

DISERTASI

**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS DAN PERAK
MENGUNAKAN BIOREDUKTOR EKSTRAK DAUN OKRA
(*ABELMOSCHUS ESCULENTUS* (L.) MOENCH) DAN
APLIKASINYA DALAM DESAIN SENSOR GULA DARAH**

***SYNTHESIS OF GOLD AND SILVER NANOPARTICLES
USING BIOREDUCING AGENT OF OKRA (*ABELMOSCHUS
ESCULENTUS* (L.) MOENCH) LEAF EXTRACT AND ITS
APPLICATION IN BLOOD SUGAR SENSOR DESIGN***

**AJENG KURNIATI RODDU
H013171001**



**PROGRAM PASCASARJANA FAKULTAS MIPA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

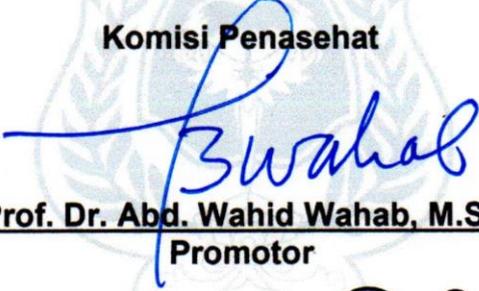
DISERTASI**SINTESIS NANOPARTIKEL EMAS DAN PERAK MENGGUNAKAN
BIOREDUKTOR EKSTRAK DAUN OKRA (*ABELMOSCHUS
ESCULENTUS* (L.) MOENCH) DAN APLIKASINYA DALAM DESAIN
SENSOR GULA DARAH**

Disusun dan diajukan oleh

AJENG KURNIATI RODDU
Nomor Pokok : H013171001

Menyetujui

Komisi Penasehat


Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc
Promotor


Prof. Dr. Ahyar Ahmad
Ko-Promotor


Dr. Paulina Taba, M.Phill
Ko-Promotor

**Ketua Program Studi S3
Ilmu Kimia**


Prof. Dr. Ahyar Ahmad

**Dekan Fakultas MIPA
Universitas Hasanuddin**


Dr. Eng Amiruddin, S.Si., M.Si



PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ajeng Kurniati Roddu

Nomor Induk Mahasiswa : H013171001

Program Studi : S3-Ilmu Kimia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis berjudul:

Sintesis Nanopartikel Emas dan Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Okra (*Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench) dan Aplikasinya dalam Desain Sensor Gula Darah.

benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Juni 2021

Yang menyatakan,



Ajeng Kurniati Roddu

PRAKATA

Alhamdulillahirabbilalamin, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa atas kesehatan dan kekuatan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan disertasi yang berjudul, " Sintesis Nanopartikel Emas dan Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Okra (*Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench) dan Aplikasinya dalam Desain Sensor Gula Darah.

Berbagai kendala dihadapi oleh penulis dalam proses penyusunan disertasi ini, baik yang bersifat teknis maupun non teknis. Tidak ada kuasa dan kekuatan melainkan hanya dengan pertolongan Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis diberikan kesehatan, kesabaran serta semangat dan kerja keras dibawah arahan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M. Sc, selaku promotor yang telah memberikan inspirasi, bimbingan dan motivasi serta nasehat tanpa pamrih.
2. Bapak Prof. Dr. Ahyar Ahmad, dan Ibu Dr. Paulina Taba, M. Phill, selaku ko-promotor, atas semua nasehat, bimbingan dan sarannya selama penyelesaian disertasi ini.

3. Dewan Penguji Bapak Prof. Dr. H. Muhammad Nurdin, M. Sc, Bapak Dr. Firdaus, MS, Bapak Dr. Maming, M. Si, dan Bapak Dr. Abdul Karim, M. Si, atas kesediaannya sebagai tim penguji.
4. Ibu Rektor Universitas Hasanuddin, Bapak Dekan Fakultas MIPA, Bapak Ketua Program Studi S3 Ilmu Kimia, Bapak Ketua dan Sekertaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf, atas dukungan yang diberikan dalam jenjang Program Pascasarjana.
5. Bapak dan Ibu dosen Pascasarjana Program Studi S3 Ilmu Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf FMIPA serta peneliti di Laboratorium Kimia Fisika, Laboratorium Terpadu Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium Kimia Analitik, dan Laboratorium *Science Building* FMIPA Universitas Hasanuddin.
7. Laboratorium Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin, Laboratorium Instrumentasi Fisik IPB, Laboratorium Basic Center A Fakultas MIPA ITB, Laboratorium Kesehatan Provinsi Sulawesi Selatan.
8. Khususnya kepada Bapak Dr. I Wayan Sutapa, M. Sc yang telah memberikan dukungan, motivasi serta masukan terkait penelitian, pengolahan data dan penyelesaian disertasi ini. Ibu Dr. Nur Umriani Ubbe, M. Si, Bapak Dr. Djabal Nur Basir, S.Si., M. Si yang telah memberikan bantuan dalam proses pengukuran sampel.

9. Bapak dan Ibu rekan seperjuangan Program S3 Ilmu Kimia angkatan 2017: Ibu Fitriyanti Jumaetri Sami dan Bapak Iwan Dini, serta rekan-rekan S3 Ilmu Kimia angkatan 2015, 2016, 2019, dan 2020, adik-adik mahasiswa S2 dan S1 Ilmu Kimia yang telah memberikan semangat dan motivasi selama kuliah dan penelitian.

Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang tak terhingga dan tulus kepada yang terhormat:

1. Bapak Ketua Yayasan Indonesia Timur, Bapak Ketua BPH Yayasan Indonesia Timur, Ibu Rektor, Bapak dan Ibu Wakil Rektor Universitas Indonesia Timur serta seluruh sivitas akademika Universitas Indonesia Timur, Bapak Dekan dan Ketua Program Studi S1 Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Indonesia Timur, Kepala Laboratorium dan Laboran serta seluruh dosen Fakultas Farmasi Universitas Indonesia Timur.
2. Orang tua: Roddu Ambe Poddoo (almarhum), Hamidah Puang Bida, (almarhumah), atas kasih sayang dan jerih payah dalam membesarkan, mendidik dan memberikan dorongan untuk menuntut ilmu ke jenjang yang lebih tinggi, serta mertua H. Muh. Rais Puang Rais (almarhum) dan Hj. Kartini Puang Tini atas kasih sayang dan do'a yang tiada hentinya diberikan kepada penulis.
3. Suami tercinta Tadjuddin Rais, S.H., M.H, dan ananda tersayang Nur Wihdah Tadjuddin, atas segala dukungan, pengorbanan, kesabaran, dan ketulusan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini.

4. Saudara saya: H. Alimuddin Roddu, S. Pd., M. Si., Baharuddin Roddu, Mustafa Roddu, S. Pd., Bahri Roddu, Hamzah Roddu, dan Nurlely Roddu, serta ipar: Dra. Hj. Naisah Mangga, Bayani, Yurniati, S. Pd., Nunung, Kasman, S. Pd. Saudara seapak : Paria dan Aziz. Ipar: Sawatu. Keponakan tercinta serta seluruh keluarga atas segala perhatian, bantuan dan do'a serta dukungan dan semangat yang diberikan selama ini.
5. Muh. Adil Alamsyah, S. Farm, atas segala dukungan, motivasi serta bantuan dalam penyusunan disertasi ini. Terima kasih untuk semuanya.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih terdapat kekurangan, namun diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu kimia terapan khususnya sensor glukosa.

Makassar, 15 Juni 2021



Ajeng Kurniati Roddu

ABSTRAK

Ajeng Kurniati Roddu, Sintesis Nanopartikel Emas dan Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) dan Aplikasinya dalam Desain Sensor Gula Darah (dibimbing oleh **Abd. Wahid Wahab, Ahyar Ahmad, dan Paulina Taba**).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendesain sensor gula darah berbasis nanopartikel emas dan perak yang dihasilkan melalui reduksi ion logam dengan menggunakan ekstrak daun okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Reaksi biosintesis nanopartikel emas dan perak dilakukan dengan mencampurkan ekstrak daun *Abelmoschus esculentus* dengan AgNO_3 dan AuHCl_4 . Nanopartikel emas dan perak yang diperoleh dianalisis menggunakan UV-Vis, FT-IR, PSA, XRD dan TEM. Selanjutnya, perancangan dan tes nanosensor glukosa darah dilakukan. Pembentukan nanopartikel ditandai dengan perubahan warna larutan dari kuning menjadi ungu untuk emas, dan dari kekuningan menjadi coklat kekuningan dan akhirnya menjadi coklat untuk perak. Spektrum UV-Vis menunjukkan bahwa nanopartikel emas terbaik dihasilkan pada waktu inkubasi 3 hari dengan energi celah pita 1,969 eV. Nanopartikel perak terbaik dihasilkan pada waktu inkubasi 6 hari dengan energi celah pita 2,096 eV. Spektrum FT-IR menunjukkan adanya gugus fungsi -OH, -CH₃, -CHO, -C=C, dan -C-N. Hasil PSA dan TEM menunjukkan bahwa nanopartikel emas berbentuk kubus dengan ukuran kurang dari 50 nm, sedangkan nanopartikel perak berbentuk bola dengan ukuran kurang dari 100 nm. Berdasarkan analisis XRD, emas dan perak yang dihasilkan adalah nanopartikel dengan orientasi struktur yang beragam. Sensor nanopartikel emas menunjukkan linieritas ($R^2 = 0,9461$) pada rentang konsentrasi 0,5 – 7 mM dengan batas deteksi pada konsentrasi 5,78 mM dan sensitivitas sensor 0,65 mM⁻¹. mm⁻². Sensor nanopartikel perak menunjukkan linieritas ($R^2 = 0,9494$) pada rentang konsentrasi 0,5 – 8 mM dengan batas deteksi pada konsentrasi 1,68 mM dan sensitivitas sensor 3,27 mM⁻¹. mm⁻². Kadar glukosa yang terdapat dalam sampel darah yang terukur oleh sensor nanopartikel emas adalah 80,386 mg/dL dengan selisih pengukuran 0,62% jika dibandingkan dengan alat *Automated Analyzed Clinical Chemistry*. Kadar glukosa dalam sampel darah yang terukur oleh sensor nanopartikel perak adalah 93,05 mg/dL dengan selisih pengukuran 1,95% jika dibandingkan dengan alat *Automated Analyzed Clinical Chemistry*. Hasil menunjukkan bahwa nanopartikel emas dan perak berpotensi untuk digunakan sebagai sensor gula darah.

