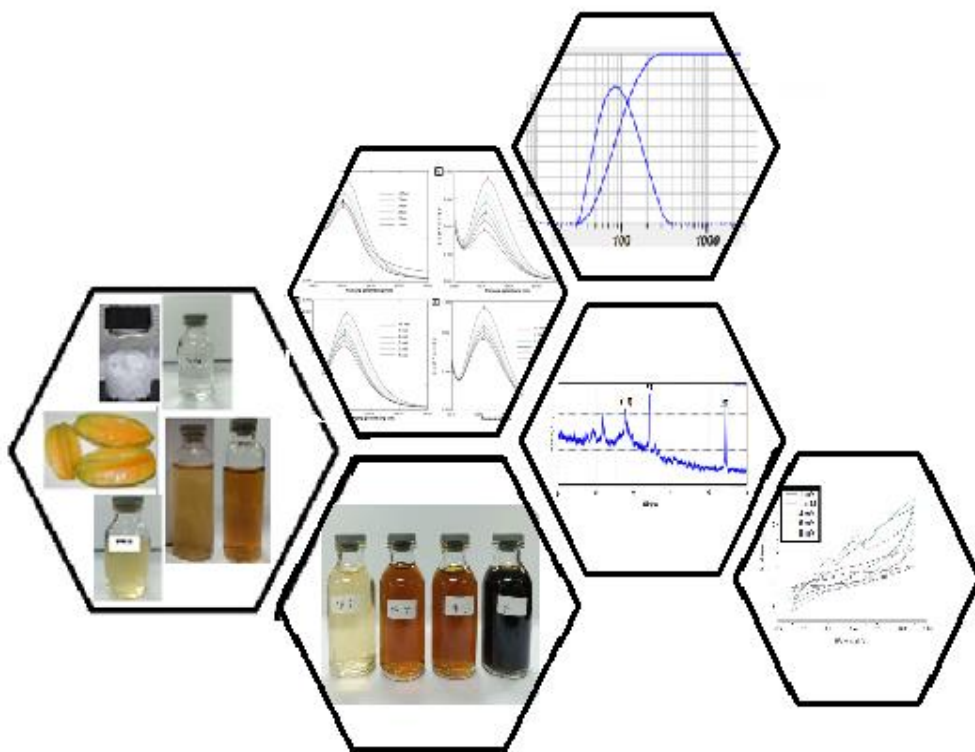


**GREEN SYNTHESIS DAN KARAKTERISASI
NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK BUAH
BELIMBING *Averrhoa carambola* Linn
DAN POTENSINYA SEBAGAI SENSOR GLUKOSA DARAH**

**GREEN SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
SILVER NANOPARTICLES USING SWEET FRUIT EXTRACT OF
Averrhoa Carambola Linn
AND THEIR POTENTIAL AS A BLOOD SUGAR SENSOR**



**DACHLIA INDAHSARI DACHLAN
H012211012**



**PROGRAM STUDI KIMIA
SEKOLAH PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**GREEN SYNTHESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL
PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK BUAH BELIMBING *Averrhoa
carambola* Linn DAN POTENSINYA SEBAGAI SENSOR
GLUKOSA DARAH**

**DACHLIA INDAHSARI DACHLAN
H012211012**



**PROGRAM STUDI KIMIA
SEKOLAH PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**GREEN SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SILVER
NANOPARTICLES USING SWEET FRUIT EXTRACT OF *Averrhoa
Carambola* Linn AND THEIR POTENTIAL AS A BLOOD SUGAR
SENSOR**

**DACHLIA INDAHSARI DACHLAN
H012211012**



**PROGRAM STUDY OF CHEMISTRY
FACULTY MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCE
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR, INDONESIA
2024**

TESIS

**GREEN SYNTHESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL
PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK BUAH BELIMBING
Averrhoa carambola Linn DAN POTENSINYA SEBAGAI
SENSOR GLUKOSA DARAH**

**DACHLIA INDAHSAARI DACHLAN
H012211012**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Magister pada
tanggal 5 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat
kelulusan


pada

Program Studi Kimia
Departemen Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar
Mengesahkan,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc
NIP. 194908271976021001


Dr. Abdul Karim, M.Si
NIP. 196207101988031002

Ketua Program Studi
Magister Kimia,

Dekan Fakultas MIPA
Universitas Hasanuddin,


Prof. Dr. Hasnah Natsir, M.Si
NIP. 196203201987112001


Dr. Eng. Amiruddin, M.Si
NIP. 197205151997021002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dachlia Indahsari Dachlan
NIM : H012211012
Program studi : Kimia
Judul Tesis : *Green Synthesis* Dan Karakterisasi Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Buah Belimbing *Averrhoa Carambola* Linn Dan Potensinya Sebagai Sensor Glukosa Darah

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini adalah benar karya saya dengan arahan Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc selaku dosen pembimbing utama dan Dr. Abdul Karim, M.Si selaku dosen pembimbing pendamping. Karya ini belum pernah diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim dan diterbitkan dalam daftar pustaka. Apabila terbukti pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya dan saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.



ar, 5 Agustus 2024

(Dachlia Indahsari Dachlan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah swt atas rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir Tesis pada program Magister Kimia di Universitas Hasanuddin dengan baik (Alhamdulillah). Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat akademis yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi di Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar. Penyelesaian dan keberhasilan penyusunan Tesis ini dengan judul “*Green Synthesis* Dan Karakterisasi Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Buah Belimbing *Averrhoa Carambola* Linn Dan Potensinya Sebagai Sensor Glukosa Darah”.

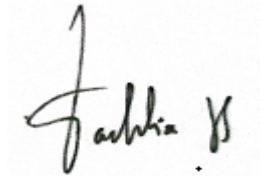
Dalam penyusunan tesis ini tak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi positif selama penelitian maupun proses menulis. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc selaku dosen pembimbing utama dan Dr. Abdul Karim, M.Si selaku dosen pembimbing pendamping yang memberikan bimbingan, diskusi dan arahan sehingga penulisan Tesis ini dapat tersusun dengan baik.
2. Dr. St. Fauziah, S.Si., M.Si, Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si, dan Dr. Herlina Rasyid, S.Si selaku dosen penguji yang memberikan saran-saran sehingga penulisan Tesis ini dapat tersusun dengan baik.
3. Fibiyanti Rustam, selaku laboran pada laboratorium kimia analitik FMIPA Universitas Hasanuddin yang telah bersedia membantu menyediakan tempat dan alat untuk melaksanakan penelitian.
4. Dr. Hasnah Natsir, M.Si selaku ketua Program Studi Magister Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
5. Dr. Eng. Amiruddin, M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh Dosen pada Program Studi Magister Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.
7. Seluruh staff *civitas* akademik program studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak bantuan selama proses penelitian ini berlangsung.
8. Kementerian Perindustrian selaku pemberi beasiswa S2 dalam rangka meningkatkan SDM dari Aparatur Sipil Negara.
9. SMK-SMAK Makassar yang telah mengizinkan saya dalam menempuh pendidikan studi S2 dalam rangka Tugas Belajar dari Kementerian Perindustrian.
10. Keluargaku yang selalu menjadi penyemangat buat aku yaitu Bapak dan Mamak yang selalu memberi dukungan dalam segala hal, mendo'akan, memberi masukan setiap proses, mendorong untuk cepat menyelesaikan studi serta menjadi “support system” dan saudariku Fitria Kusuma Putri Dachlan yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan baik dan lancar.

11. Partner penelitian Fatimah yang selalu saling mensupport dan saling menyemangati satu sama lain saat penelitian berlangsung dan juga menjadi rekan saya sejak studi di S1.
12. Sahabat dan teman-teman saya yang selalu ada setiap susah maupun senang serta teman-teman yang memberi dukungan, semangat serta do'a kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tesis ini.
13. Teman-teman angkatan 2021, terima kasih untuk bantuannya, dukungannya, dan menjadi teman yang baik.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan dan memerlukan koreksi dari pihak yang terkait. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan Tesis ini sangat penulis harapkan dari semua pihak terkait. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan menjadi rujukan terhadap penelitian selanjutnya.

Makassar, 5 Agustus 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dachlia IS', is centered on the page. The signature is written in a cursive, flowing style.

(Dachlia Indahsari Dachlan)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK..	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN, ISTILAH DAN LAMBANG	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tinjauan Teoritis.....	3
1.3 Rumusan Masalah	22
1.3 Tujuan dan Manfaat	22
BAB II TOPIK PENELITIAN I: SINTESIS DAN OPTIMASI DARI <i>GREEN SYNTHESIS</i> NANOPARTIKEL PERAK DENGAN MENGGUNAKAN EKSTRAK BUAH BELIMBING MANIS <i>Averrhoa carambola</i> Linn	23
2.1 Abstrak	23
2.2 Pendahuluan	23
2.3 Metode Penelitian	25
2.4 Hasil dan Pembahasan	28
2.5 Kesimpulan	36
2.6 Daftar Pustaka	36
BAB III TOPIK PENELITIAN II: KARAKTERISASI DARI <i>GREEN SYNTHESIS</i> NANOPARTIKEL PERAK DENGAN MENGGUNAKAN EKSTRAK BUAH BELIMBING MANIS <i>Averrhoa carambola</i> Linn	40
3.1 Abstrak	40
3.2 Pendahuluan	40

3.3 Metode Penelitian	43
3.4 Hasil dan Pembahasan	45
3.5 Kesimpulan	58
3.6 Daftar Pustaka	58
BAB IV TOPIK PENELITIAN III: APLIKASI SENSOR GLUKOSA DALAM DARAH DARI NANOPARTIKEL PERAK DENGAN METODE <i>GREEN SYNTHESIS</i> MENGUNAKAN BUAH BELIMBING <i>Averrhoa carambola</i> Linn	64
4.1 Abstrak	64
4.2 Pendahuluan	64
4.3 Metode Penelitian	67
4.4 Hasil dan Pembahasan	69
4.5 Kesimpulan	74
4.6 Daftar Pustaka	74
BAB V PEMBAHASAN UMUM	78
5.1 Topik I	78
5.2 Topik II	82
5.3 Topik III	87
BAB VI KESIMPULAN UMUM	90
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	102
<i>CURRICULUM VITAE</i>	153

ABSTRACT

DACHLIA INDAH SARI DACHLAN, **Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using sweet fruit extract of *averrhoa carambola* Linn and their potential as a blood sugar sensor** (guided by Abdul Wahid Wahab and Abdul Karim)

Background. Nanotechnology is a technology that is capable of creating materials, functional structures, and devices on the nanoscale with superior results compared to large-sized materials. One use of nanotechnology in the biomedical field is in determining blood glucose levels for diabetes sufferers, by using electrodes modified by nanomaterials synthesized using environmentally friendly procedures. **Objective.** This research aims to study, identify, and determine the optimization and characterization of the synthesis of silver nanoparticles using *Averrhoa carambola* Linn star fruit extract so that it can be applied in the field of blood glucose sensors. **Method.** In this research, a study was carried out on the synthesis of silver nanoparticles using biological methods using sweet star fruit extract. The aim of this research is to determine the optimum conditions for the synthesis of silver nanoparticles and to characterize them so that they can be used in blood glucose sensor applications. The synthesis process is carried out by mixing AgNO_3 solution and fruit extract as a reducing agent. **Results.** Optimum conditions with the composition ratio of fruit extract to AgNO_3 are 1:3, the concentration of the AgNO_3 solution is 1 mM, the concentration of the fruit extract used is 20%, and the synthesis is carried out at pH 5. The characterization of silver nanoparticles is as follows: measurement using a UV-spectrophotometer Vis shows the maximum wavelength (λ_{max}) at 410 nm; measurements using PSA show an average size of silver nanoparticles of 76.6 nm; measurements using XRD showed a particle size of 35.43 nm and a *Face-Centered Cubic* (FCC) crystal structure; measurements using SEM-EDS showed a spherical morphology with a size between 24-108 nm, as well as a silver elemental weight composition of 19.86% with better electrocatalytic activity in NaOH solution. Application in the field of blood glucose sensors with good performance, where response time is 5.29 seconds, detection limit is 0.6437 mM, sensitivity is $1.3847 \mu\text{A} \cdot \text{mM}^{-1} \cdot \text{mm}^{-2}$ with a measurement range of 1 mM to 8 mM in glucose solution and measurement with human blood serum of 90.76 mg/dL. **Conclusion.** These results show that silver nanoparticles synthesized using the fruit extract of *Averrhoa carambola* Linn are capable of detecting glucose in sensor applications.

Key words: electrodes; green synthesis; characterization; silver nanoparticles; blood glucose sensor

ABSTRAK

DACHLIA INDAHSAARI DACHLAN, **Green synthesis dan karakterisasi nanopartikel perak menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* Linn dan potensinya sebagai sensor glukosa darah** (dibimbing oleh Abdul Wahid Wahab dan Abdul Karim)

Latar belakang. Nanoteknologi menjadi teknologi yang mampu menciptakan material, struktur fungsional, maupun piranti dalam skala nano dengan hasil yang lebih unggul dari material berukuran besar. Salah satu pemanfaatan nanoteknologi di bidang biomedis adalah dalam menentukan kadar glukosa darah bagi penderita diabetes, dengan menggunakan elektroda yang dimodifikasi oleh nanomaterial yang disintesis dengan prosedur yang ramah lingkungan. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari, mengidentifikasi, dan menentukan optimasi serta karakterisasi dari sintesis nanopartikel perak dengan menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* Linn agar dapat diaplikasikan dalam bidang sensor glukosa darah. **Metode.** Pada penelitian ini, dilakukan studi tentang sintesis nanopartikel perak menggunakan metode biologis dengan menggunakan ekstrak buah belimbing manis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kondisi optimum dalam sintesis nanopartikel perak dan melakukan karakterisasi agar dapat digunakan dalam aplikasi sensor glukosa darah. Proses sintesis dilakukan dengan mencampurkan larutan AgNO_3 dan ekstrak buah sebagai pereduksi. **Hasil.** Kondisi optimum dengan rasio komposisi ekstrak buah terhadap AgNO_3 adalah 1:3, konsentrasi larutan AgNO_3 sebesar 1 mM, konsentrasi ekstrak buah yang digunakan adalah 20%, dan sintesis dilakukan pada pH 5. Karakterisasi dari nanopartikel perak adalah sebagai berikut: pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) pada 410 nm, pengukuran menggunakan PSA menunjukkan ukuran rata-rata nanopartikel perak sebesar 76,6 nm; pengukuran menggunakan XRD menunjukkan ukuran partikel sebesar 35,43 nm dan struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC); pengukuran menggunakan SEM-EDS menunjukkan morfologi berbentuk bulat (*spherical*) dengan ukuran antara 24-108 nm, serta komposisi berat unsur Perak sebesar 19,86% dengan aktivitas elektrokatalitik yang lebih baik pada larutan NaOH mengindikasikan penggunaan nanopartikel perak sebagai sensor. Aplikasinya dalam bidang sensor glukosa darah menunjukkan kinerja yang baik, dengan waktu respon sebesar 5,29 detik dan limit deteksi sebesar 0,6437 mM, sensitivitas sebesar $1,3847 \mu\text{A} \cdot \text{mM}^{-1} \cdot \text{mm}^{-2}$ dengan kisaran pengukuran 1 mM hingga 8 mM pada larutan glukosa serta pengukuran dengan serum darah manusia sebesar 90,76 mg/dL. **Kesimpulan.** Hasil ini menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak buah belimbing manis *Averrhoa carambola* Linn mampu mendeteksi glukosa dalam aplikasi di bidang sensor.

Kata kunci: elektroda; green synthesis; karakterisasi; nanopartikel perak; sensor glukosa darah

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan bidang penelitian yang telah dikenal sejak 60 tahun terakhir. Sejak "nanoteknologi" diperkenalkan oleh peraih Nobel Richard P. Feynman dalam ceramahnya yang terkenal pada tahun 1959, "There's Plenty of Room at the Bottom", yang mengakibatkan nanoteknologi berkembang secara signifikan (Khan et al., 2019). Feynman menjelaskan dasar teoritis dari nanoteknologi adalah suatu proses dimana para ilmuwan mampu memanipulasi dan mengendalikan atom dan molekul. Nanoteknologi diketahui terdiri dari proses pemisahan, konsolidasi, dan pembentukan ulang suatu bahan oleh satu atom atau satu molekul (Bayda et al., 2020). Nanoteknologi menjadi teknologi yang mampu menciptakan material, struktur fungsional, maupun piranti dalam skala nano sehingga hasilnya lebih unggul dari material berukuran besar (Maarebia, 2019). Menurut definisi umum, skala nano pada nanomaterial adalah suatu bahan/material yang berukuran antara 1-1000 nm dengan setidaknya memiliki satu dimensi (Abbasi et al., 2023). Nanoteknologi juga telah menciptakan peluang baru di beberapa industri terkini, antara lain pengemasan makanan, peternakan, elektronik, tekstil, pertanian, kedokteran, dan perawatan kesehatan untuk kesejahteraan umat manusia (Alharbi et al., 2022; Jain et al., 2021).

