

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Diabetes melitus atau lebih sederhana disebut diabetes, adalah kondisi kronis yang terjadi ketika kadar glukosa dalam darah meningkat karena tubuh tidak dapat memproduksi hormon insulin atau menggunakan insulin secara efektif. Insulin adalah hormon penting yang diproduksi di kelenjar pankreas tubuh, dan mengangkut glukosa dari aliran darah ke sel-sel tubuh di mana glukosa diubah menjadi energi. Kurangnya insulin atau ketidakmampuan sel untuk merespon insulin menyebabkan tingginya kadar glukosa darah atau hiperglikemia, yang merupakan ciri khas diabetes. Hiperglikemia jika dibiarkan dalam jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai organ tubuh hingga menyebabkan komplikasi kesehatan (International Diabetes Federation, 2017).

Diabetes merupakan penyebab kematian keempat di dunia. Kasus diabetes melitus di dunia sebanyak 90% didominasi oleh tipe 2 (Salsabila dan Sjaaf, 2022). International Diabetes Federation (2021) memprediksi peningkatan jumlah pasien diabetes melitus tipe 2 di Indonesia dari 19,5 juta jiwa pada tahun 2021 menjadi sekitar 28,6 juta jiwa pada tahun 2045.

Penderita diabetes melitus, baik tipe 1 maupun tipe 2 perlu untuk terus memantau kadar glukosa dalam darahnya sehingga berada dalam kisaran normal (Suyono dan Hambali, 2019). Berbagai macam sensor glukosa telah dikembangkan. Salah satu alat yang digunakan untuk memantau kadar glukosa darah adalah glukometer berbasis sensor kimia serta enzim *glucose oxidase* sebagai bahan aktifnya. Namun glukometer ini belum memenuhi prinsip *zero waste* karena masih menghasilkan tumpukan limbah medis berupa strip, alkohol *swab*, dan *lancet* sekali pakai (Sumarti et al., 2022).

Pada beberapa penelitian, nanopartikel digunakan untuk meningkatkan sensitivitas dan efisiensi transfer elektron dari sensor glukosa. Nanopartikel merupakan suatu teknologi desain dan pemanfaatan struktur material yang berdimensi nanometer. Nanomaterial ini memiliki luas permukaan yang tinggi dan konduktivitas listrik yang baik, sehingga secara efektif mampu mentransfer elektron yang dihasilkan oleh reaksi redoks glukosa ke permukaan elektroda yang digunakan (Kim et al., 2019). Sistem penghantar nanopartikel telah banyak dijumpai karena memiliki berbagai keuntungan, di antaranya dapat meningkatkan pelepasan berbagai zat aktif (Savitry dan Wathoni, 2018). Material nanopartikel yang banyak dimanfaatkan adalah yang memiliki ukuran 1-100 nm. Modifikasi material skala nanometer bertujuan untuk menciptakan materi yang memiliki ukuran, struktur, dan sifat yang lebih efektif dan efisien (Ariyanta, 2014). Beberapa kelebihan nanopartikel adalah kemampuan untuk menembus ruang-ruang antar sel. Selain itu, nanopartikel fleksibel untuk dikombinasikan dengan berbagai teknologi lain. Kemampuan ini membuka potensi luas untuk dikembangkan pada berbagai keperluan dan target.

Kelebihan lain adalah adanya peningkatan afinitas dari sistem karena peningkatan luas permukaan (Abdassah, 2017).

Pengembangan produk yang memanfaatkan nanoteknologi menjadi lebih menarik dan menantang karena cakupan aplikasi nanomaterial yang luas untuk formulasi beberapa produk di bidang optik, elektronik, sensor biologi dan katalis. (Kasim et al., 2020). Di antara nanopartikel logam mulia, nanopartikel perak adalah salah satu yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi. Perak merupakan elemen khusus yang memiliki konduktivitas termal dan listrik yang tinggi sehingga dapat dikembangkan ke dalam produk yang berbasis sensor terutama sensor kimia. Perak mampu menghantarkan elektron-elektron yang dihasilkan dari reaksi redoks pada sensor kimia. Sebagai logam mulia, perak sangat tahan terhadap korosi. Salah satu keunggulan dari segi produksi nanopartikel perak adalah harga bahan bakunya yang cukup murah dibandingkan dengan logam mulia lainnya seperti emas dan platina (Dwandaru dan Janah, 2018).

Secara umum, sintesis nanomaterial dapat dilakukan dengan dua pendekatan. Pendekatan pertama dilakukan dengan cara memecah partikel yang berukuran besar menjadi partikel yang memiliki ukuran nanometer yang disebut dengan pendekatan *top-down* atau metode fisika. Pendekatan yang kedua dilakukan dengan cara menyusun atom demi atom atau molekul demi molekul menjadi suatu ukuran yang diinginkan, pendekatan ini disebut dengan pendekatan *bottom-up* atau metode kimia. Metode reduksi kimia adalah yang paling banyak diterapkan dibandingkan dengan metode lainnya (Marinescu et al., 2020). Namun, banyak efek samping yang dikaitkan dengan penggunaan bahan kimia dalam metode sintesis karena adanya beberapa bahan kimia beracun yang diserap di permukaan nanomaterial yang dihasilkan. Alternatif ramah lingkungan untuk metode ini adalah sintesis nanopartikel menggunakan mikroorganisme, enzim, jamur, dan tanaman atau ekstrak tumbuhan yang disebut dengan biosintesis (Hasan, 2014). Penggunaan bahan ramah lingkungan tersebut memberikan manfaat terhadap keamanan lingkungan serta cocok untuk aplikasi biomedis dan farmasi, karena dalam proses sintesisnya tidak menggunakan bahan kimia beracun (Wendri et al., 2017). Biosintesis menggunakan ekstrak dari tumbuhan lebih sederhana dibandingkan dengan menggunakan mikroorganisme karena tidak perlu menyiapkan media mikroorganisme atau kultur sel yang prosesnya cukup rumit (Rupiasih et al., 2013). Keuntungan lain dari metode biosintesis adalah ketersediaan beragam sumber daya hayati, waktu yang dibutuhkan berkurang, dan stabilitas yang cukup tinggi. Oleh karena itu, biosintesis nanopartikel membuka banyak peluang untuk penggunaan bahan yang dapat terbiodegradasi (Khan, 2018).