Kata kunci: sintesis, nanopartikel emas, nanopartikel perak, *Abelmoschus esculentus*, sensor gula darah

ABSTRACT

Ajeng Kurniati Roddu, *Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles Using Bioreducing Agent of Okra (*Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench) Leaf Extract and Its Application in Blood Sugar Sensor Design*, supervised by **Abd. Wahid Wahab, Ahyar Ahmad, and Paulina Taba.**

The purpose of this study was to design a blood sugar sensor based on gold and silver nanoparticles produced by reducing metal ions using okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) leaf extract. The biosynthetic reaction of silver and gold nanoparticles was carried out by mixing the extract of *A. esculentus* leaves with AuHCl₄ and AgNO₃, respectively. Gold and silver nanoparticles were analyzed using UV-Vis, FT-IR, PSA, XRD, and TEM. Furthermore, the design and testing of the blood glucose nanosensor were carried out. The formation of nanoparticles was characterized by a color change in the solution from yellow to purple for gold nanoparticles and from yellowish to yellowish-brown and finally brown for silver nanoparticles. The UV-Vis spectra showed that the best gold nanoparticles were produced in an incubation period of 3 days with a bandgap energy of 1.969 eV. The best silver nanoparticles were produced at an incubation period of 6 days with a bandgap energy of 2.096 eV. The PSA and TEM results showed that the gold nanoparticles were cubes with a size of less than 50 nm, whereas silver nanoparticles were spherical with a size less than 100 nm. Based on XRD analysis, gold and silver produced were nanoparticles with different structural orientations. The gold nanoparticle sensor showed linearity ($R^2 = 0.9461$) over a concentration range of 0.5 - 7 mM with limit detection at a concentration of 5.78 mM and a sensitivity sensor of 0.65 mM⁻¹. Mm⁻². The silver nanoparticle sensor showed linearity ($R^2 = 0.9494$) at a concentration range of 0.5 - 8 mM with a detection limit at a concentration of 1.68 mM and a sensitivity sensor of 3.27 mM⁻¹. Mm⁻². The glucose level contained in the blood sample measured by the gold nanoparticle sensor was 80.386 mg/dL with a difference of 0.62% in measurement compared to Automated Analyzed Clinical Chemistry. The glucose level in the blood sample measured by the silver nanoparticle sensor was 93.05 mg/dL with a difference of 1.95% in measurement when compared to an Automated Analyzed Clinical Chemistry instrument. The results showed that gold and silver nanoparticles are potential to be used as glucose sensors.

Keywords: synthesis, gold nanoparticles, silver nanoparticles, *Abelmoschus esculentus*, blood sugar sensor

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|-------------------------------|----------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI | iii |
| PRAKATA | iv |
| ABSTRAK | viii |
| ABSTRACT | ix |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvii |
| DAFTAR SINGKATAN | xix |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 5 |
| C. Tujuan Penelitian | 6 |
| D. Manfaat Penelitian | 6 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | 8 |
| A. Tinjauan Umum Emas | 8 |
| B. Tinjauan Umum Perak | 9 |

| | |
|--|-----------|
| C. Nanopartikel | 9 |
| 1. Nanopartikel Emas | 11 |
| a. Sintesis Nanopartikel Emas | 11 |
| 2. Nanopartikel Perak | 15 |
| a. Sintesis Nanopartikel Perak | 16 |
| D. Karakterisasi Nanopartikel Emas dan Perak | 21 |
| E. Sensor dan Biosensor | 23 |
| F. Voltammetrik | 26 |
| G. Glukosa Darah | 29 |
| H. Tanaman Okra | 32 |
| I. Kerangka Pikir dan Hipotesis | 34 |
| BAB III. METODE PENELITIAN | 38 |
| A. Desain Penelitian | 38 |
| B. Waktu dan Tempat Penelitian | 38 |
| C. Alat dan Bahan yang Digunakan | 39 |
| D. Objek Penelitian | 40 |
| E. Pelaksanaan Penelitian | 40 |
| F. Sintesis Nanopartikel Emas | 41 |
| G. Sintesis Nanopartikel Perak | 43 |
| H. Analisis Data | 45 |
| BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 47 |
| A. Sintesis Nanopartikel Emas | 47 |

| | |
|--|----|
| 1. Analisis Nanopartikel Emas Menggunakan UV-Vis | 47 |
| 2. Analisis Fenomena SPR Nanopartikel Emas Melalui UV-Vis | 48 |
| 3. Energi Celah Pita Nanopartikel Emas | 50 |
| B. Sintesis Nanopartikel Perak | 51 |
| 1. Analisis Nanopartikel Perak Menggunakan UV-Vis | 51 |
| 2. Analisis Fenomena SPR Nanopartikel Perak Melalui UV-Vis | 52 |
| 3. Energi Celah Pita Nanopartikel Perak | 55 |
| C. Analisis Nanopartikel Emas dan Perak Dengan FT-IR | 57 |
| D. Analisis Nanopartikel Emas dengan <i>Particle Surface Analyser</i> (PSA) | 59 |
| E. Analisis Nanopartikel Emas Menggunakan XRD | 61 |
| 1. Ukuran Kristal Rata-Rata Nanopartikel Emas | 62 |
| 2. Koefisien Tekstur ($KT_{(hkl)}$) Nanopartikel Emas | 63 |
| F. Karakterisasi <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM) Nanopartikel Emas | 64 |
| G. Analisis Nanopartikel Perak dengan <i>Particle Surface Analyser</i> (PSA) | 67 |
| H. Analisis Nanopartikel Perak Menggunakan XRD | 69 |
| 1. Ukuran Kristal Rata-Rata Nanopartikel Perak | 70 |
| 2. Koefisien Tekstur ($KT_{(hkl)}$) Nanopartikel Perak | 71 |
| I. Karakterisasi <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM) Nanopartikel Perak | 72 |
| J. Aplikasi Sensor Berbasis Nanopartikel Emas dan Perak | 75 |

| | |
|--|-----|
| 1. Perbandingan Elektroda Kerja | 75 |
| 2. Kisaran Pengukuran Sensor Berbasis Nanopartikel Emas | 78 |
| 3. Limit Deteksi Nanopartikel Emas | 80 |
| 4. Sensitivitas Nanopartikel Emas | 81 |
| 5. Kisaran Pengukuran Sensor Berbasis Nanopartikel Perak | 81 |
| 6. Limit Deteksi Nanopartikel Perak | 83 |
| 7. Sensitivitas Nanopartikel Perak | 84 |
| 8. Pengukuran Sampel Darah Nanopartikel Emas | 84 |
| 9. Pengukuran Sampel Darah Nanopartikel Perak | 85 |
| | |
| BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN | 88 |
| | |
| A. Kesimpulan | 88 |
| B. Saran | 89 |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | 90 |
| | |
| LAMPIRAN | 101 |

DAFTAR TABEL

| Nomor | Halaman |
|---|----------------|
| 1. Jenis-jenis tumbuhan yang telah digunakan untuk biosintesis nanopartikel emas | 14 |
| 2. Jenis-jenis tumbuhan yang telah digunakan untuk biosintesis nanopartikel perak | 19 |
| 3. Energi celah pita nanopartikel emas | 50 |
| 4. Energi celah pita nanopartikel perak | 55 |
| 5. Hasil analisis gugus fungsi ekstrak daun okra, nanopartikel emas, dan nanopartikel perak yang dihasilkan | 58 |
| 6. Ukuran diameter dan parameter kisi nanopartikel emas | 62 |
| 7. Analisis orientasi struktur nanopartikel emas | 63 |
| 8. Ukuran diameter dan parameter kisi nanopartikel perak | 70 |
| 9. Analisis orientasi struktur nanopartikel perak | 71 |
| 10. Kisaran pengukuran elektroda kerja yang dilapisi nanopartikel emas | 79 |
| 11. Kisaran pengukuran elektroda kerja yang dilapisi nanopartikel perak | 82 |
| 12. Hasil pengukuran nanopartikel emas pada sampel darah | 85 |
| 13. Hasil pengukuran nanopartikel perak pada sampel darah | 86 |

DAFTAR GAMBAR

| Nomor | Halaman |
|--|----------------|
| 1. Prediksi mekanisme biosintesis nanopartikel emas | 13 |
| 2. Prediksi mekanisme biosintesis nanopartikel perak | 18 |
| 3. Ilustrasi proses biosintesis nanopartikel Au dan Ag (a) ekstrak tanaman (b) biomassa tanaman | 20 |
| 4. Skema reduksi, pertumbuhan, dan pembentukan nanopartikel | 21 |
| 5. Penentuan kadar gula darah | 29 |
| 6. Struktur glukosa | 31 |
| 7. Tanaman okra (<i>Abelmoschus esculentus</i> (L) Moench) | 33 |
| 8. Diagram alir kerangka pikir biosensor kadar gula darah berbasis nanopartikel emas dan perak | 36 |
| 9. Proses pembentukan nanopartikel emas | 47 |
| 10. Spektrum UV-Vis nanopartikel emas pada waktu inkubasi 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari, dan 7 hari | 49 |
| 11. Energi celah pita terendah nanopartikel emas (masa inkubasi 6 hari) | 51 |
| 12. Proses pembentukan nanopartikel perak | 52 |
| 13. Spektrum UV-Vis nanopartikel perak pada masa inkubasi 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari, dan 7 hari | 54 |
| 14. Energi celah pita terendah nanopartikel perak (masa inkubasi 3 hari) | 56 |

| | |
|--|----|
| 15. (a) FT-IR Ekstrak Daun Okra (b) Nanopartikel Perak (c) Nanopartikel Emas | 57 |
| 16. Distribusi nanopartikel emas | 60 |
| 17. Difraktogram nanopartikel emas | 61 |
| 18. Hasil uji TEM nanopartikel emas | 65 |
| 19. Distribusi diameter nanopartikel emas | 66 |
| 20. Distribusi luas permukaan nanopartikel emas | 66 |
| 21. Distribusi volume nanopartikel emas | 67 |
| 22. Distribusi nanopartikel perak | 68 |
| 23. Difraktogram nanopartikel perak | 70 |
| 24. Hasil uji TEM nanopartikel perak | 73 |
| 25. Distribusi diameter nanopartikel perak | 74 |
| 26. Distribusi luas permukaan nanopartikel perak | 74 |
| 27. Distribusi volume nanopartikel perak | 75 |
| 28. Kurva hubungan potensial dan konsentrasi, (a) elektroda kerja yang tidak dilapisi nanopartikel (b) elektroda kerja yang dilapisi nanopartikel perak (c) elektroda kerja dilapisi nanopartikel emas | 77 |
| 29. Kurva regresi linear konsentrasi vs arus nanopartikel emas | 79 |
| 30. Potensial dari sensor berbasis nanopartikel emas sebagai fungsi Konsentrasi glukosa | 80 |
| 31. Kurva regresi linear konsentrasi vs arus nanopartikel perak | 82 |
| 32. Potensial dari sensor berbasis nanopartikel perak sebagai fungsi Konsentrasi glukosa | 83 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor | Halaman |
|--|---------|
| 1. Bagan pembuatan larutan emas induk Au ⁺³ 1000 ppm | 101 |
| 2. Bagan kerja sintesis nanopartikel emas dari ekstrak daun okra (<i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench) | 102 |
| 3. Karakterisasi nanopartikel emas dengan spektroskopi UV-Vis | 103 |
| 4. Karakterisasi nanopartikel emas dengan <i>FTIR</i> | 104 |
| 5. Karakterisasi nanopartikel emas dengan <i>PSA</i> | 105 |
| 6. Karakterisasi nanopartikel emas dengan <i>XRD</i> | 106 |
| 7. Karakterisasi nanopartikel emas dengan <i>TEM</i> | 107 |
| 8. Persiapan elektroda emas dan pengendapan nanopartikel | 108 |
| 9. Bagan kerja pengujian terhadap larutan gula standar elektroda emas | 109 |
| 10. Bagan pembuatan larutan perak induk AgNO ₃ 1 mM | 110 |
| 11. Bagan kerja sintesis perak dari ekstrak daun okra (<i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench) | 111 |
| 12. Karakterisasi nanopartikel perak dengan spektroskopi UV-Vis | 112 |
| 13. Karakterisasi nanopartikel perak dengan <i>FTIR</i> | 113 |
| 14. Karakterisasi nanopartikel perak dengan <i>PSA</i> | 114 |
| 15. Karakterisasi nanopartikel perak dengan <i>XRD</i> | 115 |
| 16. Karakterisasi nanopartikel perak dengan <i>TEM</i> | 116 |

| | |
|--|-----|
| 17. Persiapan elektroda perak dan pengendapan nanopartikel | 117 |
| 18. Bagan kerja pengujian elektroda perak terhadap larutan glukosa standar | 118 |
| 19. Diagram alir metode penelitian | 119 |
| 20. Tanaman okra (<i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench) | 120 |
| 21. Hasil analisis energi celah pita nanopartikel emas | 121 |
| 22. Hasil analisis energi celah pita nanopartikel perak | 125 |
| 23. Data hasil karakterisasi nanopartikel menggunakan FTIR | 129 |
| 24. Hasil karakterisasi nanopartikel menggunakan PSA | 132 |
| 25. Hasil konversi konsentrasi kadar glukosa darah | 134 |
| 26. Lokasi pengambilan sampel | 135 |
| 27. Dokumentasi hasil penelitian | 136 |