Nanoteknologi telah dimanfaatkan untuk memperbaiki lingkungan dan menghasilkan energi yang lebih efisien dan hemat biaya (Bayda et al., 2020). Nanoteknologi telah memproduksi material dengan berbagai jenis dalam skala nano seperti *nanoparticles*, *nanotubes*, *thin films*, *nanowires*, *nanospheres*, *nanocoils*, *nanosheets*, dan nanomaterial lainnya (Shtansky et al., 2018). Nanopartikel merupakan salah satu nanomaterial yang memiliki karakteristik khas dengan berbagai jenis, dimana ukuran, bentuk, dan komposisi kimia yang dapat diaplikasikan dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang (Ullah et al., 2023; Roddu, 2021). Manusia telah menggunakan nanopartikel sejak abad ke-4 M oleh bangsa Romawi, terbukti dengan adanya yaitu Cangkir *Lycurgus*, dari koleksi *British Museum* (Bayda et al., 2020). Nanopartikel menawarkan beberapa keunggulan seperti aktivitas katalitik, konduktivitas listrik yang kuat, sifat optik, dan stabilitas kimia (Ahani dan Khatibzadeh, 2017; Agarwal et al., 2017).

Nanopartikel perak (NPP) merupakan salah satu nanopartikel yang sering digunakan dibandingkan dengan nanopartikel lainnya karena karakteristik khas serta ramah lingkungan (Hemlata et al., 2020; Masykuroh dan Abna, 2022; Venkatesh et al., 2018). Nanopartikel perak juga memiliki keunggulan dibandingkan dengan nanopartikel emas karena sifat optik yang lebih baik dengan *Surface Plasmon Resonance* (SPR), sehingga nanopartikel perak dapat digunakan sebagai sensor

kolorimetri (Jamaluddin, 2021). Selain digunakan sebagai sensor kolorimetri, nanopartikel perak juga dikembangkan sebagai sensor elektrokimia karena penggunaannya dalam pembuatan elektroda berkinerja tinggi dan stabil pada suhu ruang (Ivanišević, 2023).

Sensor elektrokimia menjadi pemimpin dalam industri sensor dan paling sering digunakan karena keunggulannya terkait dengan batas deteksi yang rendah, waktu responsnya yang cepat, kemudahan dalam penggunaan, biaya rendah, kehandalan, sensitivitas, dan selektivitas. Berdasarkan terjadinya proses transduksi pada sensor elektrokimia, sensor ini dibedakan menjadi amperometri, voltametri, potensiometri, dan konduktometri. (Baingane et al., 2018; Baranwal et al., 2022). Dengan kemampuan sensor elektrokimia untuk beroperasi secara luas, metode sensor ini dianggap sebagai metode yang lebih baik bagi kehidupan manusia (Suhito et al., 2020). Aplikasi sensor elektrokimia banyak digunakan dalam bidang biomedis, seperti penentuan dan identifikasi obat, mikroorganisme patogen serta mendeteksi ion, senyawa, dan biomolekul lainnya (Mincu et al., 2020).

Sensor glukosa atau glukometer mendominasi sekitar 85% dari seluruh pasar sensor biomedis karena prospek ekonomi yang luar biasa terkait dengan diabetes dan tantangan dalam menyediakan pengukuran yang andal dan akurat (Baingane et al., 2018). Sensor elektrokimia sebagai pendeteksi jumlah glukosa secara bertahap berkembang dari sensor optik yang memiliki kekurangan, yaitu memerlukan pengecualian terhadap bahan biologis seperti sel darah merah (Hwang et al., 2018). Perkembangan sensor glukosa dimulai dari tahun 1956 dan telah mendorong para peneliti dalam meningkatkan kinerja sensor tersebut. Sensor glukosa dengan enzim telah dikembangkan hingga generasi ketiga yang dikenal dengan sensor glukosa enzimatis (Thatikayala et al., 2020). Semua jenis sensor glukosa enzimatis memerlukan proses fiksasi enzim yang rumit karena dipengaruhi oleh suhu, pH, dan kelembaban sehingga kurang stabil pada permukaan elektroda karena sifat dari enzim tersebut (Zainul et al., 2020). Keterbatasan sensor glukosa enzimatis telah mengarah pada pengembangan sensor glukosa non-enzimatis yang disebut juga sebagai sensor glukosa generasi keempat, yang prosesnya mengandalkan konsep oksidasi glukosa secara langsung pada permukaan elektroda (Hassan et al., 2021).

Kinerja sensor glukosa non-enzimatis sangat ditentukan oleh bahan elektroda dengan kemampuannya untuk memilih aktivitas ion secara spesifik dalam larutan (Nanda et al., 2017; Mincu et al., 2020). Nanopartikel perak telah banyak digunakan dalam mendeteksi jumlah glukosa secara elektrokimia dengan aktivitas elektrokatalitik yang efisien dan cepat terhadap reaksi yang terjadi pada permukaan elektroda (Piñón-Balderrama et al., 2024). Kestabilan nanopartikel perak (sifat termal dan listrik) yang khas mempengaruhi kinerja sensor glukosa, sehingga diperlukan pengendalian pada sintesis nanopartikel perak terkait ukuran, bentuk, muatan permukaan, serta sifat fisika dan kimia yang sesuai (Ivanišević, 2023).

Nanopartikel perak dapat disintesis dengan tiga metode, yaitu secara kimia, fisika, dan biologis. Metode fisika dan kimia memiliki beberapa kekurangan dengan hasil sintesis yang menggunakan bahan kimia berbahaya beracun serta proses yang

rumit, sehingga metode biologis memberi peluang lain terhadap sintesis yang ramah lingkungan (Rai et al., 2021). Sintesis dengan metode biologis atau *Green Synthesis* telah menjadi metode sintesis yang menguntungkan karena proses sintesis yang sederhana, kinetika sintesis yang lebih lambat, dan kestabilan lebih baik dengan adanya kontrol terhadap pertumbuhan nanopartikel perak (Bollella et al., 2016). *Green Synthesis* nanopartikel perak dilakukan dengan menggunakan sumber daya bahan organik yang berasal dari tanaman (komponen tanaman), mikroorganisme, dan biopolimer (Chung et al., 2016; Rafique et al., 2017). Nanopartikel perak dengan sintesis menggunakan tanaman lebih baik dibandingkan sintesis biologis lainnya karena dapat memproduksi nanopartikel perak dalam jumlah besar (Chung et al., 2016).

Indonesia merupakan salah satu negara dengan penghasil buah belimbing manis terbesar di dunia. Selama ini buah belimbing manis yang banyak diproduksi di Indonesia, namun belum dimanfaatkan dengan baik karena hanya diolah secara sederhana (Imaduddin et al., 2017). Buah belimbing manis dengan taksonomi *species Averrhoa carambola* L. diketahui mengandung senyawa metabolit sekunder yang bermanfaat sebagai pereduksi pada sintesis nanopartikel perak. Sintesis nanopartikel menggunakan tanaman menawarkan metode yang ramah lingkungan dengan penggunaan pelarut yang lebih aman, mengurangi penggunaan reagen berbahaya, kondisi respons yang sederhana, dan kelayakan serta kemampuan adaptasinya dalam aplikasi biomedis (Chung et al., 2016). Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini mempelajari sintesis nanopartikel perak dengan metode biologis menggunakan ekstrak buah belimbing manis *Averrhoa carambola* Linn. Hasil penelitian menentukan kondisi optimum dan karakterisasi dalam mengontrol ukuran, bentuk dan kestabilan dari nanopartikel perak dilakukan sehingga sangat berpotensi untuk diterapkan pada aplikasi sensor glukosa darah.

1.2 Tinjauan Teoritis

1.2.1 Nanopartikel

Nanoteknologi menjadi salah satu teknologi paling menjanjikan di abad ke-21, dimana *National Nanotechnology Initiative* (NNI) di Amerika mendefinisikan nanoteknologi sebagai “suatu ilmu pengetahuan, teknik, dan teknologi yang dilakukan pada skala nano dan diaplikasikan pada berbagai bidang, antara lain kimia, fisika, biologi, kedokteran, teknik, dan elektronik”. Kata 'nano' berasal dari bahasa Yunani yang berarti 'kurcaci' atau sesuatu yang sangat kecil (Bayda et al., 2020). Nanoteknologi menciptakan partikel yang berukuran sangat kecil dengan karakteristik yang khas dan diintegrasikan ke dalam berbagai industri yang dikenal dengan nanopartikel (Agarwal et al., 2017). Nanopartikel mengungkapkan sifat-sifat yang didukung oleh karakteristik tertentu seperti ukuran, distribusi dan morfologi (Kanchi dan Ahmed, 2018). Nanopartikel dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain karbon, anorganik, organik, komposit, dan partikel *bio-based* pada skala nano, dan dapat diproduksi dalam bentuk dan ukuran yang bervariasi dengan metode berbeda-beda (Abbasi et al., 2023).

Nanopartikel merupakan molekul yang terdiri dari tiga lapisan, yaitu (a) Lapisan permukaan, yang dapat difungsikan dengan berbagai molekul kecil, ion logam, surfaktan dan polimer. (b) Lapisan cangkang, yang secara kimiawi merupakan bahan yang berbeda dari inti dalam semua aspek, dan (c) Inti, yang pada dasarnya merupakan bagian tengah dari nanopartikel itu sendiri (Khan et al., 2019). Berdasarkan asalnya, nanopartikel dikelompokkan menjadi tiga jenis: 1) Nanopartikel alami sudah ada sejak awal sejarah bumi dan masih terjadi di lingkungan (debu vulkanik, komposit mineral, dll); 2) Nanopartikel insidental didefinisikan sebagai partikel limbah, dibentuk sebagai hasil proses industri buatan manusia (knalpot diesel, pembakaran batubara, asap hasil pengelasan, dll.); 3) Nanopartikel yang direkayasa (bahan berbasis karbon, bahan berbasis logam, dendrimer dan komposit (Suciati, 2019). Nanopartikel diketahui dapat dibuat dari logam atau non-logam tergantung pada bentuk dasarnya. Nanopartikel logam berasal dari emas, perak, tembaga, bahan magnetik (kobalt, nikel), dan bahan semikonduktor sedangkan nanopartikel non-logam sebagian besar berasal dari bahan berbasis karbon (Alharbi et al., 2022). Nanopartikel logam, termasuk selenium, perak, platinum, emas, aurum, tembaga, dan paladium, bersama dengan senyawa oksidanya berpotensi dalam aplikasi di bidang biomedis (Abbasi et al., 2023).

1.2.2 Perak dan Nanopartikel Perak

Menurut sejarah, perak merupakan simbol dari kemurnian yang sering digunakan dalam peralatan medis dan dapat menyembuhkan banyak penyakit karena memiliki sifat antibakteri dan antiseptik (Venkatesh, 2018). Perak (Ag) adalah logam yang putih, liat, dapat ditempa, dan memiliki kerapatan tinggi (10,5 g/mL) serta melebur pada suhu 960,5 °C. Perak dengan nomor atom 47 memiliki konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan reflektivitas tertinggi di antara semua logam (Roddu, 2021). Perak merupakan logam transisi lunak yang dalam bentuk logamnya bersifat *innert*, namun dalam bentuk ionnya, baik Ag^+ maupun Ag^{2+} akan bersifat reaktif (Shonhaji, 2021). Kegunaan logam perak antara lain untuk menyolder, melapisi peralatan pada mesin, pembuatan cermin, dan kontak listrik. Dibandingkan dengan logam lainnya, perak memiliki tingkat pemudaran yang rendah serta konduktivitas listrik dan termal yang besar (Keast, 2022). Perak dalam bentuk garam yang sering digunakan adalah $AgNO_3$ yang memiliki stabilitas tinggi dan harganya murah (Faidah, 2019). Perak nitrat ($AgNO_3$) berbentuk serbuk putih, dimana jika terpapar cahaya maka serbuk tersebut mengalami degradasi dan berubah warna menjadi abu-abu kehitaman. Perak nitrat sangat mudah larut dalam air, dan sensitif terhadap cahaya (Cahyani, 2020).

Nanopartikel perak (NPP) adalah logam perak dalam skala nano dan memiliki sifat optis aktif yang khas yang membedakannya dengan ukuran makro. Nanopartikel perak diterapkan sebagai aplikasi secara luas dan memiliki tingkat komersial yang tinggi. Hal ini disebabkan nanopartikel perak memiliki sifat fisik dan kimia yang khas, termasuk konduktivitas, stabilitas, dan aktivitas katalitik (Oktavia dan Sutoyo 2021). Nanopartikel perak juga memiliki sifat yang stabil sehingga

digunakan secara komersial dalam berbagai bidang aplikasi seperti biomedis, pengolahan air, energi terbarukan, lingkungan, obat-obatan (biomedis), pertanian, makanan, dan sensor (Maarebia, 2019; Kanchi dan Ahmed, 2018). Pemanfaatan nanopartikel perak di berbagai bidang yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemanfaatan NPP di berbagai bidang (Kanchi dan Ahmed, 2018)

1.2.3 Belimbing Manis

Belimbing manis *Averrhoa carambola* Linn, biasa dikenal dengan nama *carambola* atau buah bintang, merupakan pohon dalam famili *Oxalidaceae* (Gambar 2). Buah belimbing manis merupakan salah satu jenis tanaman yang berasal dari Malaysia, Filipina, Indonesia, Mesir, Cina Selatan, India, Amerika Selatan dan beberapa negara tropis (Luan et al., 2021). Struktur morfologi tanaman belimbing manis terdiri atas akar, batang, cabang, ranting, bunga, buah dan biji. Perakaran tanaman belimbing manis cukup dalam dan menyebar ke segala arah. Batangnya berkayu keras, tidak teratur, bergaris tengah antara 20-35 cm, dengan kulit batang licin (halus) dan berwarna coklat keabu-abuan atau kelabu tua. Daunnya termasuk dalam daun majemuk dimana tangkai daunnya pendek dan pangkal daun agak besar pada bagian atasnya. Bunga memiliki 5 helai daun yang bergabung dalam satu kuncup. Buah berbentuk lonjong dengan 5 rusuk yang tajam dengan ukuran panjang mencapai 15 cm dengan biji lonjong berwarna coklat muda (Firmansyah, 2019).



Gambar 2. Belimbing manis A. belimbing: (A): tanaman utuh; (B): buah-buahan; (C): bunga dan batang; (D): daun (Luan et al., 2021)

Dalam sistematika tanaman, belimbing manis dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Firmansyah, 2019):

Divisio	: Spermatophyta
Kelas	: Angiospermae
Subkelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Oxalidales
Famili	: Oxalidaceae
Genus	: <i>Averrhoa</i>
Species	: <i>Averrhoa carambola</i> L.

Buah belimbing manis memiliki karakteristik khas yang renyah, berair, dengan rasa yang asam dan manis. Buah ini berbentuk bintang dan memiliki penampilan yang berwarna kuning keemasan hingga kuning kecoklatan. Buah belimbing manis sering digunakan dalam persiapan salad buah, sebagai hiasan koktail, atau diperas menjadi jus dan disajikan sebagai minuman. Selain itu, buah ini juga digunakan dalam pembuatan jeli, es krim, pengawet, dan manisan karena kadar airnya yang tinggi (Luan et al., 2021). Uji farmakologi telah mengkonfirmasi bahwa buah belimbing manis memiliki sifat anti-inflamasi, anti-mikroba, anti-jamur, anti-tumor, anti-maag, dan anti-kanker (Pertiwi et al., 2018; Ramadan et al., 2020). Senyawa kimia yang terkandung dalam buah belimbing manis, seperti fenolik dan flavonoid, juga dimanfaatkan sebagai pereduksi dalam pembentukan oksigen, penangkap radikal bebas yang berkaitan dengan aktivitas antioksidan, *chelator* logam, dan donor elektron (Oktaviani, 2018; Hidayah dan Anggarani, 2022).