Pemanfaatan tumbuhan dalam biosintesis nanopartikel berkaitan dengan kandungan senyawa metabolit sekunder yang memiliki aktivitas antioksidan. Ekstrak tumbuhan yang mengandung metabolit sekunder dapat bertindak sebagai reduktor dan agen penstabil dalam sintesis nanopartikel. Sifat ekstrak tumbuhan mempengaruhi jenis nanopartikel yang disintesis, selain itu sumber ekstrak tumbuhan menjadi faktor paling penting yang mempengaruhi morfologi nanopartikel yang disintesis (Mukhundan dan Balaji 2012).

Jenis tumbuhan yang mengandung bahan reduktor alami cukup melimpah dan mudah didapatkan di wilayah Indonesia (Fazrin et al., 2020). Salah satu tumbuhan yang dapat digunakan sebagai bioreduktor dalam proses biosintesis nanopartikel adalah daun sirsak (*Annona muricata* L.). Menurut hasil skrining fitokimia kualitatif yang dilakukan oleh Qorina et al., (2019) menunjukkan bahwa pada daun sirsak terdapat metabolit sekunder berupa flavonoid, steroid, tanin, dan alkaloid. Salah satu senyawa flavonoid penting yang ditemukan dalam daun *Annona muricata* L. adalah kuersetin. Kuersetin termasuk ke dalam golongan flavonoid yang memiliki aktivitas biologis yang kuat. Struktur kuersetin yang mengandung sistem ikatan rangkap terkonjugasi dengan lima gugus hidroksil, mengarah pada kapasitas reduksi yang tinggi sehingga mampu berperan sebagai bioreduktor ion Ag^+ dari AgNO_3 menjadi Ag^0 (Terenteva et al., 2015).

Hasil penelitian Badmus et al., (2020) menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang disintesis dengan ekstrak daun *Annona muricata* L. dan AgNO_3 dengan perbandingan 1:40 menghasilkan nanopartikel perak berukuran rata-rata 87,78 nm. Adanya pita serapan pada daerah IR yang sesuai dengan gugus hidroksil yang mungkin dimiliki oleh polifenol seperti fenol dan flavonoid membuktikan bahwa senyawa tersebut dapat berpartisipasi dalam proses reduksi nanopartikel perak. Suci (2019) melakukan penelitian dengan menguji respon sensor nanopartikel emas sebagai sensor glukosa darah dan dihasilkan limit deteksi sebesar 7,5 mM dan masih tergolong tinggi sehingga belum dapat mendeteksi glukosa darah dengan konsentrasi rendah.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian dengan mensintesis nanopartikel perak menggunakan prekursor AgNO_3 dan bioreduktor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) untuk mengetahui potensinya sebagai nanosensor glukosa darah yang murah, sederhana, dan ramah lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. bagaimana potensi ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak?
2. bagaimana karakteristik nanopartikel perak yang disintesis dari ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) menggunakan spektrofotometer UV-Vis, XRD, FTIR, SEM, dan PSA?
3. bagaimana respon sensor berbasis nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) sebagai sensor glukosa darah?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mensintesis nanopartikel perak menggunakan bioreduktor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.).
2. menentukan karakteristik dari nanopartikel perak yang disintesis dari ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) menggunakan spektrofotometer UV-Vis, XRD, FTIR, SEM, dan PSA.
3. menguji respon sensor berbasis nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) sebagai sensor kadar glukosa darah.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi mengenai potensi ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) sebagai agen pereduksi dalam sintesis nanopartikel perak dan potensinya dalam penggunaan sensor glukosa darah serta diharapkan dapat menjadi alternatif produksi nanopartikel perak yang ramah lingkungan (*green synthesis*) karena mampu meminimalisir penggunaan bahan-bahan kimia yang berbahaya sekaligus limbahnya.

BAB II

TOPIK PENELITIAN I SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGUNAKAN EKSTRAK DAUN SIRSAK (*Annona muricata* L.) SEBAGAI BIOREDUKTOR

2.1 Abstrak

Latar belakang. Nanopartikel adalah partikel berukuran 1-100 nanometer. Modifikasi material skala nanometer bertujuan untuk menciptakan materi yang memiliki ukuran, struktur, dan sifat yang lebih efektif dan efisien. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanopartikel perak dengan menggunakan ekstrak *Annona muricata* L. sebagai bioreduktor. **Metode.** Penelitian ini dilakukan dengan mensintesis nanopartikel perak menggunakan metode biosintesis dengan memanfaatkan ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) sebagai bioreduktor kemudian dilakukan karakterisasi terhadap nanopartikel yang dihasilkan. **Hasil.** Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan sintesis nanopartikel perak dengan panjang gelombang puncak 430 nm. Analisis FTIR menunjukkan adanya keterlibatan senyawa bioaktif dari ekstrak daun *Annona muricata* L. dalam pembentukan dan stabilitas nanopartikel perak. Pengukuran PSA menunjukkan bahwa ukuran rata-rata nanopartikel perak adalah 64,9 nm. Pengukuran menggunakan SEM menunjukkan nanopartikel perak mayoritas nanopartikel perak berbentuk bola yang menggumpal menjadi partikel yang lebih besar. Analisis EDS menunjukkan bahwa perak (Ag) menyumbang 50,28% massa. Pemeriksaan lebih lanjut melalui XRD mengkonfirmasi bahwa nanopartikel perak memiliki struktur kristal kubik berpusat muka (FCC) dengan diameter berkisar antara 7.63 nm hingga 18.07 nm. **Kesimpulan.** Nanopartikel perak berhasil disintesis dengan metode biosintesis menggunakan daun sirsak (*Annona muricata* L.) sebagai bioreduktor.