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

| Lambang/singkatan | Keterangan |
|--------------------|--|
| AACC | Automated Analyzed Clinical Chemistry |
| Ag ⁺ | Ion Perak |
| Au ³⁺ | Ion Emas |
| AgNO ₃ | Perak Nitrat |
| HAuCl ₄ | Asam kloroaurat |
| AgNPs | Nanopartikel Perak |
| AuNPs | Nanopartikel Emas |
| BCC | Body Centered Cubic |
| CC | Centered Cubic |
| DM | Diabetes Melitus |
| FAD | Flavin Adenin Dinukleotida |
| FCC | Face Centered Cubic |
| FTIR | Fourier transform Infrared Spectroscopy |
| HOMO | Highest Occupied Molecular Orbital |
| IDF | International Diabetes Federation |
| IP | Indeks Polidispersitas |
| JCPDS | Joint Committee on Powder Diffraction Standar |
| LBL | Lapis demi lapis |

| | |
|--------|-------------------------------------|
| LUMO | Lowest Unoccupied Molecular Orbital |
| mM | miliMolar |
| PSA | Particle Size Analyzer |
| SPR | Surface Palsmon Resonance |
| TEM | Transmission Electron Microscopy |
| UV-Vis | Ultraviolet Visibel |
| XRD | X-Ray Diffraction |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dewasa ini, salah satu penyakit di masyarakat yang sudah menjadi masalah kesehatan dunia adalah Diabetes Melitus (Kemenkes RI, 2018). Menurut International Diabetes Federation (IDF), penderita diabetes melitus pada tahun 2015 adalah 415 juta dan diperkirakan pada tahun 2040, jumlahnya menjadi 642 juta (IDF, 2015). Cho, dkk., (2018) melaporkan, bahwa pada tahun 2017 terjadi peningkatan jumlah penderita diabetes sebesar 8,4% (451) juta penduduk dunia, dan jumlah ini diperkirakan meningkat menjadi 9,9% (693) juta penduduk pada tahun 2045.

Diabetes melitus merupakan penyakit yang disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh untuk memproduksi hormon insulin atau penggunaan yang tidak efektif dari produksi insulin (Kemenkes RI, 2018). Penyakit ini merupakan penyakit gangguan metabolisme kronis yang ditandai dengan peningkatan glukosa darah (Katz dan Avillion, 2017) dengan kadar glukosa darah sewaktu ≥ 200 mg/dL, dan kadar glukosa darah puasa ≥ 126 mg/dL (Katz dan Avillion, 2017). Menurut hasil survei WHO, jumlah penderita DM di Indonesia menduduki ranking ke 4 terbesar di dunia. Penyakit DM menyebabkan 5% kematian di dunia setiap tahunnya. Kematian akibat penyakit ini diperkirakan akan meningkat sebanyak 50% pada sepuluh tahun yang akan datang (Cho, dkk., 2012). Peningkatan

prevalensi DM disebabkan oleh beberapa faktor seperti pola aktivitas fisik, pola makan yang tidak teratur (Dolongseda, dkk., 2017), risiko kejadian diabetes melitus pada usia produktif (Kistianita, dkk., 2017), tingkat pengetahuan dan gaya hidup (Amalia, dkk., 2015), serta durasi penyakit dengan keluhan subyektif (Lathifah, 2017).

Upaya untuk menjaga agar kadar glukosa darah tetap normal, serta untuk mengurangi risiko komplikasi, penderita diabetes melitus harus memantau dan mengontrol kadar gula darahnya (Chen, 2018; Cash dan Clark, 2010). Saat ini, sensor untuk keperluan tersebut belum terjangkau oleh seluruh lapisan masyarakat. Untuk itu, penelitian yang intensif diperlukan untuk mengembangkan pemenuhan biosensor yang mudah, akurat, dan efektif serta nyaman dalam penggunaannya (Yusof, dkk., 2016). Penelitian tentang sensor telah banyak dikembangkan. Kemajuan teknologi memungkinkan pengembangan instrumen yang murah, berkualitas dan handal, dalam hal ini teknologi nano (Djamal, dkk., 2011).

Nanosains dan nanoteknologi yang sedang dikembangkan merupakan kajian ilmu dan rekayasa material dalam skala nanometer dan merupakan inovasi teknologi yang menarik dari penelitian yang berkaitan dengan bidang produksi, ukuran, dan bentuk (Amiruddin dan Taufikurrohman, 2013, Suwarda dan Maarif, 2013).

Nanoteknologi mempelajari partikel dalam rentang ukuran 1-100 nm (Arakha dan Jha, 2018). Nanopartikel merupakan salah satu bagian nanoteknologi yang sangat penting, karena material ini dapat

diaplikasikan dalam berbagai bidang, misalnya pertanian, lingkungan, optik, biomedis, dan sebagainya (Kavitha, dkk., 2013). Nanopartikel dapat dibuat dengan metode fitokimia, elektrokimia, radiolitik, sonolitik, dan bioeduksi yang menggunakan produk alam (Yousaf dan Saleh, 2018). Salah satu cabang dari nanoteknologi adalah nanobioteknologi. Nanobioteknologi menggabungkan prinsip biologi dengan prosedur fisika dan kimia untuk menghasilkan partikel yang berukuran nanometer dengan fungsi tertentu (Lembang, dkk., 2013). Teknologi ini menarik perhatian karena aplikasinya yang luas, seperti dalam bidang optik, elektronik, sensor biologi, dan katalis. Nanopartikel logam merupakan nanomaterial yang banyak diteliti. Nanopartikel emas dan nanopartikel perak adalah contoh dari nanopartikel logam mulia yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi karena nanopartikel ini memiliki koefisien ekstinsi yang sangat tinggi dan sifat optis yang bergantung pada ukuran dan bentuk partikel, konstanta dielektrik medium, komposisi, dan jarak antar partikel (Moores dan Goettmann, 2006).

Nanopartikel dapat disintesis dengan metode *top-down* maupun *bottom-up*. Dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan serta biaya yang mahal dari kedua metode, inovasi baru diperlukan untuk mensintesis nanopartikel yang ramah lingkungan serta biaya murah (Kumar, dkk., 2008). Salah satu inovasi mensintesis nanopartikel dengan memanfaatkan tumbuhan sebagai agen pereduksi telah ditemukan untuk menghasilkan nanopartikel (Muliadi, dkk., 2015). Dalam teknik ini, tumbuhan digunakan

sebagai agen pereduksi dengan beberapa keuntungan, seperti ramah lingkungan, lebih ekonomis, dan tidak memerlukan tekanan, energi, dan temperatur yang tinggi serta tidak menggunakan bahan kimia yang beracun (Elumalai, dkk., 2011), memperoleh hasil yang lebih besar, tidak menghasilkan produk samping yang berbahaya, menggunakan bahan kimia yang aman bagi lingkungan, efisien energi, (Fatimah, 2016), efektif, simpel, stabil untuk jangka waktu yang lama (Kaykhali, dkk., 2018).

Berbagai tumbuhan telah digunakan seperti *Cucurbita maxima* (Iyer dan Panda, 2018), *Elaeis quineensis* (Ahmad, dkk., 2018), *Ziziphus zizyphus* (Aljabali, dkk., 2018), *Syzygium polyanthum* (Asri, dkk., 2018). Tumbuhan tersebut mengandung senyawa antioksidan seperti flavonoid, kumarin, alkaloid, dan tanin. Salah satu tumbuhan yang dapat digunakan sebagai agen pereduksi adalah tumbuhan *Abelmoschus esculentus* yang lebih dikenal dengan nama okra (Dubey dan Mishra, 2017). Okra mengandung senyawa flavonoid yang berfungsi sebagai antioksidan. Kandungan senyawa flavonoid pada daun okra memungkinkan untuk dapat digunakan sebagai bioreduktor yang menjadi dasar dalam sensor kadar gula darah. Berdasarkan hasil penelitian Masud, dkk., 2015, ekstrak buah okra dapat digunakan untuk mensintesis nanopartikel perak. Jayaseelan, dkk., 2013 juga melaporkan bahwa ekstrak biji okra dapat digunakan sebagai bioeduktor dalam mensintesis nanopartikel emas.

Meskipun penelitian tentang okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) telah banyak dilakukan, tetapi pemanfaatan ekstrak daun okra

dalam mensintesis nanopartikel untuk aplikasi biosensor sepanjang penelusuran pustaka belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian ini telah dilakukan sintesis nanopartikel emas dan perak dengan menggunakan bioreduktor ekstrak daun okra dan diaplikasikan sebagai sensor gula darah.

Beberapa parameter dapat mempengaruhi karakter nanopartikel yang diperoleh pada proses sintesis dengan menggunakan tumbuhan. Parameter tersebut antara lain adalah kandungan bioreduktor yang dimiliki, media tempat reaksi berlangsung, dan kondisi reaksi (misalnya: pelarut, stabilizer, suhu) (Keat *et al.*, 2015; Huo, *et al.*, 2016). Sintesis yang memanfaatkan nanopartikel ekstrak tumbuhan memungkinkan untuk mengontrol bentuk dan ukuran bahan yang disintesis dan potensial untuk beberapa aplikasi. Salah satu aplikasinya adalah untuk mendesain sensor gula darah (Mukunthan *et al.*, 2012).

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana proses sintesis nanopartikel emas dan perak dengan memanfaatkan ekstrak daun okra (*Abelmoschus esculentus* (L) Moench) sebagai bioreduktor ?
2. Bagaimana karakter nanopartikel emas dan perak yang disintesis dengan menggunakan ekstrak daun okra (*Abelmoschus esculentus* (L) Moench) ?

3. Bagaimana proses desain sensor glukosa berbasis nanopartikel emas dan perak serta karakterisasinya ?
4. Bagaimana kinerja sensor berbasis nanopartikel emas dan perak sebagai sensor kadar gula darah ?

C. Tujuan Penelitian

1. Mensintesis nanopartikel emas dan perak dengan memanfaatkan ekstrak daun Okra (*Abelmoschus esculentus* (L) Moench) sebagai bioreduktor.
2. Menentukan karakter nanopartikel emas dan perak yang disintesis dengan menggunakan ekstrak daun Okra (*Abelmoschus esculentus* (L) Moench).
3. Mendesain sensor glukosa berbasis nanopartikel emas dan perak.
4. Menentukan kinerja sensor berbasis nanopartikel emas dan perak sebagai sensor kadar glukosa darah.

D. Manfaat Penelitian

1. Biosensor kadar gula darah dapat dijadikan sebagai sarana *self control* untuk menekan jumlah penderita DM di masa mendatang.
2. Nanopartikel logam memiliki sifat absorpsi dan sifat sensitivitas yang tinggi, sehingga dapat menjadi sensor masa depan. Pembuatan sensor melalui proses biosintesis serta implementasinya dapat menjadi tambahan pengetahuan tentang sintesis nanopartikel secara biosintesis dan karakterisasinya.