1.2.4 Sintesis Nanopartikel Perak

1.2.4.1 Pendekatan Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak dapat dilakukan dengan dua pendekatan yang disebut pendekatan *top down* dan *bottom up* dengan perbedaan dalam bidang kualitas, kecepatan, dan biaya. Pendekatan *top down* adalah penguraian material berskala besar untuk mendapatkan partikel berukuran nano, yang dapat dicapai dengan menggunakan metode terkini seperti laser ablasi (Khan et al., 2019; Alharbi et al., 2022). Pendekatan *top down* memiliki proses cepat yang dapat dikontrol secara eksternal, namun tidak cocok untuk produksi skala besar (Venkatesh et al., 2018). Pendekatan *top down* pada dasarnya bekerja pada padatan dalam bentuk makro, dan ukuran ke skala nano dicapai dengan ablasi spesifik. Pendekatan *bottom up* merupakan pendekatan dalam pembuatan nanopartikel yang melibatkan penambahan secara bertahap dari atom ke atom atau molekul ke molekul dalam rentang skala nano (Bayda et al., 2020). Pendekatan *bottom up* lebih unggul untuk sintesis nanopartikel perak daripada pendekatan *top down* karena sintesis nanopartikel perak yang diatur oleh katalis, media reaksi, dan kondisi analisis (Kanchi dan Ahmed, 2018). Pendekatan sintesis nanopartikel perak *top down* dan *bottom up* terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pendekatan *top down* dan *bottom up* (Kanchi dan Ahmed, 2018)

1.2.4.2 Metode Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel secara tradisional dikenal dengan dua metode, yaitu fisika, dan kimia. Namun, seiring perkembangan dalam penelitian nanopartikel perak, maka metode biologi digunakan untuk mensintesis nanopartikel (Kanchi dan Ahmed, 2018). Hubungan pendekatan dan metode terhadap sintesis nanopartikel perak terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode sintesis nanopartikel (Rafique et al., 2017)

Sintesis nanopartikel		
Pendekatan Bottom up		Pendekatan Top down
<i>Green Synthesis</i>	Metode Kimia	Metode Fisika
Menggunakan bakteri	Reduksi kimia	Sinar laser ablasi
Menggunakan jamur	Sonokimia	Evaporasi-kondensasi
Menggunakan enzim	Gelombang mikro	Kopresipitasi
Menggunakan biomolekul	Fotokimia	<i>Arc discharge</i>
Menggunakan mikroorganisme	Elektrokimia	Litografi
Menggunakan tanaman dan ekstraknya	Pirolisis	Fase uap dan gas
	Mikroemulsi	Semprotan pirolisis
		Pelepasan <i>pulse wire</i>
Tidak beracun	Beracun	

Metode fisika adalah metode sintesis dengan memecah material berukuran besar menjadi berukuran nanometer (Shonhaji, 2021). Prosedur yang paling umum digunakan dengan metode kimia adalah sinar ablasi dan evaporasi-kondensasi (Alharbi et al., 2022). Kelebihan dari metode ini adalah tidak menggunakan zat pereduksi ataupun penstabil dari bahan kimia beracun dan berbahaya yang menimbulkan masalah dalam pengaplikasian nanopartikel perak di bidang biomedis (Kanchi dan Ahmed, 2018). Namun, metode fisika memiliki beberapa kelemahan, antara lain rendemen yang rendah, prosedur yang rumit, dan biaya yang mahal untuk produksi nanopartikel perak dalam jumlah besar karena konsumsi energi yang tinggi (Alharbi et al., 2022).

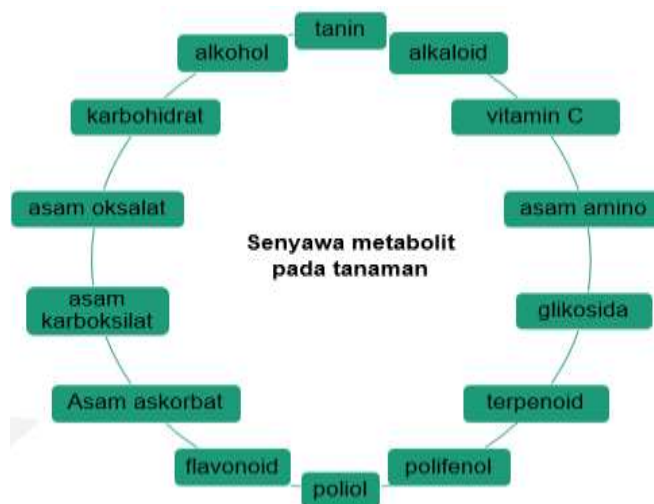
Metode kimia melibatkan reduksi bahan kimia, prosedur elektrokimia dan reduksi fotokimia (Chung et al., 2016) Metode kimia yang paling populer untuk mensintesis nanopartikel perak adalah reduksi bahan kimia dengan zat pereduksi organik dan anorganik yang berbeda dan disertai dengan zat penstabil (Dawadi et al., 2021; Alharbi et al., 2022). Namun, metode kimia sering menggunakan bahan kimia beracun dan berbahaya bagi lingkungan dan mengakibatkan adsorpsi bahan tersebut pada permukaan nanopartikel perak yang disintesis, sehingga tidak cocok untuk aplikasi biomedis (Chung et al., 2016; Cahyani, 2020).

Metode fisika dan kimia biasa digunakan dalam sintesis nanopartikel perak, namun keduanya dapat menyebabkan terjadinya akumulasi produk samping yang beracun dan tidak ramah lingkungan sehingga hasil nanopartikel tersebut sulit untuk diaplikasikan, terutama untuk aplikasi biomedis (Shonhaji, 2021; Ullah et al., 2023).

Sebagai alternatif, sintesis nanopartikel perak dengan metode biologi mendapatkan perhatian yang signifikan dan berkembang pesat terutama untuk penggunaan aplikasi biomedis dalam menghindari bahan kimia beracun dan berbahaya. Selain itu, persyaratan fisik untuk sintesisnya, termasuk tekanan, energi, suhu, dan bahan penyusunnya, sangat mudah (Hemlata et al., 2020; Chung et al., 2016). Metode sintesis secara biologi yang ramah lingkungan telah menarik perhatian para ahli nanoteknologi dan telah melahirkan cabang baru yang dikenal sebagai “*Green nanotechnology*”. Metode sintesis ini mengikuti prinsip “kimia hijau” dan dikenal dengan *Green Synthesis* (Kanchi dan Ahmed, 2018; Rai et al., 2021).

1.2.5 *Green Synthesis* Nanopartikel Perak

Green Synthesis nanopartikel perak adalah metode sintesis yang menggunakan mikroorganisme, biopolimer, dan tanaman. Metode ini ramah lingkungan, dengan menggunakan air sebagai pelarut, hemat biaya serta tanpa memerlukan bahan kimia mahal dan beracun (Agarwal et al., 2017; Dawadi et al., 2021). Metode *Green Synthesis* nanopartikel perak pertama kali dengan memanfaatkan mikroorganisme dan tanaman sebagai zat pereduksi dan penstabil (Kanchi dan Ahmed, 2018). Tahun 1999, Klaus et al. melaporkan nanopartikel perak yang disintesis dengan penggunaan bakteri *Pseudomonas stutzeri* AG259 untuk mensintesis nanopartikel perak dalam jumlah besar dengan ukuran hingga 200 nm (Rafique et al., 2017).



Gambar 4. Senyawa metabolit penting pada tanaman (Kanchi dan Ahmed, 2018)

Green Synthesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak tanaman lebih menguntungkan daripada penggunaan mikroorganisme karena tidak ada risiko kontaminasi mikroorganisme dan dapat mengurangi biaya isolasi dan kultur mikroorganisme (Chung et al., 2016; Amaliyah et al., 2021). Hal inilah yang menarik lebih banyak perhatian peneliti terhadap penggunaan ekstrak tanaman pada metode

Green Synthesis. Metode ini memiliki kelebihan, seperti proses sintesis lebih cepat, lebih aman, mudah, dan membutuhkan komponen yang sederhana (Chung et al., 2016). Selain itu, ekstrak tanaman juga memiliki efek sinergis yang mampu meningkatkan stabilitas dari nanopartikel perak (Ullah et al., 2023). Beberapa senyawa metabolit sekunder yang penting dalam tanaman terlihat pada Gambar 4.

Berbagai penelitian metode *Green Synthesis* telah membuktikan bahwa metabolit sekunder yang terkandung pada ekstrak tanaman dapat mereduksi ion logam perak menjadi nanopartikel perak (Kanchi dan Ahmed, 2018). Bagian tanaman sering digunakan seperti akar, daun, buah, biji dan batang dalam sintesis nanopartikel perak (Kanchi dan Ahmed, 2018). Senyawa metabolit sekunder seperti polisakarida, asam amino, polifenol, glikosida, flavonoid, terpenoid, dan alkaloid yang berperan penting sebagai zat pereduksi dan penstabil dalam menghasilkan nanopartikel perak yang dapat diaplikasikan (Hemlata et al., 2020). Gugus fungsi pada senyawa metabolit sekunder dalam tanaman berperan dalam reduksi ion perak (Ag^+) menjadi Ag^0 sebagai nanopartikel perak (Ndikau et al., 2017; Alharbi et al., 2022).

Green Synthesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak tanaman menawarkan beberapa keuntungan, namun memiliki tantangan untuk mencapai konsistensi dan keseragaman dalam sifat nanopartikel seperti ukuran, bentuk, sifat, dan kestabilan dari nanopartikel perak hasil sintesis (Ullah et al., 2023). Hal ini ditegaskan dalam beberapa penelitian sebelumnya, dimana karakteristik khas dari nanopartikel perak sangat dipengaruhi oleh kondisi proses sintesisnya melalui kinetika interaksi antara ion perak dengan zat pereduksi (Shonhaji, 2021; Amaliyah et al., 2021). Oleh karena itu, untuk sintesis nanopartikel perak dapat disesuaikan melalui optimalisasi kondisi sintesis yang berkaitan dengan parameter konsentrasi ion perak dan pereduksi, pH, suhu dan waktu sintesis (Chung et al., 2016; Ndikau et al., 2017). Optimalisasi parameter biasanya dilakukan dengan mengubah satu parameter sambil menjaga semua parameter lainnya tetap pada serangkaian kondisi tertentu (Ahani dan Khatibzadeh, 2017). Bukti awal terbentuknya nanopartikel perak dengan metode *Green Synthesis* adalah perubahan warna larutan menjadi kuning kecoklatan karena proses reduksi dari Ag^+ ke nanopartikel Ag^0 . Hasil sintesis nanopartikel perak dapat dilanjutkan dengan karakterisasi dan aplikasi (Hemlata et al., 2020; Shonhaji, 2021).

1.2.6 Karakterisasi Nanopartikel Perak

Karakterisasi nanopartikel perak sangat diperlukan untuk membuktikan keberhasilan proses sintesis nanopartikel perak. Karakterisasi nanopartikel perak dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa teknik yang sering digunakan untuk melakukan karakterisasi nanopartikel perak. Antara lain adalah spektrofotometer UV-Vis, *Particle Size Analyzer* (PSA), Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffraction*), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDS).

1.2.6.1 Spektrofotometer UV-Vis

Terbentuknya nanopartikel perak dapat diamati tidak hanya dari perubahan warna larutan tetapi juga dari hasil spektrum serapan dari panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Colling et al., 2018; Rizqi dan Alauhdin, 2021). Pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis adalah salah satu metode penting yang digunakan untuk menganalisis pembentukan dan stabilitas nanopartikel perak (Abbasi dan Anjum, 2016). Panjang gelombang maksimum dapat menunjukkan ukuran nanopartikel yang dihasilkan, dimana semakin besar λ_{maks} , semakin besar ukuran nanopartikel. Sedangkan nilai absorbansi dapat menunjukkan secara kualitatif jumlah nanopartikel yang terbentuk, dimana semakin tinggi intensitas serapan, semakin banyak nanopartikel yang terbentuk (Alharbi et al., 2022; Roddu, 2021).

Pengukuran dilakukan menggunakan spektrofotometer sinar monokromatis pada panjang gelombang (UV) di rentang 200-400 nm dan (Vis) di 400-750 nm untuk menghitung besarnya energi yang terabsorpsi dan diteruskan pada panjang gelombang yang telah ditentukan (Shonhaji, 2021; Taufiq, 2020). Prinsip kerja spektrofotometer UV-VIS adalah ketika cahaya monokromatik melewati suatu larutan sebagian cahaya tersebut diserap, sebagian dipantulkan dan sebagian lagi dipancarkan (Asyasyafiyah, 2022). Nanopartikel perak memiliki area pita SPR yang disebabkan oleh kombinasi getaran elektron logam dari nanopartikel dengan gelombang cahaya sehingga nanopartikel perak dapat menyerap lebih banyak sinar dan menghasilkan lebih banyak elektron (Cahyani, 2020; Siregar dan Yanuar, 2021). Nanopartikel perak yang terbentuk mampu menyerap pita puncak SPR yang khas pada λ_{maks} dengan rentang 400–480 nm (Alharbi et al., 2022; Abbasi dan Anjum, 2016).

Tabel 2. Karakterisasi NPP dengan spektrum UV-Vis oleh beberapa tanaman

No.	Tanaman	Spektrum UV-Vis	Referensi
1.	Kulit buah <i>Musa Paradisiaca</i> L.	415 nm	Colling et al., 2018
2.	Daun <i>Ocimum tenuiflorum</i>	426 nm	Dayakar et al., 2018
3.	Daun <i>Cratoxylum glaucum</i>	405 nm	Fabiani et al., 2018
4.	Daun <i>Tamarix articulata</i>	413 nm	Anwar et al., 2021
5.	Daun <i>Ziziphus mauritiana</i> L.	426 nm	Memon et al., 2021
6.	Buah <i>Araucaria angustifolia</i>	415 nm	Zamarchi et al., 2021
7.	Daun <i>Terminalia catappa</i>	424 nm	Siregar dan Yanuar, 2021
8.	Daun <i>Moringa oleifera</i>	419 nm	Asif et al., 2022
9.	Daun <i>Amaranthus spinosus</i>	420 nm	Mamuru et al., 2022
10.	Buah <i>Rhamnus prinioides</i>	416 nm	Solomon, 2023
11.	Daun dan akar <i>Strobilanthes glutinosus</i>	428 nm	Javed et al., 2023

1.2.6.2 Particle Size Analyzer (PSA)

Particle Size Analyzer (PSA) digunakan untuk menentukan ukuran nanopartikel dari hasil sintesis, yaitu analisis distribusi ukuran partikel (Pratiwi et al., 2022). Distribusi ukuran partikel mengacu pada penyebaran partikel dalam media cair, dimana partikel tidak menggumpal dan diukur sebagai distribusi jumlah atau volume massa atau berat untuk setiap partikel yang diperiksa (Shonhaji, 2021). Prinsip pengukuran PSA berdasarkan pada hamburan cahaya laser oleh partikel-partikel dalam sampel. Cahaya yang dipancarkan dari laser dikirimkan ke partikel-partikel dalam sampel, dan partikel-partikel tersebut akan menghamburkan cahaya kembali dan masuk ke detektor (Asyafiyah, 2022). Data yang diperoleh dari pengukuran PSA merupakan data kuantitatif rata-rata ukuran ribuan partikel per detik (Arya et al., 2017).

Peralatan PSA menggunakan prinsip *Dynamic Light Scattering* (DLS) yaitu pemanfaatan prinsip penghamburan cahaya pada suatu proses pengukuran. Ketika partikel atau molekul disinari cahaya, maka intensitas cahaya yang tersebar berfluktuasi dengan kecepatan tergantung pada ukuran partikel. Semakin kecil partikelnya, semakin cepat fluktuasinya (Shonhaji, 2021). *Dynamic Light Scattering* merupakan metode yang mengandalkan interaksi cahaya dengan partikel, dan metode ini dapat digunakan untuk mengukur distribusi ukuran partikel pada rentang 1–500 nm (Gavamukulya et al., 2019; Alharbi et al., 2022). *Polydispersity Index* (PI) dapat ditentukan melalui DLS, dimana menunjukkan ketidakseragaman partikel dalam larutan koloid dari nanopartikel. Nilai PI tidak memiliki satuan dengan rentang 0,05–0,7. Nilai PI yang mendekati 0,05 menunjukkan bahwa partikel tersebut bersifat monodispersi, sedangkan nilai PI mendekati 0,7 menunjukkan bahwa partikel tersebut heterogen (Ghasemi et al., 2024).

Tabel 3. Karakterisasi NPP dengan pengukuran PSA oleh beberapa tanaman

No.	Tanaman	Karakterisasi PSA	Referensi
1.	Daun <i>Garcinia mangostana</i> L.	Distribusi ukuran 204,23–562,49 nm, dengan ukuran rata-rata 339,44 nm	Masakke et al., 2015
2.	Buah <i>Terminalia bellirica</i>	Ukuran rata-rata 20,74 nm	Patil et al., 2017
3.	Buah <i>Myrmecodia Pendans</i>	Ukuran rata-rata 76,1 nm	Maarebia, 2019
4.	Daun <i>Cucumis prophetarum</i>	Distribusi ukuran 50-150 nm, dengan PI 0,3	Hemlata et al., 2020
5.	Bunga <i>Clitoria ternatea</i> L.	Ukuran rata-rata 64,2 nm, dengan PI 0,22	Cahyani, 2020
6.	Daun <i>Muntingia calabura</i> L.	Ukuran rata-rata 170,9 nm	Rizqi dan Alauhdin, 2021
7.	Daun <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Ukuran rata-rata 43 nm	Liaqat et al., 2022
8.	Daun <i>Syzigium aromaticum</i>	Ukuran rata-rata 217,8 nm	Asyafiyah, 2022

1.2.6.3 Difraksi Sinar X (X-Ray Diffraction)

Difraksi sinar-X adalah metode karakterisasi material yang telah ada sejak lama dan masih sering digunakan hingga saat ini. Metode ini ditemukan pada tahun 1912 oleh Friederich, Kniping, dan Von Laue (Nuraeni, 2017). Difraksi sinar-X adalah metode standar untuk mengkarakterisasi berbagai jenis material seperti logam, oksida logam, polimer, material organik, mineral, dan superkonduktor (Faidah, 2019). Metode ini memberikan informasi tentang struktur kristal material dan menghasilkan data difraksi dan intensitas difraksi pada sudut-sudut tertentu dari bahan yang diukur menggunakan XRD. Setiap pola difraksi sinar-X mewakili bidang kristal dengan orientasi tertentu (Pratiwi, 2016). Prinsip dasar metode ini adalah berkas sinar-X diproyeksikan ke sampel nanopartikel dan dihamburkan oleh atom-atom sehingga terbentuk pola difraksi. Interferensi sinar-X yang dihamburkan dapat digunakan menurut hukum Bragg untuk mengidentifikasi karakteristik material tersebut (Nuraeni, 2017; Bamal et al., 2021).