Kata kunci: *Annona muricata* L., Biosintesis, Karakterisasi, Nanopartikel perak

2.2 Pendahuluan

Nanoteknologi secara umum dapat didefinisikan sebagai teknologi perancangan (desain), pembuatan dan aplikasi struktur/material yang berdimensi nanometer. Nanoteknologi tidak hanya terbatas pada cara menghasilkan material atau partikel yang berukuran nanometer, melainkan memiliki pengertian yang lebih luas termasuk cara memproduksi serta mengetahui kegunaan sifat baru yang muncul dari material nano yang telah dibuat (Ariyanta, 2014).

Nanopartikel adalah partikel berukuran 1-100 nanometer. Nanopartikel bertujuan untuk mengatasi kelarutan zat aktif yang sukar larut, memperbaiki bioavailabilitas yang buruk, memodifikasi sistem penghantaran obat, meningkatkan stabilitas zat aktif dan memperbaiki absorpsi (Abdassah 2017). Metode sintesis NPAg yang dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan metode *bottom-up* (kimia) maupun *top-down* (fisika). Metode *bottom-up* dilakukan dengan cara menggunakan bahan kimia yang umumnya sangat reaktif dan beracun serta menjadi polutan bagi lingkungan maupun makhluk hidup. Bahan kimia yang paling umum

digunakan dalam sintesis nanopartikel logam adalah natrium borohidrida, tiol, dan amina yang tidak dianggap sebagai pereaksi kimia ramah lingkungan karena potensi efek buruknya terhadap lingkungan (Adil et al., 2015). Sedangkan metode *top-down* merupakan proses mereduksi padatan logam perak menjadi partikel perak berukuran nano secara mekanik serta membutuhkan peralatan yang mahal (Nalawati, 2015).

Metode fisika yang digunakan untuk sintesis nanopartikel meliputi dekomposisi termal, iradiasi laser, dan elektrolisis. Misalnya pada metode dekomposisi termal, proses sintesis dilakukan pada suhu yang sangat tinggi. Kerugian dari metode fisika adalah biasanya memerlukan intensif energi serta sistem atau peralatan vakum yang mahal untuk menghasilkan partikel berukuran nano. Metode fisika dilakukan dengan cara memecah padatan logam menjadi partikel-partikel kecil berukuran nano sedangkan metode kimia dilakukan dengan cara membentuk partikel-partikel nano dari prekursor molekular atau ionik (Abdassah 2017).

Sintesis nanopartikel terus berkembang untuk menghasilkan nanopartikel dengan menggunakan metode ramah lingkungan atau *green chemistry* (Hashim, 2012). Sintesis biologis nanopartikel dilakukan dengan menggunakan biomaterial yang berbeda seperti bakteri, jamur, ragi, virus, mikroalga, makroalga, dan biomassa/ekstrak tumbuhan (Kuppusamy et al., 2014). Biomolekul dalam tanaman seperti terpenoid, flavonoid, keton, aldehid, protein, asam amino, vitamin, alkaloid, tanin, fenolat, saponin, dan polisakarida memainkan peran penting dalam reduksi logam. Biomassa tumbuhan dapat digunakan dalam bentuk bubuk atau sebagai ekstrak. Pada umumnya partikel/ekstrak biomassa tanaman dicampur dengan larutan garam logam pada suhu kamar dan pH yang diinginkan dengan atau tanpa agitasi. Dalam waktu singkat, sintesis partikel dalam bentuk nano akan selesai (Vijayaraghavan dan Ashokkumar, 2017).

Annona muricata L. adalah anggota dari keluarga *Annonaceae* juga dikenal sebagai sirsak, graviola dan guanabana, merupakan tumbuhan hijau yang sebagian besar tersebar di daerah tropis dan subtropis yang terdiri lebih dari 130 genera dan 2300 spesies. Masyarakat adat di Afrika dan Amerika Selatan secara ekstensif menggunakan tanaman ini dalam pengobatan tradisional. Berbagai penelitian telah mendukung aktivitas ini, termasuk aktivitas antikanker, antikonvulsan, antirematik, antiparasit, antimalaria, hepatoprotektif, dan antidiabetes (Moghadamtousi et al., 2015).

Lebih dari 200 fitokimia telah diidentifikasi dalam tanaman ini, terutama acetogenin, alkaloid dan fenol. Fitokimia ini telah menunjukkan aktivitas farmakologis seperti antimikroba, antioksidan, insektisida, larvasida, sitotoksitas selektif terhadap sel tumor, ansiolitik, antistres, antiulkus, penyembuhan luka, antiikterus, pelindung hepato, hipoglikemik, imunomodulator, dan antimalaria (Gavakumulya et al., 2017). Daun sirsak (*Annona muricata* L.) juga dapat dijadikan sebagai terapi alternatif yang berasal dari tanaman herbal untuk mencegah peningkatan kadar glukosa darah (Fadlilah et al., 2020).

Annona muricata L. mengandung flavonoid yang memiliki efek hipoglikemik dengan beberapa mekanisme yaitu dengan menghambat absorpsi glukosa,

meningkatkan toleransi glukosa, merangsang pelepasan insulin atau bertindak seperti insulin, meningkatkan ambilan glukosa oleh jaringan perifer serta mengatur enzim-enzim yang berperan dalam metabolisme karbohidrat (Brahmachari, 2011). Kadar flavonoid dari ekstrak daun sirsak menurut hasil penelitian Yani et al., (2023) adalah sebesar 68,9048 mgQE/g.