3. Memanfaatkan bahan alam (tanaman) yang ada di sekitar kita menjadi sesuatu yang berdaya guna tinggi seperti menjadi sensor gula yang berbasis nanopartikel dari daun okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench).
4. Sebagai tambahan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang kimia analitik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum Emas

Emas merupakan unsur kimia dalam tabel periodik dengan simbol Au (bahasa Latin: 'aurum') dan nomor atom 79, merupakan logam transisi (trivalen dan univalen yang lembek, mengkilap, dan berwarna kuning. Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5-3 (skala Mohs). Logam emas (Au) memiliki massa atom 196,96 dan jari-jari atom 0,1442 nm, dengan konfigurasi elektron {Xe} 4f¹⁴5d¹⁰6s¹; titik leleh 1064°C; dan titik didih 2808°C. Emas dapat menghantarkan panas dan arus listrik baik dibandingkan tembaga dan perak (Rumble, 2016).

Emas dalam bentuk bubuk berwarna coklat-kemerahan. Emas tidak bereaksi dengan zat kimia lainnya tetapi dapat bereaksi dengan klorin, fluorin dan akuaregia. Akuaregia dapat melarutkan emas sehingga terbentuk anion tetrakloroaurat (AuCl₄). Emas larut dengan lambat dalam kalium sianida dimana terbentuk anion disianoaurat AuCN₂-Au(I) dan Au (III) dengan mudah direduksi menjadi logamnya (Svehla, 1990).

Emas sangat tidak reaktif. Sifat ini diduga karena posisinya dalam deret elektrokimia, dimana nilai potensial reduksi standar untuk reaksi reduksi Au⁺ menjadi Au adalah +1,69 Volt, sedangkan nilai potensial

reduksi standar untuk reduksi Au^{3+} menjadi Au adalah +1,4 Volt (Cotton dan Wikinson, 2007).

B. Tinjauan Umum Perak

Perak (Ag) adalah logam yang putih, dapat ditempa, dan liat. kerapatannya tinggi (10,5 g/mL) dan melebur pada suhu 960,5°C. Perak merupakan logam transisi lunak dengan nomor atom 47. Tidak larut dalam asam klorida, asam sulfat encer (1M), atau asam nitrat encer (2M). Perak berwarna putih dan berkilau, memiliki konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan reflektivitas tertinggi di antara semua logam, dan sangat elastis. Perak terproteksi mempunyai reflektivitas optik yang lebih tinggi daripada aluminium pada panjang gelombang lebih dari 450 nm (Svehla, 1985).

Perak bersifat stabil di udara murni dan air, tetapi kusam ketika terpapar udara atau air yang mengandung ozon atau hidrogen sulfida. Perak alami tersusun atas dua isotop stabil Ag^{107} dan Ag^{109} . Logam ini mudah larut dalam asam nitrat (HNO_3) menghasilkan perak nitrat (AgNO_3), berupa padatan kristal, transparan, yang bersifat fotosensitif dan mudah larut dalam air (Rumble, 2016). Nilai potensial reduksi standar untuk reaksi reduksi Ag^+ menjadi Ag adalah +0,80 Volt (Cotton dan Wikinson, 2007).

C. Nanopartikel

Nanopartikel merupakan salah satu bagian dari nanoteknologi yang menarik perhatian, karena berkaitan dengan produksi nanopartikel dengan berbagai variasi ukuran, bentuk, komposisi kimia, dan kemungkinan untuk

dapat diaplikasikan dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang (Luo, dkk., 2005). Nanopartikel didefinisikan sebagai dispersi partikel atau partikel padat dengan ukuran dalam kisaran 1-100 nm. Nanopartikel dapat terjadi secara alamiah maupun melalui proses sintesis oleh manusia (Arakha, dkk., 2018).

Nanopartikel dapat dihasilkan dalam tiga bentuk yaitu: (1) nanopartikel alami, (2) nanopartikel antropogenik, dan (3) nanopartikel buatan. Parameter yang mempengaruhi pertumbuhan, bentuk, dan struktur nanopartikel adalah jenis *capping agent* atau *stabilizer*, konsentrasi dari reaktan, nilai pH dari larutan, dan suhu. Sedangkan faktor yang mempengaruhi sifat nanopartikel adalah ukuran dan bentuk partikel, sifat permukaan, interaksi pelarut-partikel, dan interaksi antar partikel (Arakha dan Jha, 2018).

Penelitian nanopartikel sedang berkembang pesat karena dapat diaplikasikan secara luas seperti dalam bidang lingkungan, elektronik, optis, dan biomedis. Nanopartikel dapat digunakan dalam sistem pengantaran obat karena ukuran dan karakteristik permukaan nanopartikel mudah dimanipulasi untuk mencapai target pengobatan. Nanopartikel memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan mikropartikel karena daya serap intraseluler relatif tinggi. Ukuran nanometer mampu melewati *biological barrier* (Reis, dkk., 2005).

1. Nanopartikel Emas

Nanopartikel emas merupakan logam mulia yang banyak dipelajari karena memiliki sifat yang stabil dan aplikasi yang potensial dalam berbagai sains dan teknologi mulai dari obat untuk optik, pelabelan biologis dan lain sebagainya (Singh, dkk., 2012). Sifat optik-elektronik nanopartikel emas yang unik telah diteliti dan digunakan dalam aplikasi teknologi tinggi seperti foto voltaik organik, pemeriksaan sensorik, agen terapi, penghantaran obat dalam aplikasi biologi dan medis, konduktor elektronik dan katalisis (Luo, dkk., 2005). Sifat optik dan elektronik dari nanopartikel emas sangat baik dengan mengubah ukuran, bentuk, kimia permukaan, atau kondisi agregat (Kavitha, dkk., 2013).

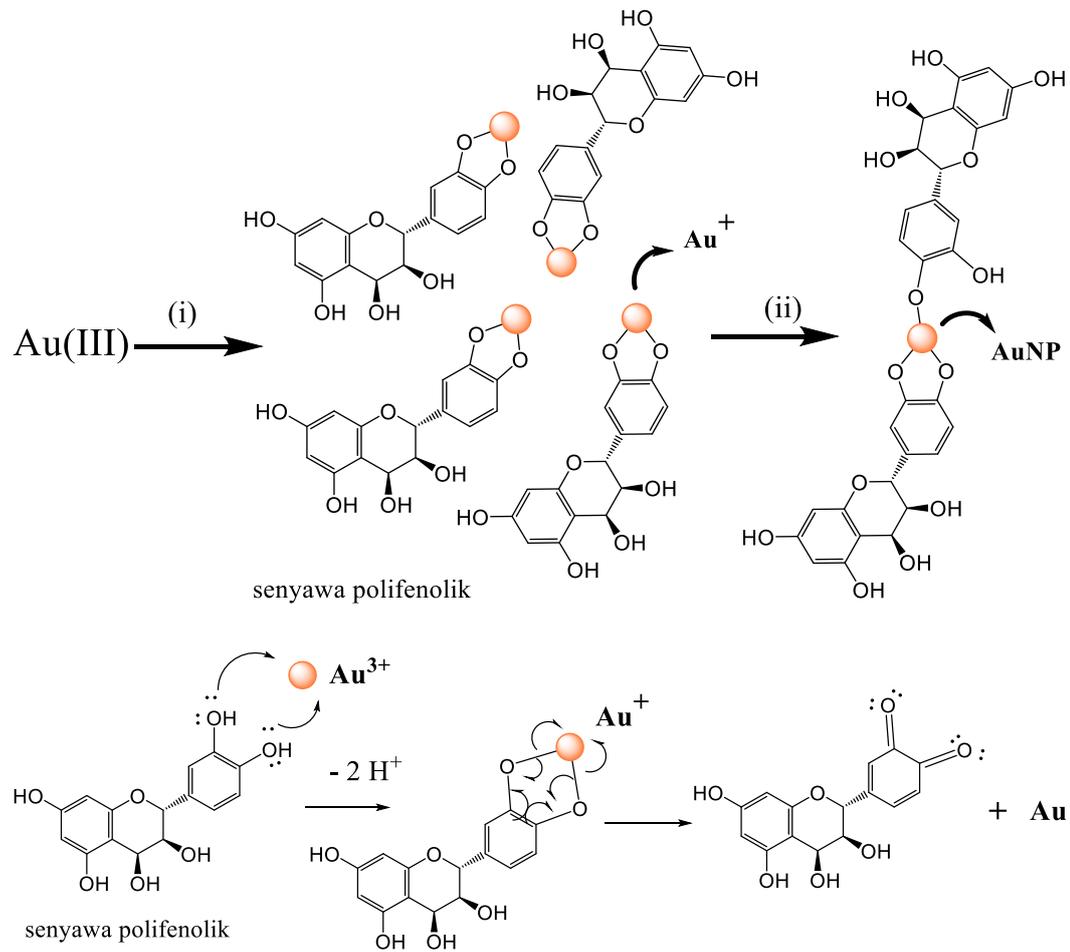
a. Sintesis Nanopartikel Emas

Perkembangan ilmu pengetahuan tentang nanopartikel memunculkan suatu metode baru dalam sintesis nanopartikel yaitu dengan memanfaatkan biomaterial atau yang dinamakan biosintesis nanopartikel. Prinsip biosintesis nanopartikel logam ialah memanfaatkan tumbuhan atau mikroorganisme sebagai agen pereduksi. Mikroorganisme yang digunakan seperti bakteri, jamur dan khamir (Arakha dan Jha, 2008). Biosintesis nanopartikel logam dengan menggunakan mikroorganisme memiliki kelemahan, seperti pemeliharaan kultur yang sulit dan waktu sintesis yang lama (Elumalai, dkk., 2011). Sedangkan biosintesis nanopartikel menggunakan tumbuhan memberikan keuntungan, seperti ramah lingkungan, kompatibel untuk aplikasi farmasi dan biomedis, biaya rendah,

dan tidak perlu tekanan, energi dan temperatur yang tinggi, serta tidak memerlukan bahan kimia yang beracun (Yousaf dan Saleh, 2018).

Berbagai metode kimia telah dilakukan dalam sintesis nanopartikel emas, diantaranya iradiasi laser, sonokimia, sonoelektrokimia, fotokimia dengan sinar UV, reduksi kimia, elektrokimia. Selain dengan metode biologi, yaitu dengan mikroorganisme, enzim, dan ekstrak tanaman (Singh dkk., 2012).

Salah satu aplikasi dari biosintesis nanopartikel telah dilakukan oleh (Rakhi dan Gopal, 2012) yang memanfaatkan ekstrak *Terminalia arjuna* untuk mensintesis nanopartikel emas. Dalam biosintesis nanopartikel emas menggunakan tumbuhan, nanopartikel terbentuk melalui reaksi reduksi oksidasi dari Au^{3+} yang terdapat pada larutan dengan senyawa tertentu dari tumbuhan (Rakhi dan Gopal, 2012). Shankar, dkk. (2004) melaporkan bahwa terpenoid dan flavonoid pada *Azadiractha indica* berperan untuk memfasilitasi reaksi reduksi karena memiliki pengstabil molekul aktif permukaan. Hasil sintesis nanopartikel emas mempunyai warna yang bervariasi dari merah ke ungu tergantung pada ukuran partikelnya. Warna-warna yang timbul merupakan frekuensi pita plasmon yang berada pada daerah visible yang menyerap warna biru dan memantulkan warna merah (Rakhi dan Gopal, 2012).



Gambar 1. Prediksi mekanisme biosintesis nanopartikel emas
(Sumber: Rakhi, *et al.*, 2012)

Hasil spektroskopi nilai absorbansi dapat menunjukkan secara kualitatif jumlah nanopartikel yang terbentuk, dimana semakin tinggi nilai absorbansi dapat diasumsikan jumlah nanopartikel yang terbentuk semakin banyak (Sikder, dkk., 2017). Karakterisasi nanopartikel menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM), untuk melihat morfologi ukuran nanopartikel emas yang dihasilkan (Kaykhai, dkk., 2018).