XRD adalah instrumen yang digunakan untuk karakterisasi struktur dan ukuran kristal dari suatu material berbentuk padatan dengan munculnya puncak-puncak yang spesifik. Hasil pengukuran dibandingkan dengan data difraktogram yang diperoleh dari *Joint Committee on Powder Diffraction Standard* (JCPDS) (Dawadi et al., 2021). Hasil difraktogram XRD (2θ) untuk NPP dengan JCPDS standar nomor 04-0783 berada pada puncak difraksi $38,116^\circ$; $44,277^\circ$; $64,426^\circ$ (Kanniah et al., 2020). Metode difraksi sinar-X merupakan metode karakterisasi yang penting untuk membuktikan pembentukan nanopartikel perak, menentukan struktur kristal dan menghitung ukuran nanopartikel kristal (Ayad et al., 2019). Karakterisasi XRD juga dilakukan untuk memperoleh informasi derajat kristalinitas (penentuan struktur kristal-amorf) dan indeks Miller (hkl) serta untuk menentukan ukuran kristal menggunakan persamaan *Scherrer* dalam identifikasi pola difraksi dan intensitas puncak (Fabiani et al., 2018). Metode karakterisasi XRD telah sering digunakan dalam berbagai penelitian untuk menentukan kristalinitas dari nanopartikel perak yang menggunakan metode *Green Synthesis* (Jain et al., 2021).

Tabel 4. Karakterisasi NPP dengan metode XRD oleh beberapa tanaman

No.	Tanaman	Karakterisasi XRD	Referensi
1.	Daun <i>Ocimum tenuiflorum</i>	Puncak difraksi pada 38,09; 44,15; 64,67. Indeks hkl yaitu (111), (200), (220).	Dayakar et al., 2018
2.	Akar <i>Arctium lappa</i>	Puncak difraksi pada 38,12; 44,33; 64,49. Indeks hkl yaitu (111), (200), (220) dengan struktur FCC.	Nguyen et al., 2018
3.	Bunga <i>Rosa damascena</i>	struktur kristal FCC, dengan kelompok ruang Fm-3m dan nilai $a = 4,085 \text{ \AA}$ serta ukuran rata-rata 10,9 nm.	Dodevska et al., 2019
4.	Buah <i>Piper retrofractum Vahl</i>	Puncak difraksi pada 38,16; 46,19; 64,47. Indeks hkl yaitu (111), (200), (220) dengan struktur FCC.	Amaliyah et al., 2021

1.2.6.4 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy

Morfologi ukuran dan bentuk nanopartikel perak dianalisis menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan untuk mengetahui komposisi kimianya dengan instrumen *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) (Masakke et al., 2015). Pada monitor SEM, *spot size* diatur dan gambar permukaan sampel dikumpulkan sebagai hasil dari penggunaan SEM. Pada monitor EDS, sinar elektron mengenai sampel dan menghasilkan elektron baru yang diterima oleh detektor. Data unsur dari sampel yang dianalisis ditampilkan dalam bentuk grafik pada monitor EDS (Asyafiyah, 2022). Pengukuran dimulai dengan metode SEM, yang menggunakan elektron untuk merekam gambar dan karakteristik morfologi, bentuk, ukuran, dan distribusi nanopartikel perak (Ayad et al., 2019). Prinsip SEM adalah memfokuskan sinar elektron dengan energi tinggi (1-20 kV) ke permukaan sampel, sehingga terjadi interaksi antara permukaan sampel dan sinar elektron yang ditembakkan (Johansyah, 2018).

Karakterisasi SEM digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan nanopartikel dan menampilkan bentuk dan ukurannya. SEM adalah metode karakterisasi material yang umum digunakan untuk melihat morfologi permukaan dan ukuran butir pada nanomaterial (Shonhaji, 2021; Asyafiyah, 2022). SEM dirancang untuk mengamati permukaan objek padat secara langsung, dengan perbesaran hingga 10-3.000.000 kali, *depth of field* antara 4-0,4 mm, dan resolusi 1-10 nm. Kombinasi perbesaran tinggi, *depth of field* yang besar, dan resolusi yang baik membuat SEM banyak digunakan dalam penelitian dan industri (Farikhin, 2016; Johansyah, 2018). Keuntungan utama dari karakterisasi SEM adalah memberikan informasi tentang kemurnian dan tingkat agregasi partikel, kemampuannya dalam detail tiga dimensi, pencitraan topografi, dan pengumpulan informasi dari detektor yang berbeda. SEM juga mudah dioperasikan berkat kemajuan teknologi komputer dan perangkat lunak modern, yang memungkinkan pembuatan data dalam bentuk digital. Namun, kekurangannya adalah tidak cocok untuk memeriksa struktur dalam nanopartikel (Bamal et al., 2021; Asyafiyah, 2022).

Karakterisasi EDS digunakan untuk mengidentifikasi komposisi unsur dan pengotor nanopartikel melalui interaksi sinar-X dengan nanopartikel (Bamal et al., 2021; Dawadi et al., 2021). Sinar-X yang dipancarkan oleh nanopartikel dideteksi oleh detektor sinar EDS dengan data kuantitatif (Bamal et al., 2021). Puncak emisi pada 3 keV menunjukkan keberadaan perak, dan ketiadaan puncak dari unsur lain mengkonfirmasi bahwa nanopartikel perak yang dihasilkan bebas dari pengotor. Namun, jika terdapat puncak lain seperti karbon dan oksigen, hal tersebut menunjukkan adanya interaksi antara metabolit sekunder dan nanopartikel perak di permukaan, atau adanya oksida dari nanopartikel perak (Dawadi et al., 2021). Pengotor/kontaminan dalam hasil pengukuran EDS dipengaruhi oleh kondisi selama proses sintesis (Gavamukulya et al., 2019).

Tabel 5. Karakterisasi NPP dengan metode SEM-EDS oleh beberapa tanaman

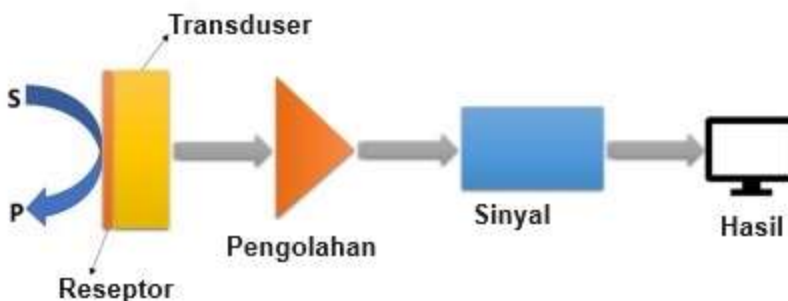
No.	Tanaman	Karakterisasi SEM-EDS	Referensi
1.	Batang <i>Zizyphus xylopyrus</i>	Nanopartikel perak ditemukan berbentuk <i>spherical</i> (bulat) dan berukuran antara 60 hingga 70 nm. Spektrum EDS menampilkan keberadaan nanopartikel perak.	Maria et al., 2015
2.	<i>Linum usitatissimum</i> L.	Nanopartikel perak ditemukan berbentuk <i>spherical</i> (bulat) dan berukuran antara 49 hingga 54 nm. Spektrum EDS menampilkan keberadaan nanopartikel perak pada kisaran 3,0–4,0 keV.	Abbasi dan Anjum, 2016
3.	Buah <i>Terminalia bellirica</i>	Nanopartikel perak ditemukan berbentuk <i>spherical</i> (bulat) dan berukuran rata-rata 20,6 nm. Spektrum EDS menampilkan keberadaan nanopartikel perak.	Patil et al., 2017
4.	Buah <i>Cinnamomum camphora</i>	Nanopartikel perak ditemukan berbentuk <i>spherical</i> (bulat). Spektrum EDS menampilkan keberadaan nanopartikel perak pada kisaran 3,0 keV. Sinyal adanya unsur kalium, aluminium, karbon, oksigen, natrium, dan zirkonium disebabkan oleh komponen ekstrak buah dan larutan lainnya.	Huang et al., 2019
5.	Daun <i>Cucumis prophetarum</i>	Nanopartikel perak ditemukan berbentuk <i>spherical</i> (bulat) dan berukuran antara 30 hingga 50 nm. Spektrum EDS menampilkan keberadaan nanopartikel perak pada kisaran 3,0 keV. Sinyal adanya unsur karbon dan oksigen juga terdeteksi dalam spektrum, yang berasosiasi dengan senyawa organik pada ekstrak daun.	Hemlata et al., 2020
6.	Daun <i>Amaranthus spinosus</i>	Nanopartikel perak ditemukan berbentuk <i>spherical</i> (bulat) padat yang teragregasi oleh kondisi persiapan sampel untuk pemeriksaan SEM. Spektrum EDS menampilkan keberadaan nanopartikel perak pada kisaran 3,0 keV. Sinyal adanya unsur oksigen, karbon, aluminium, fosfor, kalsium dan kalium yang lemah, menunjukkan bahwa mereka berasal dari biomolekul yang terikat pada permukaan nanopartikel perak.	Mamuru et al., 2022

1.2.7 Aplikasi Nanopartikel Perak pada Sensor Elektrokimia

Green Synthesis nanopartikel perak digunakan dalam banyak aplikasi di bidang biomedis, antara lain penyembuhan luka, terapi penyakit mata, proses pada DNA, dan obat-obatan (Chung et al., 2016). Nanopartikel perak memiliki luas permukaan yang besar, optis aktif yang khas, dan sifat konduktivitas tinggi sehingga laju transfer elektron lebih kuat dibandingkan dengan menggunakan nanopartikel logam lainnya. Berdasarkan hal tersebut, nanopartikel perak menunjukkan penerapannya yang menjanjikan dalam aktivitas katalitik sebagai salah satu kandidat untuk sensor elektrokimia (Baghayeri et al., 2017).

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan fisika atau kimia menjadi sinyal listrik. Besaran fisika meliputi besaran pokok dan satuan turunan sedangkan besaran kimia biasanya melibatkan beberapa reaksi kimia (Sulistiyanti et al., 2020). Sensor fisika mendeteksi suatu besaran berdasarkan hukum-hukum fisika contohnya sensor cahaya, sensor suara, sensor kecepatan, sensor percepatan dan sensor suhu. Sedangkan sensor kimia mendeteksi jumlah zat kimia dengan mengubah besaran kimia menjadi besaran listrik, yang melibatkan reaksi kimia, contohnya sensor pH, sensor oksigen, sensor ledakan, dan sensor gas (Suciati, 2019).

Sensor kimia meliputi tiga bagian utama, yaitu elemen pengenalan (reseptor) yang memiliki sensitivitas terhadap analit yang dideteksi, transduser yang mampu mengubah hasil deteksi menjadi sinyal elektrik, dan elemen perekaman untuk representasi data yang digunakan (Kozitsina et al., 2018; Baingane et al., 2018; Roddu, 2021). Ketiga komponen dalam mekanisme kerja sensor kimia terlihat pada Gambar 1.5. Secara umum, sensor kimia terdiri dari dua komponen penting, yaitu reseptor dan transduser dengan sifat fisika dan kimia. Reseptornya dapat berbagai jenis dan dapat berupa permukaan yang diaktifkan atau dimodifikasi hingga molekul kompleks (makro), dimana reseptor berinteraksi yang sangat spesifik dengan analit. Transduser bertanggung jawab untuk mengubah sinyal yang diciptakan oleh interaksi reseptor-analit menjadi nilai yang terbaca (Baranwar et al., 2022).



Gambar 5. Mekanisme kerja sensor kimia (Baranwar et al., 2022)

Sensor elektrokimia merupakan salah satu jenis sensor kimia yang bekerja berdasarkan reaksi elektrokimia yang berkaitan dengan konversi reaksi kimia menjadi energi listrik atau sebaliknya. Sensor elektrokimia dapat dikembangkan

menjadi alat ukur yang sensitif dan selektif (Maarebia, 2019; Putri et al., 2021). Sensor elektrokimia telah lama digunakan untuk mendeteksi biomolekul di industri, pertanian, lingkungan, makanan, dan farmakologi. Sensor elektrokimia memiliki beberapa keunggulan antara lain sensitivitas dan akurasi yang tinggi, biaya rendah, serta pemrosesan yang cepat. Perangkat dalam pengukuran sensor elektrokimia terbagi menjadi beberapa jenis, seperti amperometri, potensiometri, konduktometri, fotoelektrokimia, dan fotoluminesensi. Perangkat sensor amperometri dan potensiometri sering digunakan dalam deteksi dan identifikasi berbagai protein dan biomolekul dengan berat molekul rendah (Baranwal et al., 2022).

1.2.8 Diabetes Melitus dan Sensor Glukosa Darah

1.2.8.1 Diabetes Melitus

Penyakit diabetes adalah gangguan metabolisme karbohidrat karena produksi insulin oleh pankreas yang tidak mencukupi. Defisiensi insulin ditandai dengan peningkatan kadar glukosa dalam darah atau urin. Defisiensi insulin pada penderita diabetes memiliki dampak kesehatan yang buruk dan dapat menyebabkan komplikasi yang fatal (Hwang et al., 2018; Suciati, 2019; Putri et al., 2021). Menurut International Diabetes Federation (2021), Indonesia memiliki populasi diabetes tertinggi ketujuh di dunia dengan total 8,5 juta pasien diabetes, setelah China, India, Amerika Serikat, Brasil, Rusia, dan Meksiko.

Secara etimologi, diabetes dibagi menjadi empat jenis menurut American Diabetes Association (2022), yaitu diabetes Tipe I (*Insulin Dependent Diabetes Mellitus/ IDDM*) dan Tipe II (*Non-Insulin Dependent Diabetes Mellitus/ NIDDM*), DM tipe lain, dan DM Gestasional. Diabetes Tipe I terjadi karena faktor genetik yang umumnya dimiliki sejak kecil dan memerlukan insulin untuk mengendalikan kadar gula darah, sedangkan diabetes Tipe II umumnya dialami oleh orang dewasa (Perkeni, 2021). Diabetes tipe lain dapat terjadi karena efek genetik dari fungsi sel beta dan kerja insulin, penyakit eksokrin pankreas, endokrinopati, efek obat atau zat kimia, infeksi, dan sindrom genetik lainnya. DM Gestasional dapat terjadi selama masa kehamilan, biasanya pada trimester kedua dan ketiga (American Diabetes Association, 2022).

1.2.8.2 Sensor Glukosa Darah

Pengukuran kadar glukosa darah pada manusia merupakan bagian penting dalam pengelolaan kesehatan manusia. Pemantauan glukosa bagi pasien diabetes harus dilakukan secara simultan dan kontinu untuk menghindari komplikasi makrovaskuler yang meningkat, seperti stroke dan penyakit jantung koroner. Tersedianya peralatan uji dan sensor glukosa yang memadai, maka diperlukan sensor glukosa darah yang memiliki kemampuan sensitivitas yang tinggi (Thatikayala et al., 2020; Zainul et al., 2020). Komponen terpenting dari alat pemantau glukosa darah adalah teknologi deteksi yang mengukur konsentrasi glukosa (Hwang et al., 2018).

Sensor glukosa berdasarkan pengukurannya terbagi atas sensor optik dan elektrokimia. Sensor optik menggunakan serat optik untuk mendeteksi glukosa menggunakan penyerapan, penyinaran, dan hamburan cahaya namun kekurangannya telah membatasi penggunaannya dibandingkan sensor elektrokimia (Hassan et al., 2021). Pengembangan sensor glukosa secara elektrokimia yang dapat mendeteksi glukosa secara langsung, mudah digunakan, dan berbiaya rendah menjadi topik penelitian intensif saat ini (Thatikayala et al., 2020). Sensor glukosa secara elektrokimia umumnya terbagi dua, yaitu sensor glukosa enzimatis dan sensor glukosa non-enzimatis (Ahmad et al., 2021). Sensor glukosa pertama kali diusulkan oleh Clark dan Lyon yang menjelaskan penggunaan enzim untuk mengubah biomolekul elektroinaktif menjadi produk elektroaktif dengan enzim glukosa oksidase (GOD) pada elektroda platina (Hassan et al., 2021). Sensor glukosa dengan menggunakan enzim memiliki kelemahan pada stabilitas, suhu, kelembapan, bahan kimia dan sterilisasi selama pembuatan, penyimpanan, dan penggunaannya. Kemajuan pesat dalam nanoteknologi memberi peluang baru untuk sensor glukosa non-enzimatis yang dapat dibuat dalam skala besar serta dapat diandalkan (Hwang et al., 2018). Sensor glukosa non-enzimatis adalah teknik yang murah dan cepat yang bergantung pada oksidasi langsung glukosa secara elektrokimia pada permukaan elektroda (Hassan et al., 2021).