Terbentuknya koloid nanopartikel perak ditandai dengan perubahan warna larutan dari bening menjadi kuning kecokelatan. Selain itu, untuk memastikan terbentuknya NPAg dapat diamati menggunakan spektrofotometer UV-Vis di mana NPAg memiliki panjang gelombang maksimum pada kisaran 400-500 nm (Nalawati, 2015). Hasil penelitian Pedroza et al., (2021) memperoleh nilai absorbansi maksimum untuk NPAg yang disintesis dengan ekstrak kulit *Annona muricata* L. pada 448 nm dengan ukuran rata-rata di bawah 50 nm berbentuk bulat. Dalam pengujian kolorimetri, NPAg memiliki beberapa keunggulan dibandingkan nanopartikel emas. Salah satunya, NPAg memiliki koefisien absorpsi molar yang lebih tinggi dibandingkan nanopartikel emas pada ukuran yang sama sehingga karakteristiknya menggunakan spektrofotometer UV-Vis akan lebih tampak (Hasan, 2014).

Nanopartikel perak hasil biosintesis dapat dikarakterisasi menggunakan beberapa instrumen lainnya seperti *Particle Size Analyzer* (PSA), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Fourier transform infrared* (FTIR). Instrumen *Particle Size Analyzer* (PSA) memanfaatkan sebuah sumber cahaya dan detektor, umumnya memakai detektor berupa tabung *photomultiplier* dan fotodiode. Selain analisis ukuran partikel, instrumen tersebut seringkali dilengkapi dengan pengukuran bobot molekul dan potensial zeta (Anindya, 2018). Pengujian PSA dilakukan dengan menggunakan metode basah yang menggunakan media pendispersi untuk mendispersikan material uji. Partikel didispersikan ke dalam media sehingga partikel tidak saling beraglomerasi (menggumpal). Dengan demikian ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle*. Selain itu hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga hasil pengukuran dapat diasumsikan sudah menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Mufid, 2016).

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, orientasi, dan cacat kristal (Bunaciu et al., 2015). Difraksi sinar-X merupakan salah satu metode yang dipakai untuk mengetahui kristalinitas pada bahan, mengukur dimensi partikel serta parameter struktur kristal. Dalam teknik ini, sinar-X yang bersifat elastis dihamburkan oleh atom-atom dalam kisi periodik, dan hamburan monokromatis ini menghasilkan interferensi konstruktif yang membentuk pola difraksi (Hastuti, 2011). Identifikasi material didapatkan dengan membandingkan grafik difraksi sinar-X (difraktogram) dengan database yang dikembangkan lembaga *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (Munasir et al., 2012).

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah instrumen yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek sehingga menghasilkan citra (*image*) dari objek itu. *Image* yang paling sering dihasilkan oleh SEM ada dua jenis, yaitu permukaan sampel dan pemetaan komposisi sampel. SEM umumnya digunakan untuk melihat objek yang sangat kecil (skala nano). *Image* yang dihasilkan dari SEM berupa Gambar hitam putih (tanpa warna), hal ini disebabkan karena panjang gelombang yang dihasilkan oleh *electron probe* (elektron pemindai) tidak berada pada spektrum cahaya tampak (Masta, 2020).

Fourier transform infrared (FTIR), merupakan salah satu instrumen yang banyak digunakan untuk mengetahui vibrasi molekul yang dapat digunakan untuk memprediksi struktur senyawa kimia (Sulistiyani dan Huda, 2018). Radiasi inframerah mengandung beberapa rentang frekuensi tetapi tidak dapat dilihat oleh mata. Pengukuran pada spektrum inframerah dilakukan pada daerah inframerah tengah (*mid-infrared*) yaitu pada panjang gelombang 2.5 - 50 μm atau bilangan gelombang 4000 - 200 cm^{-1} . Energi yang dihasilkan oleh radiasi ini akan menyebabkan vibrasi atau getaran pada molekul. Pita absorpsi inframerah sangat khas dan spesifik untuk setiap tipe ikatan kimia atau gugus fungsi. Metode ini sangat berguna untuk mengidentifikasi senyawa organik dan organometalik (Dachriyanus, 2004).

Berdasarkan tinjauan di atas maka dilakukan biosintesis nanopartikel perak dengan menggunakan ekstrak *Annona muricata* L. sebagai bioreduktor kemudian dikarakterisasi dengan instrumen Spektrofotometer UV-Vis, *Particle Size Analyzer* (PSA), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Fourier transform infrared* (FTIR).

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 hingga Februari 2024 di Laboratorium Kimia Analitik, Laboratorium Kimia Terpadu Departemen Kimia, dan Laboratorium Pengembangan Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi ITB, dan Department of Molecular Science and Engineering National Taipei University.

2.3.2 Bahan dan Alat Penelitian

2.3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: daun sirsak (*Annona muricata* L.), glukosa anhidrat, AgNO_3 (Merck), NaOH 0,1 M, asam poliakrilat (Sigma Aldrich), kertas Whatman No. 42, aluminium foil, kertas pH universal, akuades, akuabides dan *cling wrap*.

2.3.2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-2600, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) HITACHI S-4800, FTIR Shimadzu IR Prestige 21, *Particle Size Analyzer* (PSA) HORIBA SZ-100, *X-RAY Diffraction* (XRD) PANalytical X'Pert3 Powder, *magnetic stirrer*, neraca analitik, *hot plate*, *centrifuge*, *freeze dryer*, labu semprot, neraca digital, dan alat-alat gelas yang pada umumnya digunakan di laboratorium.

2.3.3 Metode Penelitian

2.3.3.1 Pembuatan larutan AgNO_3 2 mM

Larutan AgNO_3 1 mM dibuat dengan melarutkan 0,17 gram serbuk AgNO_3 dengan akuabides ke dalam labu ukur 500 mL. Selanjutnya, larutan perak nitrat dihomogenkan dan dapat langsung digunakan (Payapo et al., 2016).