Tumbuhan yang digunakan untuk biosintesis nanopartikel emas dapat berupa bunga (Iyer dan Panda, 2018), biji (Jayaseelan, dkk., 2013), minyak (Ahmad, dkk., 2018), batang (Kaykhaili, dkk., 2018), ekstrak daun (Aljabali, dkk., 2018; Asri, dkk., 2014; Octaviana, 2016; Wahab, 2018). Beberapa tumbuhan yang telah dimanfaatkan untuk biosintesis nanopartikel emas seperti yang tertera dalam Tabel 1.

Tabel 1. Jenis-jenis tumbuhan yang telah digunakan untuk sintesis nanopartikel emas

| No | Tumbuhan | Bagian Tanaman | Aplikasi | Ukuran Partikel (nm) | Reference |
|----|---|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | <i>Cucurbita maxima</i> | Bunga (Ekstrak) | Medis dan Farmasi | 11,02-42,1 | Iyer dan Panda, 2018 |
| 2 | <i>Abelmoschus esculentus (L.) Moench</i> | Biji (Ekstrak) | Antifungi | 10-125 | Jayaseelan, dkk., 2013 |
| 3 | <i>Elaeis guineensis</i> | Daun (Minyak) | Penghantar obat | 27,89 | Ahmad, dkk., 2018 |
| 4 | <i>Ziziphus zizyphus</i> | Daun (Ekstrak) | Antimikroba | 40-50 | Aljabali, dkk., 2018 |
| 5 | <i>Syzigium polyanthum</i> | Daun (Ekstrak) | Sensor gula darah | 40,75 | Asri, dkk., 2014 |
| 6 | <i>Piriploca aphylla</i> | Batang (Ekstrak air) | Reduktor, stabilisator | 25-30 | Kaykhaili, dkk., 2018 |
| 7 | <i>Averrhoa bilimbi L</i> | Daun (Ekstrak) | Sensor melamin | 1899,1 | Octaviana, dkk., 2016 |
| 8 | <i>Muntingia calabura L</i> | Daun (Ekstrak air) | Bioreduktor | 78,2 | Wahab, dkk., 2018 |
| 9 | <i>Piper betle L</i> | Daun (Ekstrak) | Label tes immunochromatographic | 100 | Wicaksono dan Hamidah, 2018 |
| 10 | <i>Abelmoschus manihot L</i> | Daun (Ekstrak) | Pengontrol kadar gula dalam darah | 97,62 | Liong, dkk., 2014 |

2. Nanopartikel Perak

Salah satu nanopartikel logam mulia ialah nanopartikel perak yang dapat disintesis dengan metode *top-down* (fisika) dan metode *bottom-up* (kimia). Metode *top-down* yaitu mereduksi padatan logam menjadi partikel perak berukuran nano secara mekanik melalui metode khusus, seperti litografi dan ablasi laser. Metode *bottom-up* dilakukan dengan melarutkan garam perak ke dalam pelarut tertentu, kemudian agen pereduksi dan agen penstabil ditambahkan dengan tujuan untuk mencegah aglomerasi nanopartikel perak jika diperlukan (Kavitha, dkk., 2013). Tetapi, metode-metode tersebut menimbulkan banyak masalah, yakni penggunaan pelarut beracun, limbah yang dihasilkan berbahaya, dan konsumsi energi tinggi (Thakkar, dkk., 2010).

Biosintesis nanopartikel perak merupakan pilihan lain yang layak selain metode fisika dan kimia. Selain itu, pada metode *bottom up*, nanopartikel logam dapat disintesis dengan memanfaatkan makhluk hidup sebagai agen biologi pada proses sintesis nanopartikel (Abdelghany, dkk., 2017). Prinsip biosintesis nanopartikel logam ialah pemanfaatan tumbuhan ataupun mikroorganisme sebagai agen pereduksi. Mikroorganisme yang digunakan dapat berupa bakteri, khamir, dan jamur. Biosintesis nanopartikel logam menggunakan mikroorganisme memiliki kelemahan, seperti pemeliharaan kultur yang sulit dan waktu sintesis yang lama (Abdelghany, dkk., 2011). Biosintesis nanopartikel menggunakan tumbuhan memberikan beberapa keuntungan, seperti ramah lingkungan,

kompatibel untuk aplikasi farmasi dan biomedis, biaya yang rendah, tekanan, energi dan temperatur yang tidak tinggi, serta tanpa bahan kimia yang beracun (Mathur, 2014).

a. Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis berbagai jenis nanopartikel logam menggunakan ekstrak tanaman telah banyak dilakukan. Berbagai metode sintesis kimia, biologi, dan fisika telah digunakan dalam produksi nanopartikel logam. Kebanyakan metode ini masih dalam tahap pengembangan. Ekstrak tanaman dengan berbagai konsentrasi mempengaruhi ukuran nanopartikel logam, termasuk waktu inkubasi dan lain-lain (Willian, 2018).

Nanopartikel perak merupakan salah satu nanopartikel yang dapat disintesis dari tumbuhan. Sintesis nanopartikel perak menggunakan larutan perak nitrat (AgNO_3) sebagai prekursor dan tumbuhan sebagai pereduksi. Prinsip metode reduksi dalam preparasi nanopartikel adalah memanfaatkan tumbuhan dan mikroorganisme sebagai agen pereduksi (Bakir, 2011). Sintesis nanopartikel perak cenderung mengalami masalah agregasi nanopartikel, kontrol pertumbuhan kristal, morfologi, ukuran, dan distribusi ukuran, namun demikian hal ini dapat dicegah dengan penambahan material atau molekul pelapis partikel (Marquez, dkk., 2018).

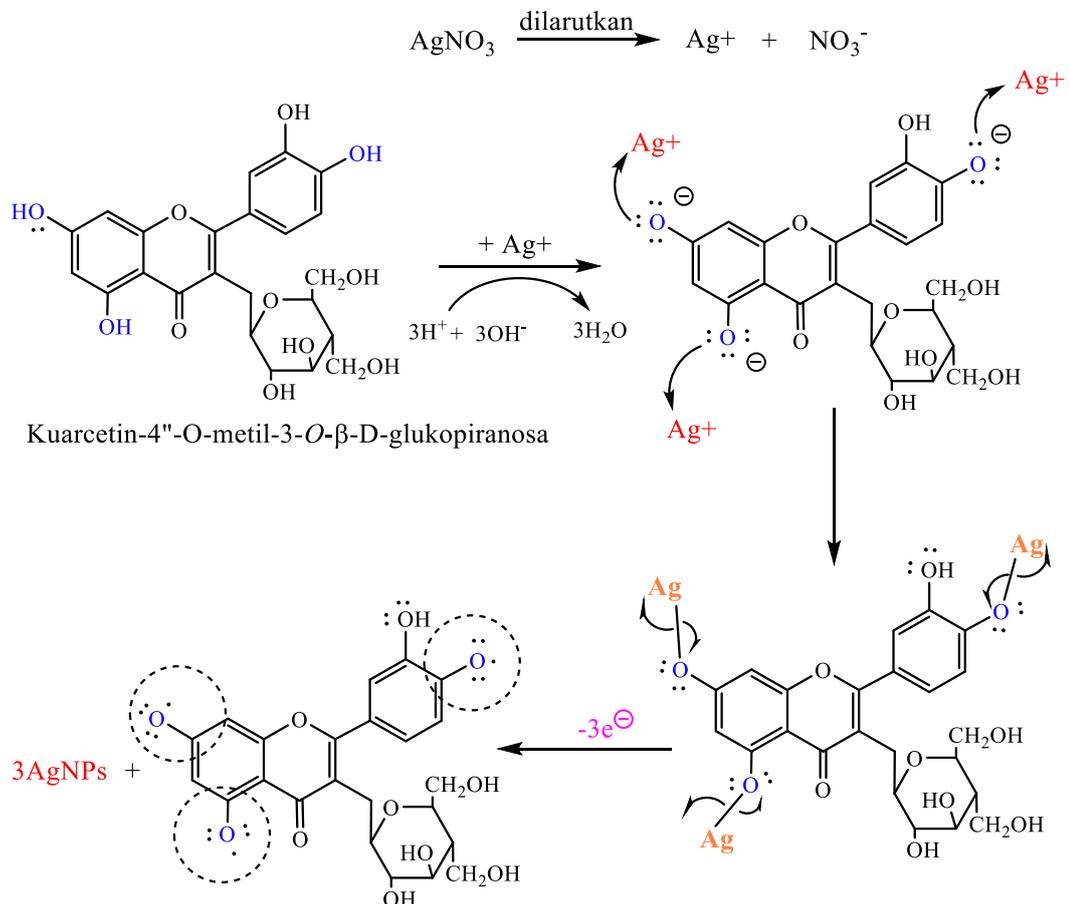
Aplikasi nanopartikel perak antara lain pada diagnosis molekuler dan alat fotonik dengan memanfaatkan sifat optis nanopartikel. Penggunaan nanopartikel perak antara lain sebagai bahan pelapis antimikroba dalam hal ini menghambat pertumbuhan mikroba (Oldenburg, 2014). Seperti yang

dilaporkan dalam penelitian Masakke, dkk. (2014), ion perak pada bahan pelapis antimikroba dilepaskan secara terus menerus dan bekerja dengan jalan mengganggu proses kerja jaringan seluler bakteri.

Biosintesis nanopartikel perak yang menggunakan tumbuhan, Ag (0) terbentuk melalui reaksi reduksi oksidasi (redoks) dari ion Ag (I) yang terdapat pada larutan maupun ion Ag (I) yang terkandung dalam tumbuhan dengan senyawa tertentu, seperti enzim dan reduktan yang berasal dari bagian tumbuhan (Fatimah, 2016; Reidy, dkk., 2013). Proses reduksi hingga terbentuk nanopartikel perak tidak lepas dari peran senyawa tertentu yang terdapat pada jenis tumbuhan yang digunakan. Tumbuhan *Azadirachta indica* diduga mengandung golongan senyawa terpenoid dan flavonoid dari air rebusan yang dapat memfasilitasi terjadinya reduksi karena memiliki penstabil molekul aktif permukaan (*Surface Active Molecule Stabilizing*) (Shankar, dkk., 2004). Menurut Jha, dkk. (2009), senyawa yang berperan dalam proses reduksi terdiri dari beberapa senyawa metabolit sekunder tumbuhan seperti, senyawa terpenoid jenis citronellol dan geraniol, lalu keton, aldehid, amida, dan asam karboksilat. Hasil tersebut diperoleh dari analisis spektrofotometri Infrared (Jha, dkk., 2009).

Berdasarkan analisis uji terhadap jenis flavonoid yang terkandung pada daun okra diketahui yaitu quercetin-4"-O-methy-3-O β -D-glucopyranoside. Menggunakan hasil elusidasi senyawa tersebut maka dapat diprediksi mekanisme proses pembentukan nanopartikel perak

melalui bioreduksi menggunakan ekstrak daun okra seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prediksi mekanisme sintesis nanopartikel perak (Disadur dari Mirgorod, *et al.*, 2013 dengan sedikit modifikasi).