Perkembangan penelitian sensor glukosa non-enzimatis masih menghadapi beberapa hambatan terkait masalah sensitivitas dan selektivitas oleh elektroda yang digunakan. Bahan elektroda harus memiliki kemampuan transfer elektron yang cepat dan efisien serta aktivitas elektrokatalitik yang baik (Ahmad et al., 2021). Penggunaan bahan elektroda alternatif memungkinkan terciptanya sensor non-enzimatis yang pada dasarnya tidak kalah dengan sensor enzimatis dalam hal sensitivitas, selektivitas, keakuratan, kestabilan selama penyimpanan, dan tersedia secara komersial (Kozitsina et al., 2018). Penggunaan logam sebagai bahan elektroda yang berperan penting dalam sensor. Batasan dari aktivitas dan karakteristik sensor non-enzimatis dapat dikurangi dengan memperluas permukaan elektroda yang digunakan sehingga lebih banyak molekul glukosa yang bereaksi langsung dengan permukaan elektroda (Hassan et al., 2021). Untuk mencapai tujuan ini, penggunaan beberapa nanopartikel secara luas telah banyak dilakukan dengan kinerja analitis yang ditingkatkan dibandingkan dengan desain sensor lainnya (Baingane et al., 2018).

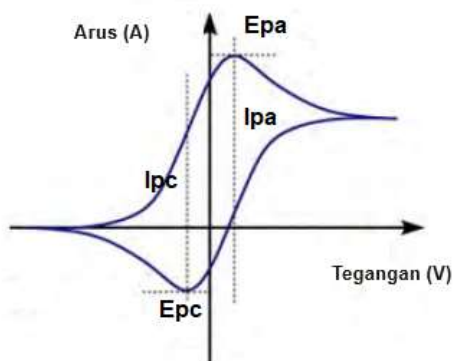
1.2.9 Voltametri Siklik

Pengukuran pada sensor glukosa secara elektrokimia, dimana bahan elektroda yang digunakan adalah nanopartikel maka menggunakan metode voltametri (Ivanišević, 2023). Voltametri adalah teknik elektrokimia yang berkaitan dengan hubungan besaran listrik terhadap reaksi kimia, dimana besaran listrik yang terlibat berupa arus, potensial, dan tegangan (Putri et al., 2021). Metode analisis voltametri menggunakan teknik potensial terkontrol yaitu pengukuran respon arus dari analit dengan pemberian potensial pada elektroda. Prinsip dasar pengukuran voltametri yaitu arus

di dalam sel elektrokimia dimana kecepatan reduksi oksidasi analit ditentukan berdasarkan kecepatan transfer elektron dari analit ke permukaan elektroda (Pratiwi, 2018).

Material sensor dilakukan uji respon dengan metode voltametri yang memberikan respon grafik berupa voltametri siklik (Putri et al., 2021). Voltametri siklik (CV) adalah salah satu teknik voltametri yang paling penting dan banyak digunakan, dimana arus yang dihasilkan merupakan hasil dari perubahan potensial secara linear (Ivanišević, 2023). Secara umum, metode voltametri siklik pada sel elektrokimia bertujuan untuk menentukan potensial reaksi redoks secara spesifik dan mengidentifikasi mekanisme reaksi yang terjadi di permukaan elektroda (Triana, 2015). Karakteristik voltametri siklik tergantung beberapa faktor yaitu laju reaksi transfer elektron, kereaktifan, dan kecepatan pemindaian (*scan rate*) pada voltase (Pratiwi, 2018).

Pada voltametri siklik, respon arus diukur sebagai fungsi potensial, dimana pemberian potensial dilakukan dengan dua arah (bolak-balik), sehingga informasi reduksi dan oksidasi dapat diamati dengan baik (Triana, 2015). Pengukuran ini dilakukan dengan menerapkan suatu potensial ke dalam sel elektrokimia, kemudian respon arus yang dihasilkan dari proses reaksi redoks diukur lalu respon arus dan potensial ini digambarkan dengan bentuk kurva voltammogram (Maarebia, 2019). Voltammogram yang dihasilkan dari voltametri siklik dapat menunjukkan perilaku senyawa di permukaan elektroda sehingga reaksi yang terjadi pada permukaan elektroda dapat diketahui (Hutapea, 2015). Voltammogram yang dihasilkan merupakan kurva antara arus (pada sumbu vertikal) versus potensial (pada sumbu horizontal). Parameter penting dalam voltametri siklik adalah arus puncak dan potensial puncak yang keduanya berasal dari puncak katoda dan puncak anoda (Pratiwi, 2018). Voltametri siklik dengan dua puncak terpisah untuk reaksi oksidasi dan reduksi yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Contoh kurva voltammogram pada voltametri siklik (Yanuaresa, 2020)

Voltammogram menghasilkan besaran nilai-nilai dari parameter penting seperti potensial puncak anoda (E_{pa}), potensial puncak katoda (E_{pc}), puncak arus anoda (I_{pa}), dan puncak arus katoda (I_{pc}) (Yanuaresa, 2020). Aplikasi metode voltametri siklik tidak hanya terbatas pada penggunaan untuk kepentingan analitik tetapi juga non-analitik, seperti penelitian mengenai proses dan mekanisme oksidasi-reduksi pada berbagai “media”, proses adsorpsi, dan mekanisme transfer elektron pada permukaan elektroda yang dimodifikasi (Pratiwi, 2018).

1.2.10 Elektroda

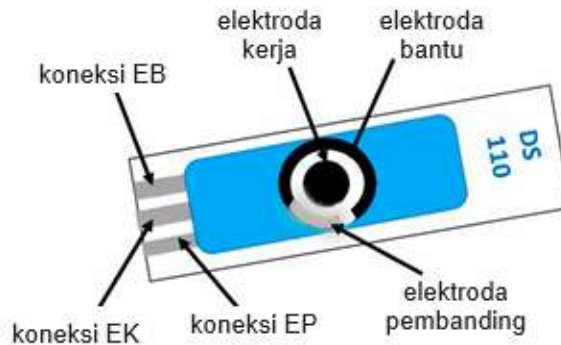
Analisis secara elektrokimia, terutama dengan metode voltametri siklik, sangat tergantung pada elektroda yang digunakan. Elektroda berfungsi sebagai penghantar yang mengumpulkan atau mengendalikan aliran partikel bermuatan yang juga disebut konduktor elektronik (Yanuaresa, 2020). Selain itu, elektroda juga menyediakan ruang antarmuka di mana ion dapat ditransfer (Triana, 2015). Dalam proses analisis elektrokimia, analit berpindah secara difusi ke permukaan elektroda kerja dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah secara spontan (Pratiwi, 2018). Beberapa sifat yang harus dimiliki oleh elektroda yang digunakan dalam analisis elektrokimia adalah kestabilan, konduktivitas, dan aktivitas elektrokatalitik yang tinggi. Elektroda dapat berbentuk batang, kawat, atau lempengan (Yanuaresa, 2020). Bahan elektroda yang digunakan dalam analisis elektrokimia dapat terbuat dari logam padat (misalnya, Pt, Au), logam cair (Hg, amalgam), karbon (grafit), dan semikonduktor (oksida indium-timah, Si) (Triana, 2015).

Dalam analisis elektrokimia menggunakan teknik voltametri, umumnya digunakan tiga jenis elektroda, yaitu elektroda kerja (*working electrode/WE*), elektroda pembanding (*reference electrode/RE*) dan elektroda bantu (*counter electrode/CE*) (Roddu, 2021). Elektroda kerja berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi kimia, yaitu oksidasi reduksi, di mana elektroda kerja berinteraksi dengan analit dan menunjukkan respons (transfer elektron) dari dan ke analit. Elektroda pembanding adalah elektroda yang memiliki potensial reduksi yang diketahui dan digunakan untuk mengukur potensial pada elektroda kerja. Elektroda bantu bertugas untuk mengalirkan arus yang diperlukan sebagai penyeimbang arus di elektroda kerja. Pemilihan bahan elektroda kerja bergantung pada tiga faktor penting, yaitu potensial batas elektroda kerja, pengaruh elektroda kerja dalam reaksi elektrolitik, dan kinetika transfer elektron (Pratiwi, 2018). Dalam memilih elektroda kerja yang digunakan, perlu dipertimbangkan jenis bahan, morfologi permukaan, dan desain elektroda. Beberapa elektroda kerja umum yang digunakan adalah *Glassy Carbon* (C), platina (Pt), perak (Ag), dan emas (Au) (Hutapea, 2015). Elektroda pembanding umum yang digunakan adalah elektroda kalomel jenuh (EKJ) atau Ag/AgCl, sedangkan elektroda bantu yang digunakan adalah kawat Pt yang bersifat inert (Roddu, 2021).

1.2.11 Screen Printed Electrodes (SPE)

Penelitian tentang sensor elektrokimia telah bergeser dalam beberapa tahun terakhir untuk fokus pada pengukuran analit dengan menggunakan elektroda dengan material baru sebagai transduser yaitu *Screen Printed Electrodes* (Torres-Rivero et al., 2021). Penggunaan volume analit yang rendah juga menjadikan *Screen Printed Electrodes* menjadi pilihan yang cocok dibandingkan dengan elektroda biasa untuk aplikasi sensor. *Screen Printed Electrodes* (SPE) atau elektroda cetak layar adalah perangkat sekali pakai yang digunakan secara luas di banyak bidang, antara lain kimia analitik, pengendalian obat, analisis klinis, industri makanan, pertanian, lingkungan atau keamanan nasional (Couto et al., 2016; Mincu et al., 2020). SPE menawarkan banyak manfaat dalam hal desain elektroda, kompatibilitas material, dan modifikasi, serta mampu diproduksi secara massal, terjangkau, dan sangat mudah direproduksi (Ferrari et al, 2021).

Screen Printed Electrodes (SPE) atau elektroda cetak layar telah mengalami peningkatan yang signifikan yang berhubungan dengan format dan bahan pencetakannya. SPE dibuat dengan beberapa tahap, yaitu pemilihan *screen* (layar) yang akan menentukan geometri dan ukuran SPE; pemilihan dan persiapan tinta; pemilihan bahan substrat; pencetakan; dan proses pengeringan dan pengawetan (Couto et al., 2016). Elektroda cetak layar (SPE) dapat dipilih sesuai dengan bahan pembuat elektroda kerja, misalnya karbon, emas, platina, atau logam lainnya, tergantung pada penelitian yang dilakukan (Mincu et al., 2020). (Beitollahi et al., 2020). Elektroda cetak layar (SPE) yang digunakan untuk analisis elektrokimia terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Komponen pada elektroda cetak layar (SPE)

Elektroda cetak layar (SPE) diproduksi menggunakan printer industri terkenal dari Amerika (*Gamry Instruments*) atau Austria (*Metrohm DropSens*) dengan memasukkan komponen kombinasi bahan elektroda pada permukaan SPE. Elektroda cetak layar terdiri dari tiga elektroda, yaitu elektroda kerja, elektroda bantu, dan elektroda referensi, sedangkan yang memiliki empat elektroda berisi elektroda sensor, elektroda kerja, elektroda bantu, dan elektroda referensi (Ferrari et al, 2021;

Mincu et al., 2020). Penggunaan nanopartikel untuk memodifikasi SPE menawarkan keuntungan signifikan dalam meningkatkan laju perpindahan massa dan aktivitas elektrokatalitik pada elektroda (Torres-Rivero et al., 2021). Elektroda cetak layar (SPE) yang dimodifikasi menggunakan nanopartikel logam menunjukkan karakteristik yang berbeda, seperti luas permukaan yang lebih besar dan konduktivitas listrik yang lebih baik. Karakteristik nanopartikel logam dapat meningkatkan aktivitas permukaan, sehingga menghasilkan laju reaksi dan sensitivitas sensor yang menguntungkan (Beitollahi et al., 2020). Temuan ini memberikan informasi bahwa nanopartikel logam dengan ukuran dan bentuk tertentu, reaktivitas, dan selektivitas terhadap deteksi analit elektrokatalitik dapat meningkatkan fungsionalitas elektroda sablon (Torres-Rivero et al., 2021).

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil optimasi sintesis nanopartikel perak yang dihasilkan dengan menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* L.?
2. Apa karakteristik dari nanopartikel perak yang dihasilkan dengan menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* L.?
3. Bagaimana respons sensor berbasis nanopartikel perak dengan menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* L. sebagai sensor glukosa darah?

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari hasil optimasi sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* L.
2. Mempelajari hasil karakterisasi nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* L.
3. Mempelajari hasil respon sensor berbasis nanopartikel perak dengan menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* L. sebagai sensor glukosa darah.

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam pembuatan sensor berbasis nanopartikel perak telah dilakukan.
2. Salah satu studi dalam mensintesis dan mengkarakterisasi nanopartikel perak menggunakan senyawa pereduksi alami yang mudah diperoleh, murah, dan ramah lingkungan.
3. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam ilmu pengetahuan, terutama dalam bidang sensor glukosa darah.

BAB II

TOPIK PENELITIAN I SINTESIS DAN OPTIMASI DARI *GREEN SYNTHESIS* NANOPARTIKEL PERAK DENGAN MENGGUNAKAN EKSTRAK BUAH BELIMBING MANIS *Averrhoa carambola* L.

2.1 Abstrak

Perkembangan sintesis nanopartikel perak (NPP) berkaitan erat dengan kemajuan di bidang nanoteknologi yang prosesnya sederhana, tidak menggunakan bahan beracun dan berbahaya, dan ramah terhadap lingkungan. Beberapa prosedur *Green Synthesis* menggunakan bagian tanaman yang mengandung senyawa metabolit sekunder sebagai zat pereduksi. Nanopartikel perak (NPP) dengan menggunakan ekstrak buah belimbing manis *Averrhoa carambola* L. telah dikaji dalam penelitian ini. Sintesis nanopartikel perak dari campuran antara prekursor AgNO_3 dan ekstrak buah sebagai pereduksi, dilakukan investigasi terhadap kondisi optimum yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh ukuran, bentuk, serta sifatnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengaruh dengan beberapa parameter seperti rasio ekstrak buah terhadap AgNO_3 , konsentrasi AgNO_3 , konsentrasi ekstrak, dan kondisi pH divariasikan dan ditentukan kondisi optimumnya. Rasio ekstrak terhadap AgNO_3 yaitu 1:3, dengan konsentrasi larutan AgNO_3 1 mM, konsentrasi ekstrak sebesar 20%, dan kondisi sintesis pada pH 5 merupakan kondisi optimum dari sintesis. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak buah manis *Averrhoa carambola* L. berpotensi dalam sintesis nanopartikel perak.

Kata kunci: *averrhoa carambola* linn; ekstrak buah; green synthesis; kondisi optimum; nanopartikel perak.

2.2 Pendahuluan

2.2.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan inovasi teknologi menarik dalam bidang penelitian yang berkaitan dengan produksi, ukuran, dan bentuk dalam industri (Rengga et al., 2017). Nanoteknologi telah terintegrasi dengan bioteknologi dan dikenal dengan bio-nanoteknologi yang bertujuan untuk mengembangkan nanoteknologi ramah lingkungan seperti biosintesis untuk mensintesis nanomaterial (Asif et al., 2022). Perkembangan teknologi ini telah memanfaatkan nanopartikel sebagai material yang menjanjikan. Nanopartikel adalah rekayasa material yang prosesnya menggunakan metode fisika, kimia, dan biologi yang menciptakan bahan tertentu atau sifat tertentu pada suatu material (Cahyani, 2020). Nanopartikel diketahui jenisnya antara lain logam, oksida logam, semikonduktor, polimer, material karbon, dan senyawa organik (Fathia, 2018). Nanopartikel logam yang sering digunakan, seperti perak, emas,

platinum, titanium, seng, tembaga, dan magnesium (Behboodi et al., 2019; Alharbi et al., 2022).

Nanopartikel perak (NPP) menjadi salah satu nanopartikel yang banyak digunakan sehingga dapat diaplikasikan di beberapa sektor, seperti elektronik, biomedis, katalis, sensor, dan pengolahan air (Seku et al., 2021; Amin dan Wihadi, 2023). Nanopartikel perak juga menjadi bahan nanopartikel yang efektif dibandingkan dengan berbagai nanopartikel logam lainnya. Sifat-sifat dari nanopartikel perak dipengaruhi oleh ukuran, jenis, bentuk, dan prosedur sintesis (Hazaa et al., 2020; Syafiuddin et al., 2017). Nanopartikel perak memiliki serapan cahaya yang sangat efisien serta memiliki warna yang bergantung pada ukuran dan konsentrasi larutan (Fathia, 2018).