2.3.3.2 Pembuatan larutan asam poliakrilat (PAA) 1%

Larutan PAA 1% dibuat dengan menimbang 1 gram asam poliakrilat dan dilarutkan dengan akuabides ke dalam labu ukur 100 mL hingga tanda batas dan dihomogenkan (Payapo et al., 2016).

2.3.3.3 Pembuatan larutan glukosa standar

Larutan glukosa standar 0,1 M dibuat dengan cara melarutkan 1,8 gram glukosa anhidrat dengan 100 mL akuades. Selanjutnya dilakukan pengenceran untuk mendapatkan konsentrasi glukosa dengan variasi konsentrasi antara 1-11 mM (Yasser, 2013).

2.3.3.4 Pembuatan ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.)

Daun sirsak dipetik dan dicuci bersih dengan akuades. Selanjutnya dikeringanginkan pada suhu ruang dan dihaluskan. Daun sirsak kemudian ditimbang sebanyak 5 g dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Ditambahkan 100 mL akuabides, kemudian dipanaskan hingga mendidih selama 15 menit. Didinginkan sampai mencapai suhu ruang lalu disaring dengan menggunakan kertas Whatman No. 42 (Taba et al., 2019).

2.3.3.5 Optimasi konsentrasi AgNO_3

Larutan AgNO_3 0,5; 1; 1,5 dan 2 mM dipipet sebanyak 40 mL dan masing-masing larutan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian 2 mL ekstrak daun sirsak ditambahkan ke dalam erlenmeyer tersebut. Campuran diaduk dengan pengaduk magnetik selama 15 menit, kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-2600 (Taba et al., 2019).

2.3.3.6 Optimasi komposisi AgNO₃ 1,5 mM

Ekstrak daun sirsak sebanyak 2 mL dipipet dan dimasukkan masing masing ke dalam empat erlenmeyer 250 mL, kemudian larutan AgNO 1,5 mM sebanyak 10, 20, 30, dan 40 mL ditambahkan ke dalam masing-masing erlenmeyer. Campuran diaduk dengan pengaduk magnetik selama 15 menit, panjang gelombang dan absorbansi diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-2600 (Taba et al., 2019).

2.3.3.7 Sintesis nanopartikel perak

Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan mencampurkan larutan AgNO₃ dan air rebusan daun sirsak. Sebanyak 2 mL air rebusan daun sirsak dicampurkan ke dalam 20 mL larutan AgNO₃ 1,5 mM kemudian ditambahkan larutan PAA 1% sebanyak 2 mL lalu diaduk selama 2 jam hingga terbentuk warna kecoklatan (Payapo et al., 2016). Sintesis dilakukan pada suhu 45 °C dan pH 9 dengan penambahan NaOH (Kredy, 2018) Panjang gelombang dan absorbansi diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-2600 pada hari 2-8.

2.3.3.8 Karakterisasi nanopartikel perak

Karakterisasi nanopartikel perak dengan spektroskopi UV-Vis. Larutan nanopartikel perak yang terbentuk dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada hari ke 2-8 untuk menentukan waktu optimum dan melihat kestabilan nanopartikel perak yang dihasilkan. Koloid nanopartikel perak dikarakterisasi dengan cara mengukur panjang gelombang dan absorpsi maksimum dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-2600 pada daerah panjang gelombang 400 - 500 nm (Noruzi, 2015).

Karakterisasi nanopartikel perak dengan *Particle Size Analyzer (PSA)*. Larutan koloid nanopartikel perak diuji ukuran partikelnya dengan menggunakan PSA HORIBA SZ-100.

Karakterisasi nanopartikel perak dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*. Larutan nanopartikel perak yang telah terbentuk disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 30 menit. Padatan nanopartikel perak yang dihasilkan kemudian dikeringkan dengan menggunakan *freeze dryer*. Sampel padatan nanopartikel perak kemudian dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction (XRD)* PANalytical X'Pert3 Powder (Emery, 2016).

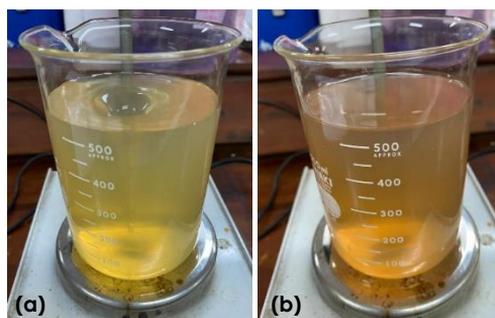
Karakterisasi nanopartikel perak dengan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*. Sampel padatan diambil untuk dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)* HITACHI S-4800.

Karakterisasi nanopartikel perak dengan *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*. Sampel padatan diambil untuk dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* Shimadzu IR Prestige 21.

2.4 Hasil dan Pembahasan

2.4.1 Sintesis nanopartikel perak

Pengamatan terbentuknya nanopartikel perak dapat dilakukan dengan mengamati perubahan warna larutan yang semula berwarna hijau menjadi kecokelatan (Gambar 1) menandakan terjadinya reduksi Ag^+ menjadi Ag^0 . Hasil ini sesuai dengan yang dilaporkan peneliti sebelumnya, diantaranya Badmus et al., (2020) yang memperoleh nanopartikel berwarna coklat tua sebagai hasil pembentukan nanopartikel perak.