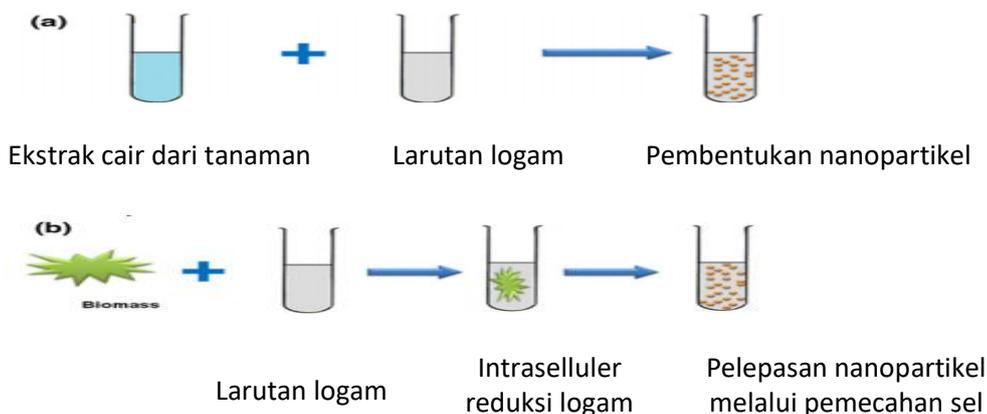
Berbagai jenis tumbuhan telah dimanfaatkan sebagai agen biosintesis untuk menghasilkan nanopartikel perak secara ekstraseluler maupun intraseluler yang dapat berupa ekstrak tanaman atau bagian tanaman (Haleemkhan, dkk., 2015). Beberapa tumbuhan yang telah dimanfaatkan untuk biosintesis nanopartikel perak seperti yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis-jenis tumbuhan yang telah digunakan untuk biosintesis nanopartikel perak

| No | Tumbuhan | Bagian Tanaman | Aplikasi | Ukuran Partikel (nm) | Reference |
|----|--|--------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1 | <i>Azadirachta indica</i> | Daun (Ekstrak) | Medis dan Farmasi | 100-180 | Panigrahi, 2013 |
| 2 | <i>Syzygium cumini</i> | Daun, Biji (Ekstrak) | Agen pereduksi | 29-30 dan 73-92 | Kumar, dkk., 2010 |
| 3 | <i>Diospyros blancoi</i> | Daun (Air rebusan) | Deteksi ion tembaga | 112-148 | Bakir, 2011 |
| 4 | <i>Garcinia mangostana</i> | Kulit buah (Ekstrak) | Deteksi logam | 19,37 | Tikirik, dkk., 2011 |
| 5 | <i>Garcinia mangostana</i> | Daun (Ekstrak) | Agen pereduksi | 71,56 | Masakke, dkk., 2013 |
| 6 | <i>Terminalia catappa</i> | Daun (Ekstrak) | Agen pereduksi | 55,77-62,61 | Lembang, dkk., 2013 |
| 7 | <i>Terminalia catappa</i> | Daun (Ekstrak) | Agen pereduksi | 53,48 | Payapo, dkk., 2016 |
| 8 | <i>Alpinia galanga</i> | Rimpang (Ekstrak air) | Antibakteri | Absorban 350-450 | Chalish, dkk., 2015 |
| 9 | <i>Uncaria gambir robx</i> | Buah (Ekstrak) | Biomedis | 100 | Arief, dkk., 2015 |
| 10 | <i>Pandanus conoideus</i> | Buah (Ekstrak rebusan) | Agen pereduksi | Absorban 422-423 | Matutu, dkk., 2016 |
| 11 | <i>Zingiber officinale</i> Linn var. <i>rubrum</i> | Rimpang (Ekstrak air) | Agen pereduksi | Absorban 450 | Haryani, dkk., 2015 |
| 12 | <i>Musa paradisiaca</i> Linn | Kulit (Ekstrak) | Agen pereduksi | 20 | Khosi'atun, dan Setiawan, 2016 |
| 13 | <i>Kleinhovia hospital</i> Linn | Daun (Ekstrak) | Tabir surya | 49,69 | Marlinda, dkk., 2016 |
| 14 | <i>Arenga microcarpa</i> | Empelur batang (Ekstrak) | Antioksidan | 10,59-50,07 | Tapa, dkk., 2016 |
| 15 | <i>Andrographis paniculata</i> | Daun (Ekstrak) | Antiinfeksi | 191,2 | Syaifulloh dan Ristian, 2017 |
| 16 | <i>Acacia concinna</i> | Daun (Ekstrak air) | Deteksi pewarna | 30 | Sur, dkk., 2017 |
| 17 | <i>Sapindus mukorossinama</i> | Daun (Ekstrak air) | Diagnostik | 30 | Sur, dkk., 2017 |
| 18 | <i>Passiflora flavicarva</i> | Buah (Ekstrak) | Deteksi logam | Konsentrasi 6,7 ppm | Maryani, dkk., 2017 |

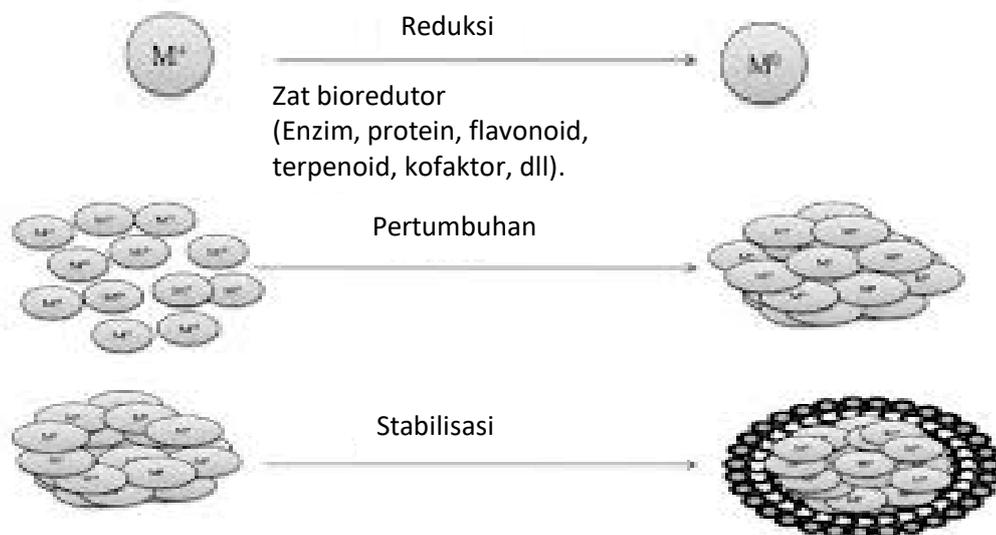
| | | | | | |
|----|--|-----------------------|-----------------------|------------|--------------------------------|
| 19 | <i>Mimusops coriacea</i> | Daun (Ekstrak) | Agen pereduksi | 10-30 | Lopes dan Courrol, 2018 |
| 20 | <i>Muntingia calabura</i> L | Daun (Ekstrak) | Nanosensor gula darah | 97,04 | Wahab, dkk., 2018 |
| 21 | <i>Cucurbita maxima</i> | Bunga (Ekstrak) | Biomedis dan Farmasi | 5,63-11,55 | Iyer dan Panda, 2018 |
| 22 | <i>Abutilon indicum</i> | Daun (Ekstrak) | Antibakteri | 50-100 | Chandirika dan Annadurai, 2018 |
| 23 | Beberapa tumbuhan hutan bakau (Mangrove) | Tumbuhan (Ekstrak) | Biomedis | 11-100 | Willian, 2018 |
| 24 | <i>Averrhoa bilimbi</i> L | Daun (Ekstrak) | Agen pereduksi | 13,877 | Mishra, dkk., 2015 |
| 25 | <i>Abelmoschus esculentus</i> (L) Moench | Daging buah (Ekstrak) | Antimikroba | 6,7 | Masud, dkk., 2015 |

Ilustrasi pembentukan nanopartikel emas dan perak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi proses biosintesis nanopartikel (Gan dan Li, 2012)

Skema reduksi, pertumbuhan dan pembentukan nanopartikel dapat dilihat pada Gambar 4, dimana terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap reduksi, tahap pertumbuhan, dan tahap stabilisasi.



Gambar 4. Skema reduksi, pertumbuhan dan pembentukan nanopartikel (Mittal, dkk., 2013)

D. Karakterisasi Nanopartikel Emas dan Perak

Berbagai metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi nanopartikel, sebagai berikut:

1. Karakterisasi komposisi dan struktur permukaan nanopartikel dengan menggunakan: Spektroskopi Ultraviolet-Visible (UV-Vis), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Equivalent Series Resistor* (ESR), *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR), dan *Raman Scattering*. Pada penelitian ini digunakan spektroskopi Ultraviolet-Visible untuk mengetahui karakteristik nanopartikel yang terbentuk berdasarkan spektrum puncak absorbansinya. Nilai absorbansi dapat menunjukkan secara kualitatif jumlah nanopartikel yang terbentuk. Spektrum absorbansi maksimal (nm) dapat menunjukkan ukuran nanopartikel

yang dihasilkan. Semakin besar λ maksimum, maka semakin besar pula ukuran nanopartikel. Nanopartikel emas memiliki puncak absorpsi di kisaran panjang gelombang 200-800 nm, sedangkan nanopartikel perak memiliki puncak absorpsi di kisaran panjang gelombang 400-500 nm (Junaidi, 2017; Kaykhali, dkk., 2018)

2. Karakterisasi struktur permukaan (topografi), dengan menggunakan: *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Transmission electron microscopy* (TEM), *Leadership in Energy and Environment Design* (LEED), dan *Extended X-ray Absorption Fine Structure* (EXAFS). Pada penelitian ini digunakan *Transmission electron microscopy* (TEM) digunakan dalam pengamatan morfologi dan penentuan ukuran nanopartikel (Bakir, 2011). Digunakan pula *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS) yang dirangkai pada SEM. Analisis dengan EDS menghasilkan informasi kualitatif dan kuantitatif tentang komposisi dari lokasi-lokasi pada sampel dengan diameter beberapa mikrometer (Wahab, dkk., 2018; Chandirika, dkk., 2018).
3. Karakterisasi ukuran dan luas permukaan, dengan menggunakan: difraksi sinar X (XRD), mikroskop elektron, dan pengukuran magnetik. Penentuan struktur fisik bahan dalam penelitian ini digunakan difraksi sinar X (XRD). Data yang diperoleh dari analisis XRD berupa grafik hubungan sudut difraksi sinar X pada sampel dengan intensitas sinar yang dipantulkan oleh bahan (Wahab, dkk., 2018; Sur, dkk., 2017).

4. Karakterisasi ukuran diameter dan distribusi nanopartikel dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA), (Asri, dkk., 2014; Syaifulloh, dkk., 2017).
5. Uji kinerja sensor menggunakan metode voltametri siklik (Maryanto dan Kurniawan, 2007).

E. Sensor dan Biosensor

Aplikasi penggunaan sensor telah mengalami banyak perkembangan. Secara umum sensor didefinisikan sebagai alat yang mampu menangkap fenomena fisika atau kimia kemudian mengubahnya menjadi sinyal elektrik baik arus listrik ataupun tegangan. Fenomena fisik yang mampu menstimulus sensor untuk menghasilkan sinyal listrik meliputi temperature, tekanan, gaya, medan magnet cahaya, pergerakan dan sebagainya. Fenomena kimia berupa konsentrasi dari bahan kimia baik cairan maupun gas (Djamal, dkk., 2011).

Sensor sendiri dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu biosensor dan kemosensor. Biosensor melibatkan aktifitas enzimatik yang terjadi pada membran yang berisi unsur biologis seperti jaringan, jasad renik, organel, enzim, antibodi serta asam nukleat yang telah diimobilisasi. Sedangkan kemosensor adalah sensor yang berfungsi mengkonversi respon kimia ke dalam sinyal listrik tanpa melibatkan aktifitas enzimatik seperti pada biosensor. Saat ini telah berkembang sensor non-enzimatik untuk mendeteksi secara voltametri berbasis nanopartikel emas. Nanopartikel emas banyak digunakan dalam fabrikasi biosensor karena dengan ukuran

nano akan meningkatkan kecepatan *scanning* pada analit, selain itu nanopartikel emas memiliki kestabilan dalam mempertahankan bioaktivitas dari biomolekul (Sahadi, dkk.,2011).