Pemanfaatan nanopartikel perak secara luas telah menimbulkan tantangan dalam proses sintesisnya (Iravani et al., 2014). Nanopartikel perak secara umum disintesis menggunakan dua jenis metode, yaitu kimia dan fisika. Namun, jika dikembangkan mengikuti prinsip sintesis yang ramah lingkungan, nanopartikel perak juga disintesis menggunakan metode biologi. Metode ini disebut juga metode *Green Synthesis*, yaitu metode sintesis yang menggunakan bahan-bahan alami yang berasal dari organisme (tanaman dan mikroorganisme) baik secara ekstraseluler maupun intraseluler (Solomon, 2023; Martin dan Sumayao, 2022). Nanopartikel perak yang disintesis melalui *Green Synthesis* cenderung stabil dan menguntungkan karena metodenya yang sederhana, mudah dikarakterisasi, tingkat kegagalannya juga lebih rendah, dan sumber daya alam yang tersebar secara luas (Devi et al., 2020; Makari et al., 2021).

Green Synthesis dikembangkan dengan menggunakan sumber hayati yang ramah lingkungan seperti tanaman, mikroorganisme, dan biopolimer (Chuchita et al., 2018; Purnamasari et al., 2021). Metode *Green Synthesis* ering memanfaatkan tumbuhan, dimana ekstrak bagian tumbuhan yang kaya akan senyawa kimia yang terdapat pada daun, akar, batang, bunga, dan buah digunakan sebagai zat pereduksi (Maryani et al., 2017; Martin dan Sumayao, 2022). Penggunaan tanaman dalam sintesis nanopartikel perak menghilangkan proses rumit seperti penggunaan mikroorganisme khususnya metode kultur jaringan (Saha et al., 2016; Makari et al., 2021). elain daun, buah juga biasa digunakan dalam metode sintesis hijau. Ekstrak buah telah banyak digunakan dalam metode sintesis ini, seperti yang terlihat pada penelitian sebelumnya, termasuk *Momordica charantia* (Joshi et al., 2017), *Aegle marmelos* (Devi et al., 2020), *Cucurbita pepo* L. (Soltani dan Darbemamieh, 2021), *Muntingia calabura* (Makari et al., 2021), *Rubus rosifolius* L. (Martin dan Sumayao, 2022), dan beberapa buah lainnya.

Tanaman belimbing manis *Averrhoa carambola* L. yang biasa dikenal dengan belimbing wuluh merupakan salah satu tanaman tropis yang banyak ditemukan di negara-negara Asia. Belimbing wuluh mengandung berbagai senyawa, seperti flavonoid, fenolik, terpen, fenilpropanoid, dan senyawa lainnya (Luan et al., 2021). Beberapa senyawa pada tumbuhan yang berpotensi berperan sebagai zat pereduksi antara lain senyawa fenolik, alkaloid, flavonoid, terpenoid, polisakarida,

asam amino, enzim, senyawa alkohol, dan protein (Zulaicha et al., 2021; Mustapha et al., 2022; Sulaiman, 2023).

Green Synthesis nanopartikel perak memiliki tantangan yang perlu dipertimbangkan dalam mencapai konsistensi dan keseragaman dalam sifat nanopartikel. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi dalam proses sintesisnya yaitu kinetika reaksi yang terjadi antara ion perak dengan zat pereduksi. Selain itu, beberapa faktor lainnya, yaitu suhu, pH dan waktu sintesis (Ullah et al., 2023; Mustapha et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut, maka optimasi merupakan salah satu langkah penting yang diharapkan untuk mengevaluasi interaksi beberapa parameter reaksi terhadap proses sintesis (Saha et al., 2016). Beberapa penelitian dengan melakukan optimasi dengan metode *Green Synthesis* antara lain: rasio ekstrak terhadap AgNO_3 dilakukan pada buah markisa (Maryani et al., 2017) dan kersen (Sari et al., 2017); konsentrasi perak dan ekstrak dilakukan pada buah malaka (Masum et al., 2019) dan bidara Cina (Seku et al., 2021); kondisi pH dan waktu sintesis pada buah semak Afrika (Solomon, 2023).

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian tentang *Green Synthesis* nanopartikel perak dengan melibatkan penggunaan ekstrak buah *Averrhoa carambola* L. sebagai pereduksi serta penentuan kondisi optimum terhadap konsentrasi larutan perak dan ekstrak tanaman serta kondisi pH diamati. Penentuan hasil optimasi dilakukan dengan pengukuran panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) dan intensitas absorbansi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

2.2.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana hasil optimasi sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* L.?

2.2.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan hasil optimasi dengan beberapa parameter, yaitu rasio komposisi, konsentrasi AgNO_3 , konsentrasi ekstrak, dan kondisi pH dalam sintesis nanopartikel perak dengan buah belimbing manis *Averrhoa carambola* L.

2.2. 4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan peneliti mampu mengidentifikasi pengaruh parameter kondisi dari proses sintesis serta menentukan hasil optimasi terhadap nanopartikel perak dengan buah belimbing manis *Averrhoa carambola* L.

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan mulai bulan Juni–Agustus 2023. Preparasi sampel dilakukan di laboratorium Kimia Analitik Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin

Makassar dan analisis sampel dilakukan di laboratorium Kimia Analisis SMK-SMAK Makassar.

2.3.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: neraca analitik (*Acculab*), hotplate (*Thermo*), magnetik stirer (*WWR Scientific*), Spektrofotometer UV-Vis (*Shimadzu UV-1800*), pipet skala 5-10 mL, pipet tetes, erlenmeyer, labu ukur, gunting, pinset, seperangkat alat-alat gelas, kulkas, botol semprot, botol sampel, dan pisau.

2.3.3 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serbuk AgNO_3 , NaOH 0,1 M, HNO_3 0,1 M, HCl pekat, HCl 2N, NaCl 2%, kloroform, H_2SO_4 pekat, FeCl_3 10%, asam asetat anhidrat, padatan Magnesium, akuades, akuabides, kertas saring *Whatmann* No. 42, tisu, kertas label, aluminium foil, dan buah belimbing manis *Averrhoa carambola* L. yang diperoleh dari Karang Sari, Blitar, Indonesia.

2.3.4 Prosedur Kerja

2.3.4.1 Pembuatan Ekstrak Buah Manis *Averrhoa carambola* L.

Ekstrak buah belimbing manis *Averrhoa carambola* L. yang akan digunakan dibuat dengan cara mencuci buah terlebih dahulu. Buah yang telah dipotong kecil kemudian ditimbang sebanyak 100 gram (berat basah), selanjutnya dimasukkan ke dalam gelas kimia. Pada gelas kimia ditambahkan akuabides hingga volume 200 mL (50%), direbus pada suhu 60 °C selama 15 menit, kemudian didinginkan hingga mencapai suhu ruang, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring *Whatmann* No. 42. Selanjutnya dibuat variasi konsentrasi ekstrak buah (10%; 15%; 20%; 25%). Ekstrak buah *Averrhoa carambola* L. tersebut disimpan pada suhu 4 °C jika belum digunakan (Maryani et al., 2017).

2.3.4.2 Pembuatan Larutan Induk AgNO_3 5 mM

Larutan induk AgNO_3 5 mM dibuat dengan menimbang serbuk AgNO_3 sebanyak 0,425 gram, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia dan dilarutkan dengan akuabides. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL lalu ditambahkan akuades sampai tanda tera kemudian dikocok hingga homogen. Selanjutnya dibuat variasi konsentrasi larutan AgNO_3 (0,5 mM; 1 mM; 2 mM; 5 mM). Larutan perak nitrat disimpan dalam kulkas ketika tidak dipakai.

2.3.4.3 Uji Fitokimia

Analisis fitokimia ekstrak buah *Averrhoa carambola* L. meliputi pemeriksaan kandungan senyawa flavonoid, saponin, steroid/terpenoid, dan tanin (Solomon, 2023; Anggraini dan Oktavia, 2023).

- a. Uji Flavonoid
Sebanyak 2 mL larutan ekstrak buah dicampurkan dengan 3 mL HCl pekat, lalu ditambahkan dengan padatan Magnesium. Flavonoid ditunjukkan dengan terbentuknya cincin warna merah jingga atau kuning jingga.
- b. Uji Saponin
Sebanyak 2 mL larutan ekstrak buah dicampurkan dengan 5 mL air panas, lalu ditambahkan dengan 5 tetes HCl 2N. Saponin ditunjukkan dengan terbentuknya buih atau busa.
- c. Uji Steroid/ Terpenoid
Sebanyak 2 mL ekstrak buah dicampurkan dengan 2 mL kloroform, lalu ditambahkan dengan pereaksi Liebermann-Burchard (10 tetes asam sulfat pekat dan 5 tetes asam asetat anhidrat). Steroid ditunjukkan dengan terbentuknya warna hijau, sedangkan terpenoid ditunjukkan dengan terbentuknya warna merah atau ungu.
- d. Uji Tanin
Sebanyak 2 mL ekstrak dicampurkan dengan 1 mL NaCl 2%, lalu ditambahkan 5 tetes pereaksi FeCl_3 10%. Tanin ditunjukkan dengan terbentuknya warna hijau kehitaman.

2.3.4.4 Penentuan Kondisi Optimum Sintesis Nanopartikel Perak

Nanopartikel perak yang disintesis, sebelumnya dioptimasi terlebih dahulu dengan mengatur parameter pada 4 variasi, yaitu:

- a. Variasi volume ekstrak buah *Averrhoa carambola* L. dengan larutan AgNO_3 1 mM dengan rasio ekstrak terhadap AgNO_3 (1:3; 1:2; 1:1; 2:1)
- b. Variasi konsentrasi larutan perak nitrat (0,5, 1, 2, dan 5 mM);
- c. Variasi konsentrasi ekstrak buah (10%; 15%; 20%; 25%)
- d. Kondisi pH reaksi dipertahankan masing-masing pada 5, 7, 9, dan 11 dengan menambahkan larutan HNO_3 0,1 M atau NaOH 0,1 M.

Alur kerja diselesaikan dengan pengadukan selama 1 jam dengan pemanasan pada suhu ± 60 °C. Perubahan warna menjadi kuning kecoklatan merupakan bukti visual terbentuknya nanopartikel perak dan setiap pengukuran diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada waktu 1, 2, 3, 4, 7, dan 14 hari. Data yang diperoleh dari pengujian spektrum UV-Vis dianalisis untuk menentukan kondisi optimum dari sintesis nanopartikel perak.

2.4 Hasil dan Pembahasan

2.4.1 Uji Skrining Fitokimia Ekstrak Buah *Averrhoa carambola* L.

Mekanisme utama yang dipertimbangkan dalam sintesis nanopartikel yang dimediasi oleh tanaman karena adanya senyawa metabolit sekunder (Ayad et al., 2019). Fitokimia dikenal sebagai skrining senyawa kimia (metabolit sekunder) yang berasal dari tumbuhan. Senyawa kimia tersebut diproduksi secara alami di seluruh bagian tanaman, termasuk daun, batang, akar, bunga, buah, dan biji. Studi pendahuluan fitokimia kualitatif ekstrak buah *Averrhoa carambola* L. bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang berasal dari tanaman dan yang kemungkinan memiliki kemampuan sebagai reduktor alami dalam sintesis nanopartikel perak (Zulaicha et al., 2021). Hasil analisis fitokimia menunjukkan adanya flavonoid, dan tanin (Tabel 5).

Tabel 6. Hasil uji fitokimia ekstrak buah *Averrhoa carambola* L.

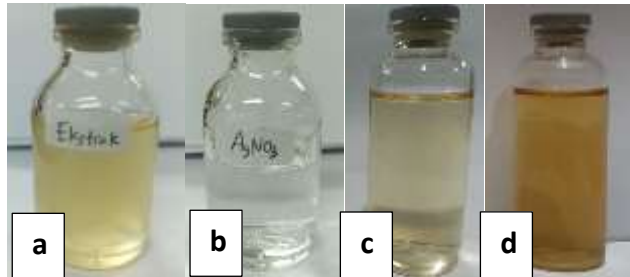
Identifikasi	Acuan Standar	Hasil Pengamatan	Ket.
Flavonoid	Terbentuk cincin warna merah jingga/kuning jingga	Terbentuk cincin warna kuning jingga	(+)
Saponin	Terbentuk buih/busa	Terbentuk buih	(-)
Steroid	Terbentuk warna hijau	Tidak terjadi perubahan warna	(-)
Terpenoid	Terbentuk warna merah atau ungu	Tidak terbentuk warna merah atau ungu	(-)
Tanin	Terbentuk warna hijau kehitaman	Terbentuknya warna hijau kehitaman	(+)

Berdasarkan Tabel 6, senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam buah belimbing manis *Averrhoa carambola* L. adalah flavonoid dan tanin. Pada identifikasi saponin, diketahui bahwa hasil yang terlihat pada sampel membentuk busa yang tidak bersifat stabil selama 10 menit. Saponin merupakan senyawa aktif permukaan yang mudah terdeteksi melalui kemampuannya dalam membentuk busa, sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel tersebut tidak mengandung saponin. Pada identifikasi steroid/terpenoid, tidak terjadi perubahan warna hijau yang menandakan adanya steroid, maupun perubahan warna merah/ungu yang menandakan adanya terpenoid. Hasil ini tidak sesuai dengan laporan sebelumnya, mungkin disebabkan oleh jumlah senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam buah belimbing manis yang masih sedikit, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

2.4.2 Observasi Visual Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak yang memanfaatkan ekstrak tanaman sebagai reduktor telah menarik minat bagi para peneliti. Pemanfaatan ekstrak tanaman yang mudah, murah, ramah lingkungan, dan menghasilkan nanopartikel yang baik dan diaplikasikan ke beberapa bidang ilmu (Baran dan Aktepe, 2022). Selain itu, dalam

proses sintesisnya tidak membutuhkan energi tinggi, bahan kimia beracun, dan mudah dalam pemurnian limbah (Masum et al., 2019). Pada pengamatan secara visual, dimana perubahan warna campuran dari hasil reaksi antara larutan perak nitrat dan ekstrak buah sebagai indikasi terbentuknya nanopartikel perak yang dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Warna a) ekstrak buah; b) larutan AgNO_3 ; c) nanopartikel perak setelah 2 jam; d) nanopartikel perak setelah 24 jam

Gambar 8 menunjukkan perubahan warna hasil sintesis antara ekstrak buah belimbing *Averrhoa carambola* L. dan larutan perak nitrat dari kuning menjadi kuning kecoklatan. Perubahan warna ini merupakan karakteristik khas dari nanopartikel perak yang terbentuk (Behboodi et al., 2019). Perubahan warna larutan nanopartikel dari waktu ke waktu disebabkan oleh efek eksitasi dari SPR (*Surface Plasmon Resonance*) nanopartikel perak (Ayad et al., 2019). Perubahan warna tersebut terjadi saat ion perak (Ag^+) direduksi dan berikatan dengan gugus fungsi OH yang terkandung dalam senyawa ekstrak buah, yang berperan sebagai reduktor dalam sintesis nanopartikel perak (Ullah et al., 2023). Penelitian sebelumnya telah mengamati perubahan warna nanopartikel perak menggunakan ekstrak buah dari *Cucurbita pepo* L. (Soltani dan Darbemamieh, 2021), *Ziziphus jujuba* Mill (Seku et al., 2021), *Cucurbita maxima* (Baran dan Aktepe, 2022), dan *Rhamnus prinioides* (Solomon, 2023).