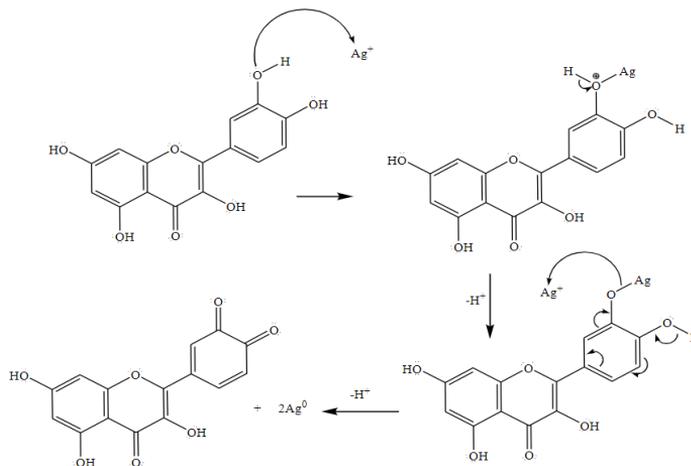
Gambar 1. Perubahan warna NPAg setelah (a) 0 menit dan (b) 120 menit

Ekstrak tanaman mengandung zat fitokimia yang mampu mengubah ion perak (Ag^+) menjadi NPAg. Proses pembentukan dan pertumbuhan NPAg terjadi ketika ion Ag^+ direduksi menjadi Ag^0 oleh ekstrak tanaman, yang terlihat dari perubahan warna larutan dan dapat dikonfirmasi melalui analisis menggunakan spektroskopi UV-Vis berdasarkan pergeseran panjang gelombang dan absorbansi (Reddy et al., 2021). Salah satu kelemahan nanopartikel perak adalah tingkat stabilitasnya yang rendah karena permukaannya mudah beragregasi (Badiah, 2021). Stabilitas NPAg memegang peranan yang sangat penting terutama ketika nanopartikel tersebut dikarakterisasi dan diaplikasikan ke dalam sebuah produk. Kecenderungan NPAg untuk teraglomerasi menyebabkan distribusi ukuran partikel koloid tidak merata (Prasetyaningtyas dkk., 2020). Penambahan asam poliakrilat pada campuran larutan dan ekstrak tanaman penting untuk menjaga stabilitas koloid nanopartikel, bukan untuk mengatur ukuran partikel tetapi untuk mencegah penggumpalan nanopartikel yang disintesis (Madkour et al., 2019).

Senyawa fenolik seperti flavonoid dan tanin memiliki gugus -OH dan karbonil yang dapat mengikat logam. Gugus fungsi ini bekerja dengan cara mendonorkan elektron ke ion Ag^+ untuk menghasilkan partikel nano Ag. Adanya senyawa-senyawa fitokimia dalam tanaman seperti senyawa polifenol dan flavonoid yang kaya akan gugus -OH, menyebabkan NPAg yang terbentuk stabil (Purnamasari et al., 2021). Nanopartikel perak terbentuk karena kemampuan dari senyawa metabolit sekunder, misalnya senyawa kuersetin yang termasuk ke dalam golongan flavonoid untuk mereduksi ion perak (Ag^+) menjadi Ag^0 . Proses ini terjadi karena adanya transfer elektron dari kuersetin menuju ion logam. Muatan negatif dari pelepasan gugus H pada kuersetin akan diadsorpsi oleh nanopartikel perak sehingga antar nanopartikel perak akan saling bertolakan karena adanya muatan negatif di sekeliling

permukaannya. Ketika berada dalam bentuk ionnya, Ag akan saling tolak-menolak karena pengaruh muatan sejenis, namun setelah direduksi menjadi Ag^0 maka muatan atom Ag akan menjadi netral sehingga memungkinkan antar atom untuk saling mendekat dan berinteraksi satu sama lain membentuk *cluster* yang berukuran nano (Fatimah, 2019).

Biosintesis nanopartikel perak menggunakan kuersetin sebagai zat pereduksi menurut reaksi yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Struktur kuersetin mengandung sistem ikatan rangkap terkonjugasi dengan lima gugus hidroksil, yang menyebabkan kapasitas reduksi yang tinggi. Reduksi ion Ag untuk membentuk nanopartikel dipantau dengan perubahan warna dan spektrofotometer UV-Vis (Terenteva et al., 2015).

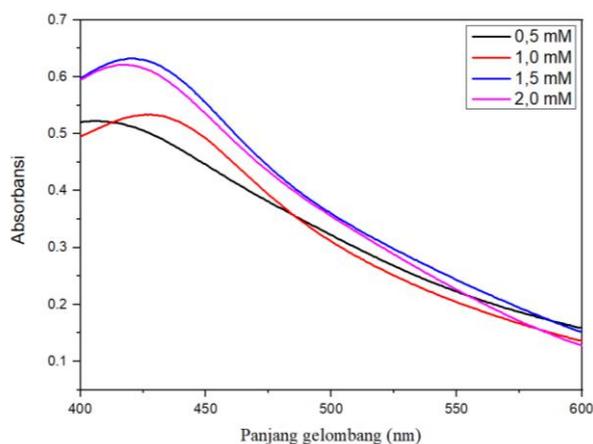


Gambar 2. Mekanisme reduksi ion perak menjadi NPAg oleh molekul kuersetin

Reaksi redoks yang ditunjukkan pada Gambar 2 mengilustrasikan produksi dua proton per katekol, yaitu satu molekul kuersetin mereduksi dua ion perak. $AgNO_3$ dalam akuades terdisosiasi menjadi ion perak (Ag^+) dan ion nitrat (NO_3^-). Kuersetin bereaksi dengan Ag^+ sebagai asam melalui gugus hidroksil paling reaktif yang terikat pada atom karbon cincin aromatik yang dapat mereduksi ion perak menjadi nanopartikel perak dan memberikan stabilitas terhadap aglomerasi (Mirgorod et al., 2013). Kuersetin memiliki kemampuan reduksi yang baik, yang membuatnya efektif dalam mereduksi logam ion menjadi nanopartikel. Hal ini karena adanya gugus hidroksil dan oksigen dalam struktur kuersetin yang dapat bertindak sebagai agen reduktor. Selain itu, kuersetin dapat membantu menstabilkan nanopartikel yang terbentuk dan mencegah aglomerasi, sehingga menjaga ukuran dan distribusi nanopartikel yang lebih seragam (Pal et al., 2013).