Berdasarkan variabel yang diinderanya, sensor dikategorikan ke dalam dua jenis: sensor fisika dan sensor kimia. 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, biasanya dengan melibatkan reaksi kimia, contohnya sensor pH, sensor oksigen, sensor ledakan dan sensor gas (Djamal, dkk., 2011).

Terkait dengan perkembangan teknologi yang begitu luar biasa, pada saat ini banyak sensor telah diproduksi dengan ukuran sangat kecil, sehingga menjadikan sensor sangat mudah digunakan dan hemat energi. Sensor digunakan dalam kehidupan sehari-hari dalam berbagai bidang, seperti: automobile, mesin, farmasi, kedokteran, industri, robot maupun aerospace. Dalam lingkungan sistem kontrol dan robotika. Sensor memberi fungsi layaknya mata, pendengaran, hidung, maupun lidah yang kemudian akan diolah oleh *controller* sebagai otaknya (Luo, dkk., 2005).

Sensor kimia meliputi bagian penerima yang memiliki sensitivitas terhadap zat yang akan di deteksi yang dikenal dengan hidung sensor (*sensitive layer/nose parts/chemical interface*). Bagian berikutnya adalah transducer, yaitu bagian yang mampu mengubah hasil deteksi tersebut

menjadi sinyal elektrik. Berdasarkan teknologi yang digunakan untuk mengubah zat kimia dapat juga digunakan sebagai sensor elektroaktif yang menimbulkan sifat selektif dan spesifik terhadap suatu analit tertentu (Luo, dkk., 2005).

Biosensor adalah suatu sensor yang dapat digunakan untuk menelaah fungsi suatu material biologis atau jasad hidup, dan dapat juga digunakan untuk mengetahui berfungsinya jasad tersebut. Biosensor yang pertama kali dibuat adalah sensor gula darah (Chen, 2018). Gula darah yang berbentuk glukosa pada awalnya diukur secara kimiawi oleh para peneliti dari perusahaan Ames di Indiana, Amerika Serikat. Ernie Adams dan Anton Clemens adalah dua tokoh dalam pengembangan *paper strip* (potongan kertas) yang dapat berubah warna karena reaksi kimia dengan glukosa. Namun demikian, produk ini kurang populer karena banyak mengandung kelemahan seperti akurasi yang rendah dan kecepatan pengukuran yang lambat (Cash dan Clark, 2010).

Kebutuhan akan biosensor diperlukan sebagai perangkat analisis yang mampu merespons secara selektif terhadap sampel analit yang bersesuaian dan mengubah konsentrasinya menjadi sinyal listrik melalui sistem rekognisi yang merupakan kombinasi antara unsur biologis dan *transduser physic-chemical*. Biosensor dapat memberikan alternatif yang kuat dan mudah untuk strategi analitis konvensional untuk pengujian spesies kimia dalam matriks yang kompleks, biosensor dapat membedakan analit target dan sejumlah zat yang tidak dapat bereaksi dan berpotensi

mengintegrasikan proses kimiawi, kemudian mengidentifikasi sampel yang diujikan (Luo, dkk., 2005).

F. Voltammetrik

Voltammetrik merupakan metode elektrokimia yang mengukur arus sebagai fungsi potensial yang diterapkan. Voltammetri adalah salah satu jenis sensor elektrokimia yang mengamati kerja pada kurva arus potensial (Puranto, 2010). Hubungan antara arus terhadap potensial divisualisasikan dalam bentuk voltammogram. Sel voltammetri menggunakan sistem tiga elektroda, yaitu elektroda pembanding, elektroda pembantu dan elektroda kerja. Ketiga elektroda ini dicelupkan ke dalam sel voltammetri yang berisi analit (Maryanto dan Kurniawan, 2017).

Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi atau oksidasi dari analit. Potensial elektroda kerja dapat divariasikan terhadap waktu untuk mendapatkan reaksi yang diinginkan dari analit. Elektroda pembanding adalah elektroda yang potensialnya diketahui dan stabil. Potensial elektroda pembanding tidak terpengaruh oleh komposisi sampel. Elektroda kalomel jenuh (EKJ) atau Ag/AgCl merupakan elektroda pembanding yang umum digunakan. Elektroda pembantu yaitu elektroda yang digunakan untuk mengalirkan arus antara elektroda kerja dan elektroda pembanding, sehingga arus dapat diukur. Elektroda pembantu yang biasa digunakan adalah kawat platina yang bersifat inert (Maryanto dan Kurniawan, 2017).

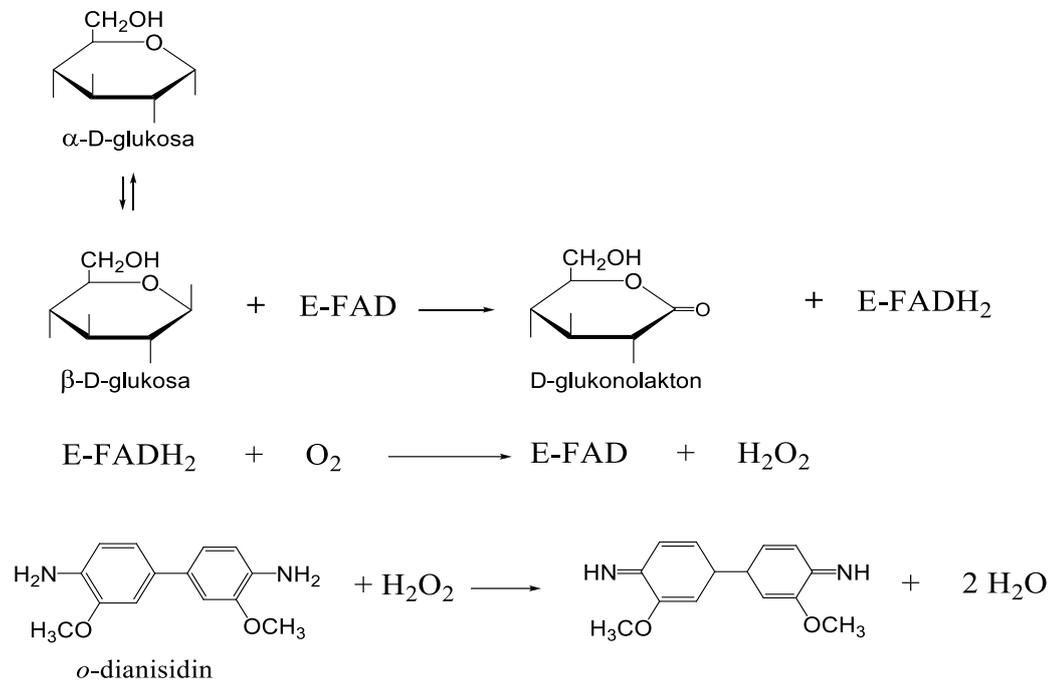
Reaksi reduksi atau oksidasi dari spesi analit yang elektroaktif pada permukaan elektroda kerja akan menghasilkan arus listrik yang terukur. Ada tiga macam arus yang dihasilkan pada teknik voltammetri, yaitu arus difusi, arus migrasi, dan arus konveksi. Arus difusi adalah arus yang disebabkan oleh perubahan gradien konsentrasi pada lapis tipis difusi dan besarnya sebanding dengan konsentrasi analit dalam larutan. Arus migrasi adalah arus yang timbul akibat gaya tarik elektrostatik antara elektroda dengan ion-ion dalam larutan. Arus konveksi adalah arus yang timbul akibat gerakan fisik, seperti rotasi atau vibrasi elektroda dan perbedaan rapat massa. Arus yang diharapkan pada pengukuran secara voltammetri adalah arus difusi, karena informasi yang dibutuhkan adalah konsentrasi analit. Arus konveksi diminimalisasi dengan tidak melakukan pengadukan sesaat sebelum pengukuran, untuk mempertahankan pengulangan pengukuran yang boleh dilakukan, dan menjaga agar temperatur larutan yang diukur tetap, arus migrasi juga diminimalisasi dengan cara penambahan larutan elektrolit pendukung (Oktaviani, dkk., 2015).

Penelitian Armah, dkk., (2014) melaporkan bahwa puncak oksidasi voltogram dari elektroda kerja yang tidak dilapisi nanopartikel perak tidak terlihat secara jelas dan cenderung tertumpuk. Hasil voltogram menunjukkan adanya ketidakteraturan pola arus yang terukur pada berbagai variasi konsentrasi glukosa, hal ini menunjukkan bahwa elektroda yang tidak dilapisi nanopartikel perak kurang sensitif terhadap glukosa, sehingga elektroda platina ini tidak bisa digunakan untuk analisis glukosa.

Elektroda kerja yang kedua dibuat dengan memodifikasi elektroda platina dengan menambahkan lapisan nanopartikel perak pada permukaan paling luar elektroda.

Penambahan nanopartikel perak pada elektroda dilakukan dengan mencelupkan elektroda platina pada asam poliakrilik yang berfungsi sebagai *house* sehingga memudahkan nanopartikel perak melekat pada permukaan elektroda platina. Berdasarkan pengamatan terlihat elektroda platina yang dilapisi nanopartikel perak mengalami perubahan. Permukaan elektroda menjadi lebih hitam, hal ini menunjukkan bahwa adanya pengendapan nanopartikel pada elektroda. Hasil voltagram pada elektroda kerja yang dilapisi nanopartikel perak tampak kenaikan arus seiring dengan peningkatan konsentrasi glukosa dari 3-10 mM.

Peningkatan arus ini disebabkan karena penggunaan nanopartikel emas dan atau perak pada sensor dapat meningkatkan transfer elektron secara langsung antara senyawa biomolekul (glukosa) dengan permukaan elektroda (Cash dan Clark, 2010; Sahadi, dkk., 2011). Biosensor pengukur gula darah yang menggunakan enzim glukosa oksidase untuk memecah gula darah dengan cara mengoksidasi glukosa menggunakan dua elektron atau mereduksi Flavin Adenin Dinukleotida (FAD) menjadi $FADH_2$, lalu dioksidasi oleh elektroda dan menerima dua elektron dari elektroda dalam beberapa tahap. Hasilnya adalah arus listrik yang mengukur konsentrasi glukosa (Pisoschi, 2012; Franks, 2012). Ilustrasi reaksi yang terjadi seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Penentuan kadar gula darah (Pisoschi,2012 dan Franks,2012)

G. Glukosa Darah

Glukosa dengan rumus molekul C₆H₁₂O₆ adalah monosakarida yang terpenting dan paling banyak terdapat di alam sebagai produk dari hasil fotosintesis (Asri, dkk., 2014). Glukosa adalah suatu aldohexosa dan sering disebut dekstrosa karena mempunyai sifat dapat memutar cahaya terpolarisasi ke arah kanan. Darah manusia normal mengandung glukosa dalam jumlah atau konsentrasi yang tetap, yaitu antara 70-100 mg tiap 100 mL darah. Glukosa darah ini bertambah setelah kita makan makanan sumber karbohidrat, namun kira-kira 2 jam setelah itu, jumlah glukosa darah akan kembali pada keadaan semula. Pada orang yang menderita diabetes

mellitus, jumlah glukosa darah lebih besar dari 130 mg per 100 mL darah (Poedjadi dan Supriyanti, 2012).