2.4.3 Penentuan Kondisi Optimum dari Sintesis Nanopartikel Perak

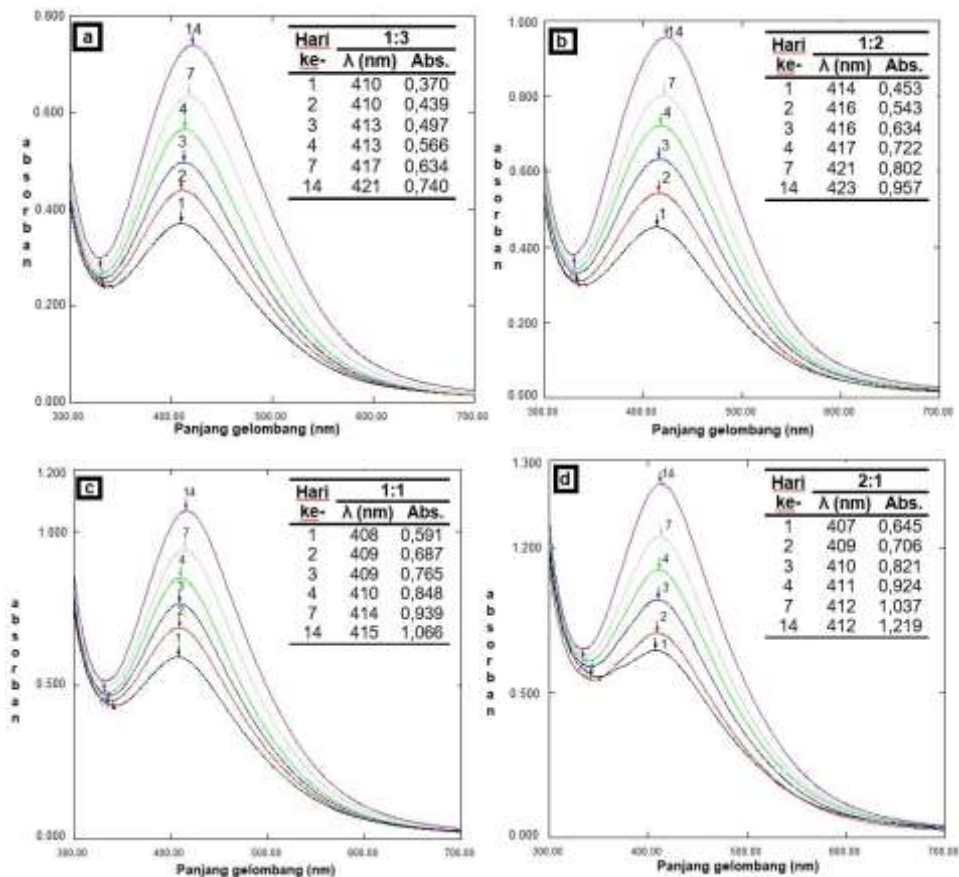
Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa parameter optimasi, antara lain optimasi komposisi, optimasi konsentrasi larutan perak nitrat, optimasi konsentrasi ekstrak, dan optimasi kondisi pH. Tujuan optimasi terhadap nanopartikel perak hasil sintesis adalah untuk mempelajari kestabilan nanopartikel perak seiring dengan bertambahnya waktu.

Penggunaan spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur hasil sintesis nanopartikel perak merupakan teknik yang sering digunakan dalam menentukan kondisi optimum karena mudah dalam proses pengerjaan dan hasil pengukuran cepat (Sangaonkar dan Pawar, 2018). Sintesis nanopartikel perak teridentifikasi dari awal munculnya puncak intensitas SPR pada λ_{maks} di 400 nm (Chuchita et al., 2018). Hasil pengukuran intensitas dan posisi pita SPR dipengaruhi oleh karakteristik (sifat, ukuran, dan bentuk) nanopartikel, jarak antarpartikel, gugus fungsi yang teradsorpsi

pada permukaan nanopartikel, dan konstanta dielektrik (Syafiuddin et al., 2017; Saha et al., 2016). Perubahan intensitas penyerapan SPR menunjukkan stabilitas terhadap jumlah nanopartikel perak yang dihasilkan, sedangkan pergeseran puncak SPR menunjukkan perubahan ukuran nanopartikel perak (Amin dan Wihadi, 2023).

2.4.3.1 Hasil Optimasi Rasio Komposisi

Sintesis nanopartikel perak dengan menggunakan ekstrak buah *Averrhoa carambola* L. berdasarkan variasi komposisi ekstrak buah terhadap larutan AgNO_3 sebagai berikut: 1:3, 1:2, 1:1, dan 2:1. Hal ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimum yang diperlukan untuk membentuk nanopartikel perak tersebut. Proses pembentukan nanopartikel perak dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 300–700 nm selama 1, 2, 3, 4, 7, dan 14 hari. Hasil optimum nanopartikel perak diperoleh pada beberapa rasio ekstrak terhadap AgNO_3 . Pergeseran λ_{maks} dan perubahan intensitas absorbansi untuk setiap variasi rasio komposisi dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Spektrum UV-Vis nanopartikel perak dengan variasi rasio komposisi pada (a) 1:3; (b) 1:2; (c) 1:1; (d) 2:1

Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa λ_{maks} dan intensitas serapan nanopartikel perak meningkat seiring berjalannya waktu, membentuk puncak tunggal. Data observasi juga menunjukkan bahwa nanopartikel perak dapat disintesis dengan menggunakan setiap komposisi. Spektrum serapan pada UV-Vis terbukti cukup sensitif terhadap pembentukan nanopartikel perak, dengan menunjukkan puncak serapan yang intens pada pita SPR dan terjadinya eksitasi elektron dalam logam perak tersebut (Asyafiyah, 2022). Perbandingan komposisi 2:1 memiliki λ_{maks} terendah dan intensitas serapan terbesar, sedangkan perbandingan komposisi 1:2 memiliki λ_{maks} terbesar yang dapat diamati mulai dari hari ke-1 hingga hari ke-14. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh komposisi antara ekstrak buah dan prekursor logam dalam sintesis nanopartikel perak.

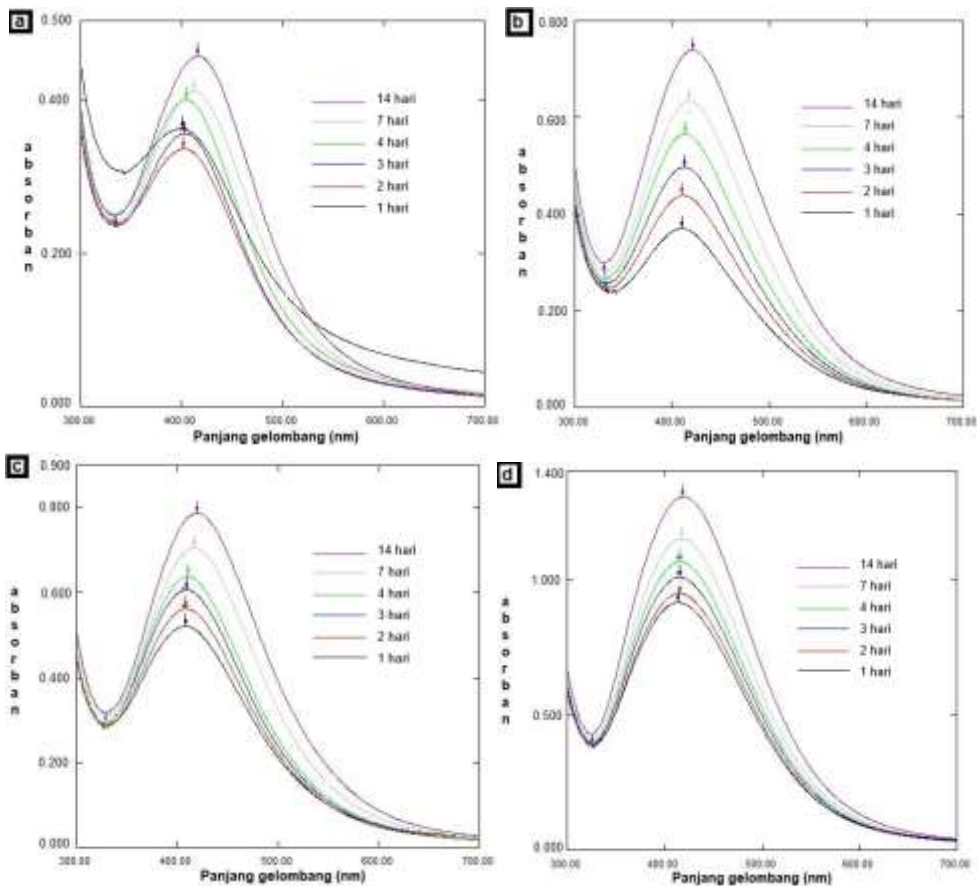
Pada penentuan rasio optimum, komposisi 1:3 memiliki intensitas serapan yang lebih stabil dibandingkan dengan komposisi lainnya. Perbandingan komposisi 1:1 dan 2:1 dengan perubahan intensitas serapan yang kurang stabil dapat mengindikasikan terjadinya aglomerasi lebih cepat. Sedangkan, pada komposisi 1:2 mengalami peningkatan yang signifikan di hari ke-7 hingga hari ke-14 dan dapat mengindikasikan terjadinya agregasi yang mengakibatkan nanopartikel berukuran besar. Foliatini (2015) menyimpulkan bahwa terjadinya ketidakstabilan pada nanopartikel hasil sintesis, seperti agregasi, disebabkan oleh laju pertumbuhan yang tidak terkendali seiring bertambahnya waktu. Kestabilan nanopartikel perak hasil sintesis ditandai dengan terjadinya pergeseran λ_{maks} dan perubahan intensitas serapan yang konstan dari waktu ke waktu (Sari et al., 2017). Berdasarkan hal tersebut maka komposisi 1:3 dipilih untuk penelitian selanjutnya.

2.4.3.2 Hasil Optimasi Konsentrasi Larutan AgNO₃

Penentuan konsentrasi optimum larutan AgNO₃ menjadi tahap optimasi selanjutnya. Sintesis nanopartikel perak berdasarkan variasi konsentrasi AgNO₃ yang digunakan yaitu 0,5, 1, 2, dan 5 mM dalam dengan rasio komposisi 1:3. Nanopartikel perak hasil sintesis kemudian dianalisis menggunakan UV-Vis untuk mengetahui λ_{max} terukur pada rentang panjang gelombang 300–700 nm dari masing-masing larutan berdasarkan variasi konsentrasi pada waktu tertentu. Hasilnya dianalisis menggunakan UV-Vis dan diamati pada Gambar 10 dan Tabel 7.

Tabel 7. Data serapan UV-Vis pada beberapa variasi konsentrasi larutan AgNO₃

Hari ke-	Konsentrasi Larutan AgNO ₃							
	0.5 mM		1 mM		2 mM		5 mM	
	λ (nm)	Abs.	λ (nm)	Abs.	λ (nm)	Abs.	λ (nm)	Abs.
1	400	0,362	410	0,370	408	0,522	413	0,914
2	401	0,336	410	0,439	408	0,562	415	0,947
3	402	0,356	413	0,497	409	0,607	415	1,006
4	404	0,400	413	0,566	410	0,638	416	1,064
7	412	0,411	417	0,634	416	0,707	418	1,150
14	415	0,457	421	0,740	419	0,788	418	1,304

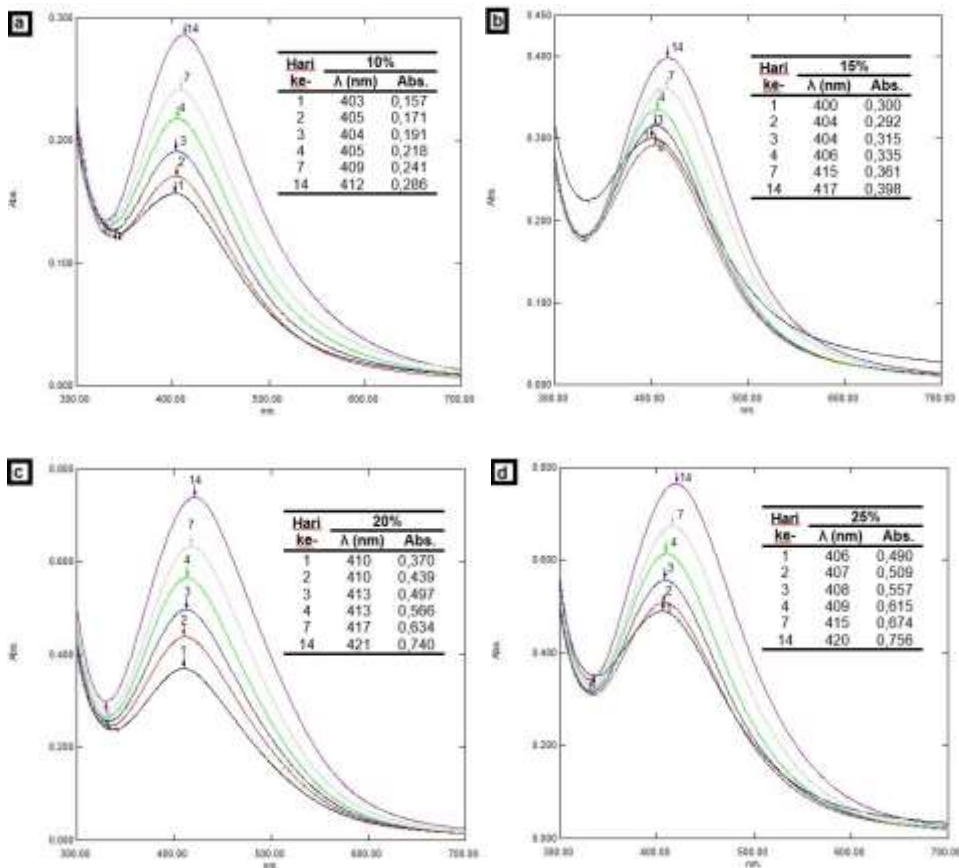


Gambar 10. Spektrum UV-Vis nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi larutan AgNO_3 pada (a) 0,5 mM; (b) 1 mM; (c) 2 mM; (d) 5 mM

Gambar 10 menunjukkan pita spektrum UV-Vis, dimana semakin kecil dan intensitas serapan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi AgNO_3 , dari 0,5-5 mM. Maria et al. (2015) menyimpulkan bahwa intensitas serapan λ_{maks} meningkat dengan peningkatan konsentrasi perak nitrat menunjukkan laju reduksi yang lebih cepat seiring dengan peningkatan konsentrasi perak nitrat. Pada penentuan konsentrasi AgNO_3 , nanopartikel perak dengan konsentrasi AgNO_3 1 mM lebih stabil dibandingkan dengan konsentrasi larutan AgNO_3 lainnya. Hal ini diketahui dari data pada Tabel 7, terlihat bahwa pada konsentrasi larutan AgNO_3 0,5 mM mengalami pergeseran λ_{maks} dan peningkatan intensitas absorban yang tidak stabil seiring dengan perubahan waktu. Di sisi lain, konsentrasi larutan AgNO_3 2 mM dan 5 mM memiliki peningkatan intensitas absorban yang lebih tinggi. Soltani dan Darbemamieh (2021) menganalisis bahwa agregasi terjadi pada larutan perak nitrat dengan konsentrasi tinggi yang menyebabkan ketidakstabilan terhadap nanopartikel perak. Berdasarkan hal tersebut, maka konsentrasi larutan AgNO_3 1 mM dipilih sebagai konsentrasi optimum untuk penelitian selanjutnya.

2.4.3.3 Hasil Optimasi Konsentrasi Ekstrak Buah

Analisis selanjutnya adalah menentukan konsentrasi ekstrak buah *Averrhoa carambola* L. yang optimal untuk digunakan pada sintesis nanopartikel perak. Sintesis nanopartikel perak berdasarkan variasi konsentrasi ekstrak yang digunakan yaitu 10%; 15%; 20% dan 25% dengan rasio ekstrak terhadap AgNO_3 komposisi 1:3 dan konsentrasi larutan AgNO_3 1 mM. Hasil sintesis nanopartikel perak selanjutnya dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menganalisis perubahan yang terjadi pada λ_{maks} dan intensitas serapan. Hasil analisis spektrum UV-Vis dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Spektrum UV-Vis nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi ekstrak buah pada (a) 10%; (b) 15%; (c) 20%; (d) 25%

Gambar 11 menunjukkan spektrum UV-Vis nanopartikel perak yang disintesis dengan beberapa konsentrasi ekstrak buah. Pada konsentrasi ekstrak buah 10%, pita serapan UV-Vis yang melebar dengan intensitas absorbannya sangat rendah. Nanopartikel perak dengan konsentrasi ekstrak 15% tidak stabil karena pergeseran puncak serapan yang tidak teratur. Namun, seiring dengan peningkatan

konsentrasi ekstrak buah secara bertahap dari 20% hingga 25%, puncak penyerapan menyempit (tajam) dan intensitas serapan meningkat. Seku et al. (2021) mengidentifikasi, bahwa peningkatan intensitas serapan SPR disebabkan oleh peningkatan konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi.