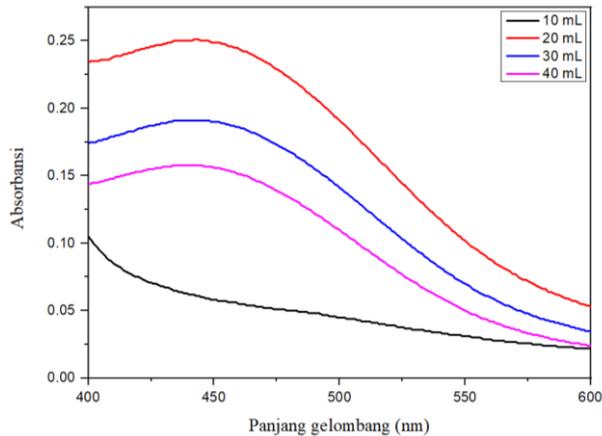
2.4.2 Karakterisasi nanopartikel perak

Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Gambar 3 menunjukkan bahwa dari masing-masing konsentrasi yang dianalisis terbentuk nanopartikel perak yang ditandai dengan adanya puncak serapan dan panjang gelombang pada rentang 400-500 nm. Hasil optimasi terbaik terbentuk pada konsentrasi 1,5 mM dengan puncak serapan tertinggi yaitu 0,632 dan panjang gelombang 420 nm dibandingkan dengan variasi konsentrasi yang lain. Semakin besar nilai absorbansi maka jumlah nanopartikel yang terbentuk juga semakin besar, sehingga konsentrasi 1,5 mM AgNO_3 digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini. Absorbansi yang lebih tinggi mencerminkan jumlah senyawa yang lebih besar yang menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa aktif atau partikel telah mencapai nilai maksimal yang dapat diukur secara optimal (Skoog et al., 2013). Konsentrasi yang memberikan absorbansi tertinggi cenderung memiliki jumlah nanopartikel yang lebih banyak, menunjukkan efisiensi penyerapan cahaya yang lebih tinggi yang dapat meningkatkan interaksi plasmon permukaan (Jain et al., 2006).

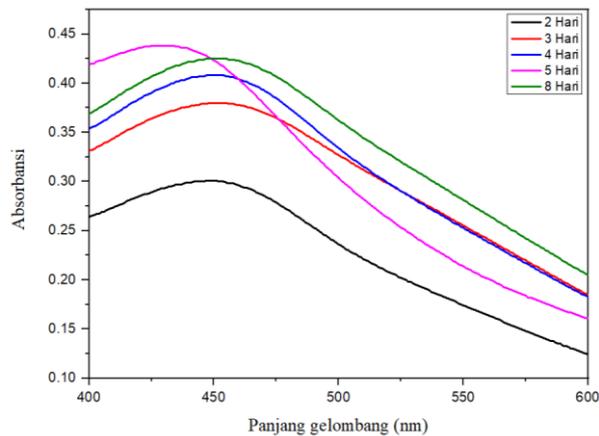


Gambar 3. Spektrum UV-Vis konsentrasi optimum AgNO_3

Hal yang sama dilakukan untuk menentukan komposisi optimum AgNO_3 yang digunakan. Hasil optimasi komposisi dengan absorbansi tertinggi ditunjukkan pada Gambar 4 yaitu pada 20 mL dengan serapan tertinggi 0,251 pada panjang gelombang 443 nm, sehingga volume AgNO_3 1,5 mM yang digunakan pada penelitian ini adalah 20 mL.



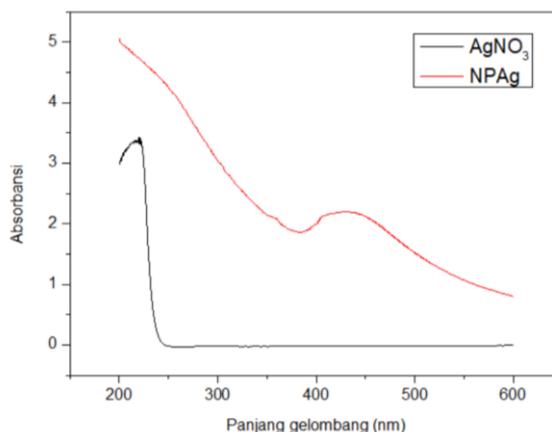
Gambar 4. Spektrum UV-Vis komposisi optimum AgNO_3



Gambar 5. Spektrum UV-Vis waktu optimum pembentukan NPAg

Kestabilan koloid nanopartikel perak hasil sintesis dapat diketahui dengan melakukan pengukuran spektrum serapan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis berdasarkan fungsi waktu. Gambar 5 menunjukkan terjadinya kenaikan absorbansi NPAg pada hari kedua hingga hari kelima yang mencapai 0,438 pada panjang gelombang 430 nm dan mengalami penurunan pada hari kedelapan sehingga dapat disimpulkan bahwa nanopartikel perak yang dihasilkan mencapai absorbansi optimum setelah inkubasi selama 5 hari. Penurunan absorbansi pada hari kedelapan disebabkan oleh terjadinya agregasi yang membentuk partikel-partikel berukuran lebih besar sehingga luas permukaan partikelnya menurun yang sejalan dengan menurunnya absorbansi. Perbedaan panjang gelombang pada hari kelima dibandingkan hari pertama hingga keempat mungkin disebabkan karena nanopartikel perak cenderung mengalami pertumbuhan atau agregasi dari waktu ke