Monosakarida termasuk glukosa dianggap merupakan turunan dari gliseraldehida, yaitu gugus karbonil (aldehida) disubstitusi dengan gugus lain, sehingga menjadi D-Glukosa atau gula sederhana lain. Meskipun ada bentuk D dan L, tetapi monosakarida yang terdapat di alam pada umumnya dalam bentuk D dan jarang sekali dalam bentuk L (Winarno, 2004). Fungsi glukosa dalam tubuh adalah sebagai bahan bakar bagi proses metabolisme dan juga merupakan sumber energi utama bagi otak (Katz dan Avillion, 2017). Salah satu penyakit yang dapat diakibatkan oleh pengaruh kadar glukosa dalam tubuh adalah Diabetes Melitus (DM). Diabetes Melitus merupakan penyakit menahun yang ditandai oleh kadar gula darah yang tinggi, diabetes melitus ditandai dengan kadar glukosa darah sewaktu ≥ 200 mg/dL, dan kadar glukosa darah puasa ≥ 126 mg/dL (Katz dan Avillion, 2017).

Adapun karakteristik dari glukosa (Gambar 6) adalah sebagai berikut (Poedjadi dan Supriyanti, 2012):

Nama Lain: α -D-Glucopyranose, α -D-Glucose

Rumus Molekul: $C_6H_{12}O_6$

Berat molekul : 180 g/mol

Warna : putih atau tidak berwarna

Bau : tidak berbau

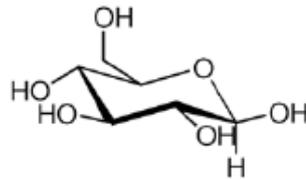
Bentuk : kristal

Titik leleh : 146°C

Titik didih : 79,2 °C

Kelarutan (Air) : 85,0 kg/ 100 kg H₂O

Kelarutan (Alkohol) : Larut sedikit (60% g/100mL)



Gambar 6. Struktur Glukosa

Pola makan moderen seperti sekarang yang tidak sehat, disertai intensitas makan yang tinggi dan stress yang menekan sepanjang hari, membuat kadar glukosa darah sangat sulit dikendalikan. Penderita diabetes melitus mengalami peningkatan kadar glukosa darah karena glukosa yang diserap dari makanan oleh usus yang kemudian masuk ke dalam darah tidak dapat dipindahkan ke dalam sel otot, ginjal, adiposity, dan tidak dapat diubah glikogen dan lemak. Keadaan tersebut terjadi akibat adanya kekurangan sekresi dan atau kerja insulin *glucose carrier* (pengangkut glukosa ke dalam sel) sehingga banyak glukosa yang tertimbun dalam darah atau terjadi hiperglikemia (Pasta, dkk., 2010). Fungsi glukosa dalam tubuh adalah sebagai bahan bakar bagi proses metabolisme dan juga merupakan sumber energi utama bagi otak (Katz dan Clark, 2017).

H. Tanaman Okra

Tanaman okra memiliki morfologi daun berbentuk lima jari dan tulang daunnya berbentuk sirip, tangkai daun sepanjang 10-25 cm, dan berbulu. Okra termasuk tumbuhan berumah satu (hermaprodit), pada setiap bunga terdapat satu putik dan benang sari. Bunga okra berbentuk terompet berwarna kekuningan dan bawahnya berwarna merah tua. Buahnya berbentuk silindris panjang seperti kapsul, berongga, berujung runcing, berparuh, dan bergerigi. Warna buah bervariasi, hijau muda, dan hijau tua atau hijau kekuningan, ungu atau kemerah-merahan, merah keungu-unguan, tergantung varietasnya. Panjang buah berkisar antara 15-20 cm. Buahnya banyak mengandung lendir (mucilage) (Benchasri, 2012).

Okra mengandung senyawa flavonoid (Luo, dkk., 2018 dan Lisnawati, 2016) yang berfungsi sebagai antioksidan. Buah Okra mengandung antioksidan (glutathione) yang bermanfaat untuk menjaga sel-sel agar tetap prima dan menangkal radikal bebas penyebab penyakit kanker. Okra dapat membantu menstabilkan kadar gula darah pada penderita diabetes (Yadav dan Garge, 2018), membantu tubuh untuk mengembangkan sistem kekebalan terhadap infeksi. Okra sering direkomendasikan oleh ahli gizi sebagai sumber makanan untuk membantu mengontrol kolesterol dan program penurunan berat badan (Liu, dkk., 2017). Okra juga merupakan jenis polong yang kaya akan zat lendir. Hal ini berguna untuk membantu dalam peristaltik kelancaran makanan yang

dicerna melalui usus, sehingga dapat membantu meredakan atau mencegah kondisi sembelit (Liu, dkk., 2017). Daun Okra mengandung protein, karbohidrat, vitamin C, thiamin, riboflavin, dan lain-lain (Benchasri, 2012).

Klasifikasi dari tanaman okra (Gambar 7) adalah sebagai berikut (Raditya dan Pranata, 2017) :

- Regnum : Plantae
- Divisi : Spermatophyta
- Kelas : Dicotyledoneae
- Ordo : Malvales
- Familia : Malvaceae
- Genus : *Abelmoschus*
- Species : *Abelmoschus esculentus* (L) Moench



Gambar 7. Tanaman Okra (*Abelmoschus esculentus* (L) Moench)
(Raditya dan Pranata, 2017)

I. Kerangka Pikir dan Hipotesis

1. Kerangka Pikir

Diabetes melitus sering disebut *the silent killer*, karena penyakit ini dapat mengenai semua organ tubuh dan menimbulkan beberapa macam keluhan (Lathifah,2017) dan ditandai dengan hiperglikemi atau peningkatan glukosa darah. Diabetes melitus merupakan salah satu penyakit tidak menular yang menyebabkan kematian pada semua kelompok usia di dunia. Di Indonesia sendiri terjadi peningkatan jumlah penderita diabetes mellitus sebesar 26,3% pada tahun 2013. Bagi penderita diabetes melitus, menjaga peningkatan glukosa darah dalam keadaan normal atau mendekati normal sangat penting, agar mengurangi risiko komplikasi lanjutan.

Dewasa ini, alat untuk mengecek kadar gula darah diperlukan supaya kadar gula darah tetap normal. Namun, karena alat tersebut belum dijangkau secara menyeluruh oleh masyarakat (Anwar, dkk., 2016). Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian yang intensif untuk mengembangkan pemenuhan biosensor yang mudah, akurat dan efektif dalam penggunaannya. Sehubungan dengan itu, salah satu penelitian yang dikembangkan adalah sensor untuk penentuan kadar gula darah (Chen, 2018).

Penelitian tentang sensor yang aktual adalah pengembangan sensor berbasis nanopartikel, baik emas maupun perak (Fatimah, 2016). Nanopartikel emas maupun perak digunakan karena dengan ukuran ini, akan meningkatkan kecepatan *scanning* pada analit, serta memiliki

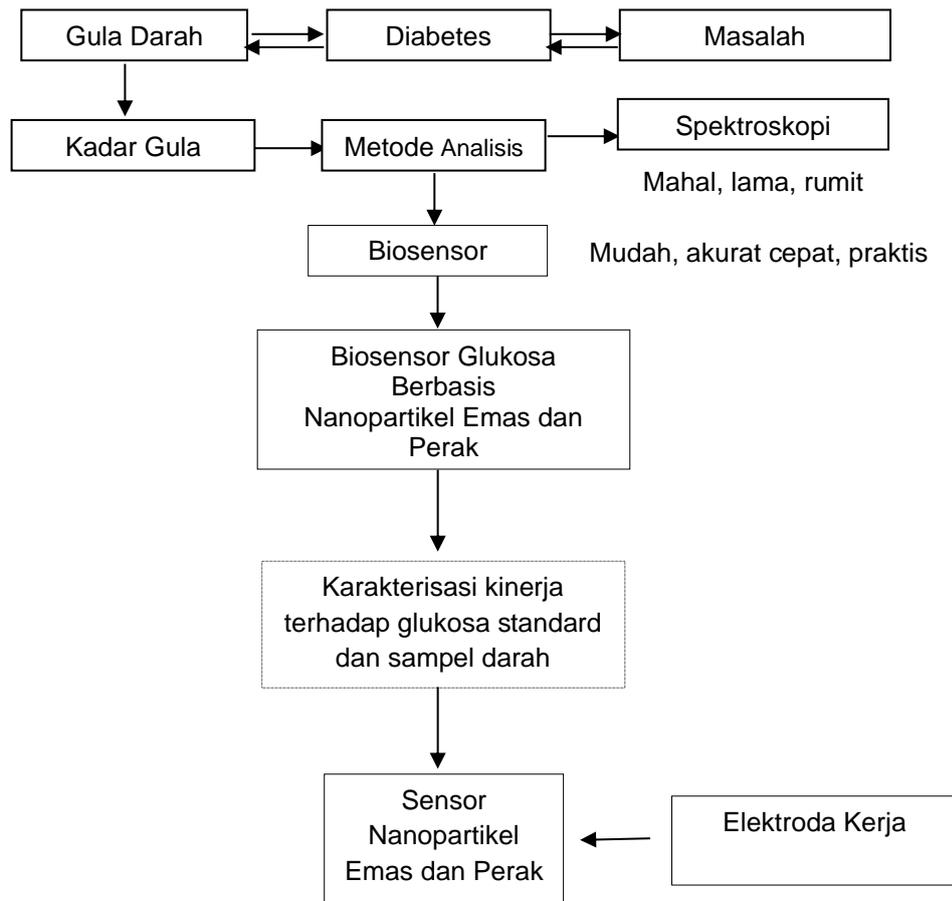
kestabilan dalam mempertahankan bioaktivitas dari biomolekul. Dalam penelitian ini nanopartikel emas dan perak disintesis dengan metode bioreduktor, karena memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode kimia dan fisika, yaitu ramah lingkungan, dan biayanya terjangkau.

Cara mensintesis nanopartikel telah ditemukan dengan memanfaatkan makhluk hidup sebagai agen pereduksi yang disebut dengan biosintesis nanopartikel. Biosintesis nanopartikel logam dengan memanfaatkan tumbuhan atau mikroorganisme sebagai agen pereduksi. Diantara metode tersebut yang paling banyak dikembangkan adalah biosintesis nanopartikel yang menggunakan ekstrak tanaman sebagai bioreduktor, karena ramah lingkungan, biaya yang rendah, tidak memerlukan tekanan, energi, dan temperatur yang tinggi serta tidak menggunakan bahan kimia yang beracun. Sedangkan penggunaan mikroba sebagai bioreduktor memerlukan pemeliharaan dan penanganan kultur yang sulit serta butuh waktu yang lama untuk proses sintesis.

Dewasa ini banyak tumbuhan ataupun tanaman yang potensial digunakan dalam sintesis nanopartikel baik emas maupun perak, salah satunya adalah tanaman okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Okra mudah tumbuh pada daerah tropis maupun subtropis. Kandungan senyawa flavonoid dan kandungan metabolit sekunder pada daun okra dapat digunakan sebagai bioreduktor, merupakan potensi besar dari nanopartikel yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sensor gula darah. Urgensi penelitian ini adalah merupakan terobosan terbaru untuk menghasilkan

sensor gula darah yang cepat, murah, dan mudah digunakan yang berbasis nanopartikel.

Diagram alir kerangka pikir biosensor kadar gula darah yang berbasis nanopartikel emas dan perak dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Kerangka Pikir Sensor Kadar Gula Darah Berbasis Nanopartikel Emas dan Perak

2. Hipotesis

- a. Ekstrak daun okra dapat digunakan untuk mereduksi ion Au^{3+} dan Ag^+ menjadi Au dan Ag yang berukuran nano.
- b. Emas dan perak yang disintesis dengan menggunakan ekstrak daun okra memenuhi kriteria sebagai nanopartikel.

- c. Nanopartikel emas dan perak dapat digunakan sebagai sensor kadar glukosa darah.
- d. Sensor kadar glukosa darah dapat ditentukan kinerjanya dengan metode voltametri.