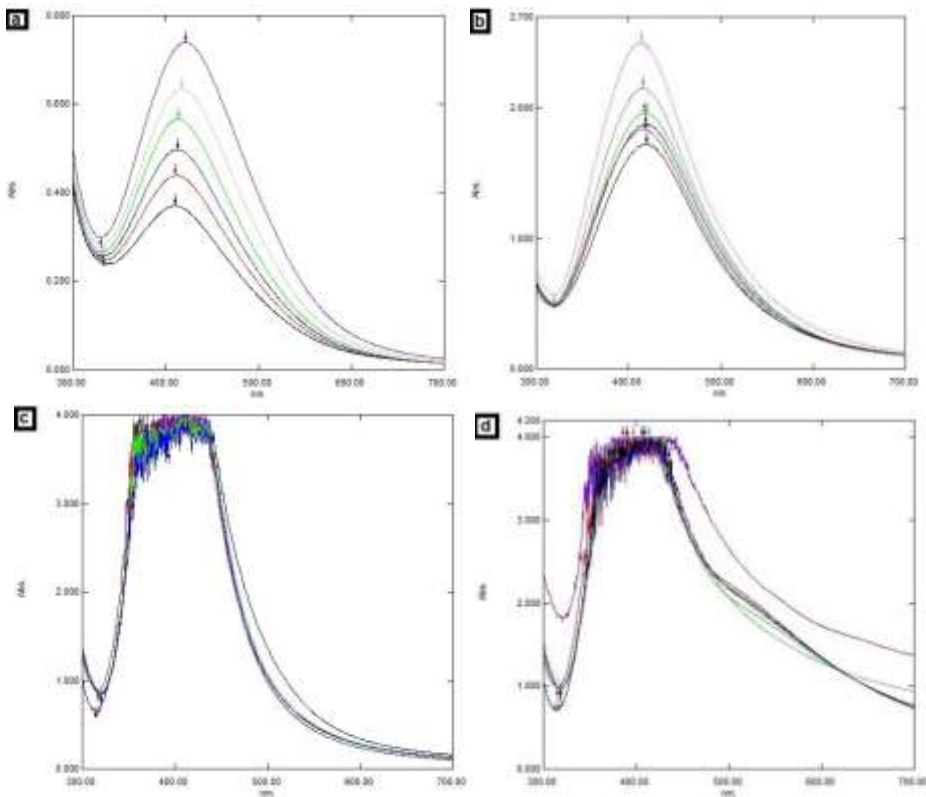
Pada penentuan konsentrasi ekstrak buah optimum, nanopartikel perak dengan konsentrasi ekstrak 20% lebih stabil dibandingkan dengan 25%. Hal tersebut diketahui dari pita SPR yang menjadi lebih tajam dengan pelebaran λ_{maks} yang teramati pada nanopartikel perak dengan konsentrasi ekstrak 20% dibandingkan dengan nanopartikel perak dengan konsentrasi ekstrak 25%. Oleh karena itu, konsentrasi ekstrak buah 20% dipilih sebagai konsentrasi ekstrak buah optimum untuk penelitian lebih lanjut.

2.4.3.4 Hasil Optimasi Kondisi pH

Reaktivitas ekstrak buah dengan ion perak disebabkan oleh pengaturan pH selama sintesis nanopartikel perak, sehingga pengaruh pH memberikan hasil yang berbeda-beda (Joshi et al., 2017). Pendekatan untuk mengontrol ukuran, bentuk, dan stabilitas nanopartikel perak dilakukan dengan mengatur tingkat pH selama sintesis (Alharbi et al., 2022). Sintesis nanopartikel perak dengan ekstrak buah belimbing manis *Averrhoa carambola* L. dilakukan dengan mengatur pH larutan pada pH 5, 7, 9, dan 11. Optimasi kondisi pH tidak dilakukan pada pH yang sangat rendah (pH 1 dan 3) dikarenakan intensitas serapan UV-Vis jauh lebih kecil dengan pita spektrum yang melebar. Sedangkan, pada pH yang sangat basa dikarenakan intensitas serapan UV-Vis terlalu tinggi dengan *noise* (gangguan) dari banyaknya puncak-puncak dari pita spektrum (Solomon, 2023). Hasil sintesis nanopartikel perak selanjutnya dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis terlihat pada Gambar 12 dan Tabel 8.

Tabel 8. Data serapan UV-Vis pada beberapa variasi pH

Hari ke-	pH							
	5		7		9		11	
	λ (nm)	Abs.	λ (nm)	Abs.	λ (nm)	Abs.	λ (nm)	Abs.
1	410	0,370	422	1,585	430	3,994	435	3,735
2	410	0,439	419	1,836	415	4,000	423	3,996
3	413	0,497	419	1,878	414	3,981	419	3,962
4	413	0,566	419	1,964	412	3,980	414	4,000
7	417	0,634	415	2,160	412	3,992	412	4,000
14	421	0,740	414	2,511	411	4,000	415	4,000



Gambar 12. Spektrum UV-Vis nanopartikel perak dengan nilai pH bervariasi pada (a) 5; (b) 7; (c) 9; (d) 11

Berdasarkan Gambar 12, diketahui intensitas serapan pada pita spektrum UV-Vis meningkat seiring dengan kenaikan pH. Kondisi pH larutan yang mengandung nanopartikel perak dari kondisi asam ke basa menyebabkan pergeseran λ_{maks} dan intensitas penyerapan meningkat. Maria et al. (2015) mengidentifikasi bahwa daya reduksi gugus-gugus fungsi ini pada pH rendah lebih kecil, namun ketika pH meningkat hingga kisaran alkalinitas, potensi reduksi semua gugus fungsi ini meningkat, sehingga memungkinkan pembentukan struktur yang menguntungkan secara termodinamika. Hal ini juga diketahui karena kondisi pH pada larutan mengubah muatan listrik dari senyawa kimia yang terdapat dalam ekstrak tanaman dan mempengaruhi kestabilan afinitas elektronnya (Solomon, 2023; Sangaonkar dan Pawar, 2018). Hasil yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 12 dipertegas dan diperkuat oleh data pada Tabel 8, dengan pH 7 yang menunjukkan pergeseran λ_{maks} dan perubahan intensitas serapan yang tidak stabil seiring bertambahnya waktu. Intensitas serapan terbesar dari hasil sintesis nanopartikel perak pada pH basa (pH 9 dan 11) dikarenakan adanya “noise” pada pita spektrum UV-Vis dibandingkan pH 5 dan pH 7. Berdasarkan hal tersebut, kondisi pH 5 dipilih sebagai kondisi terbaik untuk penelitian lebih lanjut.

2.5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *Green Synthesis* nanopartikel perak memiliki potensi untuk digunakan dengan memanfaatkan ekstrak buah belimbing manis *Averrhoa carambola* L. sebagai pereduksi Selain itu, diperlukan proses optimasi terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi proses sintesis untuk mendapatkan nanopartikel perak dengan ukuran, bentuk, dan sifat yang sesuai dalam penerapan aplikasi. Hasil pengukuran yang dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa kondisi optimum dalam sintesis nanopartikel perak adalah:

- a. Rasio ekstrak terhadap AgNO_3 adalah 1:3.
- b. Konsentrasi larutan AgNO_3 adalah 1 mM.
- c. Komposisi ekstrak buah adalah 20%.
- d. Kondisi proses sintesis dilakukan pada pH 5.

2.6 Daftar Pustaka

- Alharbi, N. S., Alsubhi, N. S. and Felimban, A. I., 2022. Green synthesis of silver nanoparticles using medicinal plants: Characterization and application. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 15(3), 109–124. doi: 10.1016/j.jrras.2022.06.012.
- Amin, A. K., and Wihadi, M. N. K. 2023. Colloidal silver nanoparticle synthesis and stability study in chitosan using hydrazine sulfate. *AIP Conf. Proc.*, 2902: 1–11. doi :/10.1063/5.0173143.
- Anggraini, L. dan Oktavia, N., 2023. Skrining fitokimia dan perbandingan kadar vitamin C apel impor dan lokal yang dijual di pasar buah 88 pekanbaru menggunakan metode spektrofotometer UV-Vis. *Journal of Pharmacy and Science*, 6(2), 160–166. doi: 10.36341/jops.v6i2.3586
- Anwar, S., Almatroodi, S. A., Almatroudi, A. Allemailem, K. S., Joseph, R. J., Khan, A. A. et al., 2021. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Tamarix articulata* leaf extract: an effective approach for attenuation of oxidative stress mediated diseases. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 677–701. doi: 10.1080/10942912.2021.1914083.
- Asif, M., Yasmin, R., Asif, R., Ambreen, A., Mustafa, M. and Umbreen, S., 2022. Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs), structural characterization, and their antibacterial potential. *Dose Response*. 20(2): 1–11. doi : 10.1177/15593258221088709.
- Ayad, Z. M., Ibrahim, O. M. S. and Omar, L. W., 2019. Biosynthesis and characterization of silver nanoparticles by *Silybum marianum* (Silymarin) fruit extract. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7, 122–130. doi :10.17582/journal.aavs/2019/7.2.122.130.
- Baran, A. and Aktepe, N., 2022. Green synthesis and antimicrobial effects of silver nanoparticles by pumpkin *cucurbita maxima* fruit fiber. *Medicine Science International Medical Journal*, 11(2), 794–799. doi: 10.5455/medscience.2022.02.036

- Behboodi, S., Baghbani-Arani, F., Abdalan, S. and Sadat Shandiz, S. A., 2019. Green engineered biomolecule-capped silver nanoparticles fabricated from cichorium intybus extract: In Vitro assessment on apoptosis properties toward human breast cancer (MCF-7) cells. *Biological Trace Element Research*, 187(2), 392–402. doi: 10.1007/s12011-018-1392-0.
- Cahyani, N. A. 2020. Aktivitas Antidiabetes Nanopartikel Silver Ekstrak Etanol dan Ekstrak Air Kembang Telang (*Clitoria ternatea* L.) sebagai Inhibitor Enzim α -Amilase. Skripsi S.Si. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Chuchita, Santoso, S. J. dan Suyanta., 2018. Sintesis nanopartikel dari perak nitrat dengan tirosin sebagai reduktor dan agen pengkaping untuk membentuk nanokomposit film AgNPs-Poli asam laktat sebagai antibakteri. *Berkala MIPA*, 25(2), 140–153. Available at: <https://journal.ugm.ac.id/bimipa/article/view/37063> [diakses pada tanggal 3 Desember 2022].
- Devi, M., Devi, S., Sharma, V., Rana, N., Bhatia, R. K. and Bhatt, A. K., 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using methanolic fruit extract of *Aegle marmelos* and their antimicrobial potential against human bacterial pathogens. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 10(2), 158–165. doi: 10.1016/j.jtcme.2019.04.007.
- Fathia, A., 2018. Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide Terkombinasi Nanopartikel Perak Dalam Fase Cair. Skripsi S.Si. UNY Yogyakarta.
- Foliatini, 2015. Sintesis Nanopartikel Au dan Ag dengan Alginat sebagai Pereduksi dan Penstabil serta Aplikasinya dalam Sistem Emulsi. Disertasi. Universitas Indonesia Jakarta.
- Hazaa, M., Alm-Eldin, M., Ibrahim, A. E., Elbarky, N., Salama, M., Sayed, R. et al., 2021. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Borago officinalis* leaf extract, characterization and larvicidal activity against cotton leaf worm, *Spodoptera littoralis* (Bosid). *Int. J. Trop. Insect Sci.*, 41, 145–156. doi: 10.1007/s42690-020-00187-8.
- Joshi, S. C., Kaushik, U., Upadhyaya, A. and Sharma, P., 2017. Green technology mediated synthesis of silver nanoparticles from *Momordica charantia* fruit extract and its bactericidal activity. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(3), 196–200. doi: 10.22159/ajpcr.2017.v10i3.16009.
- Iravani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S. V. and Zolfaghari, B., 2014. Synthesis of Silver Nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Res. Pharm. Sci.* 9(6), 385–406.
- Luan, F., Peng, L., Lei, Z., Jia, X., Zou, J., Yang, Y. et al., 2021. Traditional uses, phytochemical constituents and pharmacological properties of *Averrhoa carambola* L.: A review,” *Front. Pharmacol.*, 12, 1–27. doi: 10.3389/fphar.2021.699899.
- Makari, H. K., Ramakrishna, K., Vaidya, G., Kulkarni, P., Baliya, S. and Sheikh, H., 2021. Green synthesis of silver nanoparticles from *Muntingia calabura* fruit extract and its biological activity. *IJPSR*, 12(5), 2957–2965. doi: 10.13040/IJPSR.0975-8232.12(5).2957-65

- Maria, B. S., Devadiga, A., Kodialbail, V. S. and Saidutta, M. B., 2015. Synthesis of silver nanoparticles using medicinal *Zizyphus xylopyrus* bark extract. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 5(6), 755–762. doi: 10.1007/s13204-014-0372-8
- Martin, M. M. and Sumayao, R. E., 2022. Facile Green synthesis of silver nanoparticles using *Rubus rosifolius* L. aqueous fruit extracts and its characterization. *Applied Science and Engineering Progress*, 15(3), 1–14. doi: 10.14416/j.asep.2021.10.011
- Maryani, D., Firdaus, M. L., dan Nurhamidah, 2017. Biosintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak buah *Passiflora flavicarva* (markisa) untuk mendeteksi logam berat. *Alotrop: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 1 (1), 49-54. Available at: <https://ejournal.unib.ac.id/alotropjurnal/article/view/2717> [diakses pada tanggal 7 Agustus 2022].
- Masum, M. M. I., Siddiqa, M. M., Ali, K. A., Zhang, Y., Abdallah, Y., Ibrahim, E. et al., 2019. Biogenic synthesis of silver nanoparticles using *Phyllanthus emblica* fruit extract and its inhibitory action against the pathogen *acidovorax oryzae* strain rs-2 of rice bacterial brown stripe. *Front. Microbiol.*, 10(820), 1–18. doi: 10.3389/fmicb.2019.00820.
- Mustapha, T., Misni, N., Ithnin, N. R., Daskum, A. M. and Unyah, N. Z., 2022. A review on plants and microorganisms mediated synthesis of silver nanoparticles, role of plants metabolites and applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(674), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020674>.
- Purnamasari, G. A. P. P., Lestari, G. A. D., Cahyadi, K. D., Esati, N. K., and Suprihatin I. E. 2021. Biosintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak air daun cemmep (Spondias pinnata (L.F) Kurz.) dan aktivitasnya sebagai antibakteri. *Cakra Kim. (Indonesian E-Journal Appl. Chem.* 9(2): 75–80. Available at: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/article> [diakses pada tanggal 1 Desember 2023].
- Rengga, W. D. P., Yufitasari, A. and Adi, W., 2017. Synthesis of silver nanoparticles from silver nitrate solution using green tea extract (*Camelia Sinensis*) as bioreductor. *J. Bahan Alam Terbarukan*. 6 (1), 32–38. doi: 10.15294/jbat.v6i1.6628.
- Saha, N., Trivedi, P. and Dutta Gupta, S., 2016. Surface Plasmon Resonance (SPR) based optimization of biosynthesis of silver nanoparticles from Rhizome extract of *Curculigo orchioides* Gaertn. and its antioxidant potential. *Journal of Cluster Science*, 27(6), 1893–1912. doi: 10.1007/s10876-016-1050-7.
- Sangaonkar, G. M. and Pawar, K. D., 2018. *Garcinia indica* mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles with antibacterial and antioxidant activities. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 164, 210–217. doi: 10.1016/j.colsurfb.2018.01.044.
- Sari, P. I., Firdaus, M. L. and Elvia, R., 2017. Pembuatan nanopartikel perak (NPP) dengan bioreduktor ekstrak buah *Muntingia calabura* L. untuk analisis logam merkuri. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia Alotrop*, 1(1), 20–26. doi: 10.33369/atp.v1i1.2708

- Seku, K., Hussaini, S. S., Pejjai, B., Al Balushi, M. M. S., Dasari, R., Golla, N. et al., 2021. A rapid microwave-assisted synthesis of silver nanoparticles using *Ziziphus jujuba* Mill fruit extract and their catalytic and antimicrobial properties. *Chemical Papers*, 75(4), 1341–1354. doi: 10.1007/s11696-020-01386-w
- Shonhaji, A., 2021. Sintesis, Karakterisasi dan Aktivitas Antioksidan Senyawa Nanopartikel Perak menggunakan Alga Merah (*Eucheuma cottonii*) dengan Metode ABTS. Tesis M.Si. Universitas Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Solomon, M. A., 2023. Green synthesis of silver nanoparticles using *gesho* (*Rhamnus priniioides*) fruit extract and evaluation of their antibacterial activity. *J. Sci. and Technol*, 16(2), 115–131. doi: 10.4314/ejst.v16i2.2.
- Soltani, L. and Darbemamieh, M., 2021. Biosynthesis of silver nanoparticles using hydroethanolic extract of *Cucurbita pepo* L. fruit and their anti-proliferative and apoptotic activity against breast cancer cell line (MCF-7). *Multidisciplinary Cancer Investigation*, 5(3), 1–10. doi.: 10.30699/mci.5.3.525-1
- Syafiuddin, A., Salmiati, Hadibarata, T., Salim, M. R., Kueh, A. B. H. and Sari, A. A., 2017. A purely green synthesis of silver nanoparticles using *Carica papaya*, *Manihot esculenta*, and *Morinda citrifolia*: synthesis and antibacterial evaluations. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 40(9), 1349–1361. doi: 10.1007/s00449-017-1793-z
- Ullah, S., Khalid, R., Rehman, M. F., Irfan, M. I., Abbas, A., Alhoshani, A. et al., 2023. Biosynthesis of phyto-functionalized silver nanoparticles using olive fruit extract and evaluation of their antibacterial and antioxidant properties. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1–14. doi: 10.3389/fchem.2023.1202252.
- Zulaicha, A. S., Saputra, I. S., Sari, I. P., Ghifari, M. A., Yulizar, Y., Permana, Y. N. et al., 2021. Green synthesis nanopartikel perak (AgNPs) menggunakan bioreduktor alami ekstrak daun ilalang (*Imperata cylindrica* L.). *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*, 1(1), 11–19. doi: 10.33369/rjna.v1i1.15588.