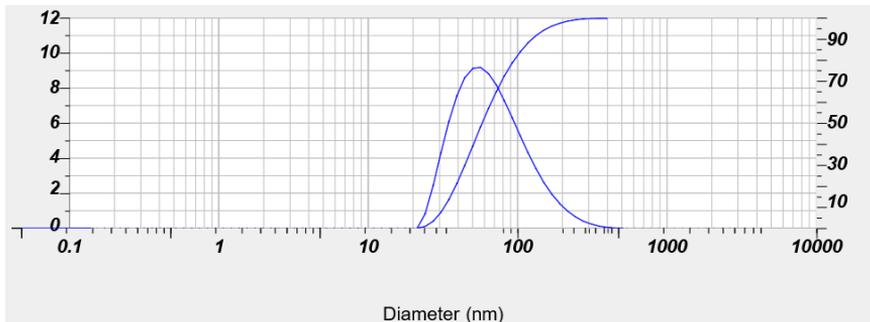
waktu, yang dapat mengubah karakteristik optiknya. Pada hari kelima, mungkin terjadi perubahan yang signifikan dalam ukuran atau distribusi partikel yang menyebabkan puncak absorbansi bergeser. Selama proses sintesis nanopartikel, agregasi atau pertumbuhan ukuran partikel dapat terjadi pada hari-hari tertentu. Hal ini dapat mempengaruhi interaksi plasmon permukaan yang menghasilkan pergeseran panjang gelombang. Hari kelima mungkin merupakan momen kritis di mana terjadi perubahan signifikan dalam ukuran atau struktur nanopartikel. Perubahan lingkungan kimia atau fisik juga dapat menyebabkan redistribusi atau restrukturisasi partikel, sehingga menggeser panjang gelombang plasmonnya. Fenomena ini sering dikaitkan dengan proses stabilisasi struktur nanopartikel (Nguyen et al., 2023; Amirjani et al., 2019).



Gambar 6. Spektrum UV-Vis ekstrak *Annona muricata* L., AgNO₃, dan NPAg

Pergeseran panjang gelombang jelas terlihat antara larutan AgNO₃ dan larutan NPAg. Pita *Surface Plasmon Resonance* (SPR) adalah pita serapan pada spektrum tampak yang unik pada nanopartikel perak (NPAg) dan diperkirakan disebabkan oleh eksitasi elektron bebas (Siddiqui., 2023). Fenomena ini terjadi di dalam nanopartikel, dengan frekuensinya bergantung pada variabel seperti bentuk nanopartikel, dimensi, dan lingkungan di sekitarnya (Talab et al., 2024). Dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, analisis SPR digunakan untuk melihat pembentukan dan stabilitas nanopartikel perak (NPAg) dalam larutan. NPAg yang dihasilkan dikarakterisasi dengan perubahan resonansi dan *bandwidth* (Kayode et al., 2022). Spektrum serapan UV-Vis NPAg ditunjukkan pada Gambar 6. Panjang gelombang maksimum secara signifikan berubah dari 220 nm menjadi 430 nm ketika ekstrak daun *Annona muricata* L. yang ditambahkan ke dalam larutan prekursor AgNO₃. Perubahan ini menunjukkan bahwa nanopartikel perak berhasil disintesis dengan menggunakan ekstrak daun *Annona muricata* L. sebagai bioreduktor. Rentang panjang gelombang karakteristik 400-480 nm adalah panjang gelombang di mana puncak serapan nanopartikel perak dapat diamati (Nagarajan et al., 2019).

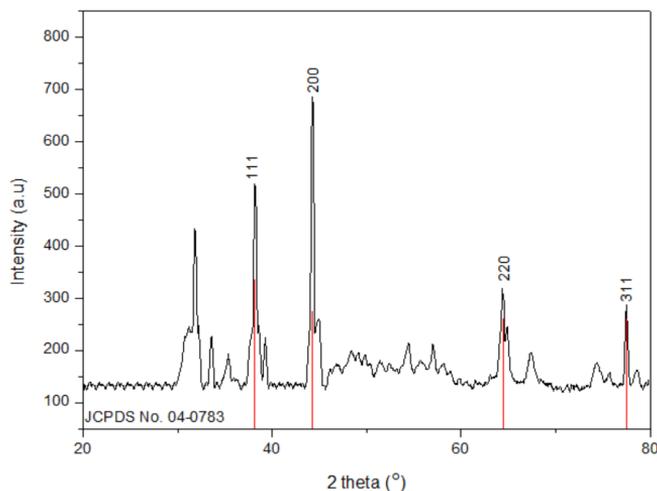
Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).



Gambar 7. Hasil pengukuran PSA nanopartikel perak

Setelah 5 hari, hasil analisis nanopartikel perak (Gambar 7) menunjukkan bahwa diameter rata-rata partikel dalam distribusi ukuran adalah 64,9 nm dengan nilai indeks polidispersitas (PI) sebesar 0,256. Nilai PI di bawah 0,7 menunjukkan dispersi yang homogen (Pratiwi et al., 2024). Nanopartikel dinyatakan tidak mengalami agregasi ketika larutannya tidak mengalami perubahan warna yang ekstrem, tidak muncul endapan dan tidak mengalami perubahan selama masa penyimpanan. Semakin lama waktu penyimpanan nanopartikel dan tidak terjadi agregasi maka semakin baik kestabilannya (Jannah dan Amaria, 2020).

Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD)



Gambar 8. Difraktogram nanopartikel perak

Difraksi sinar-X adalah metode yang berpengaruh dan non-invasif yang digunakan untuk karakterisasi mineral, menawarkan aplikasi yang luas di berbagai domain

termasuk penentuan struktur dan ukuran kristal, identifikasi fasa, analisis orientasi kristalografi, dan penentuan parameter kisi (Lee, 2017). Puncak difraksi pada sudut 2θ , yang mewakili 38.15° , 44.27° , 64.50° , dan 77.24° , terlihat pada Gambar 8 yang sesuai dengan indeks Miller (111), (200), (220), dan (311) untuk struktur kubik berpusat muka (FCC) perak yang tersedia dalam *Joint Committee Powder Diffraction Imaging Standard* (JCPDS) (Ali et al., 2023). Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian Junaidi et al., (2021) bahwa struktur kristal logam perak adalah FCC (Face Centered Cubic).

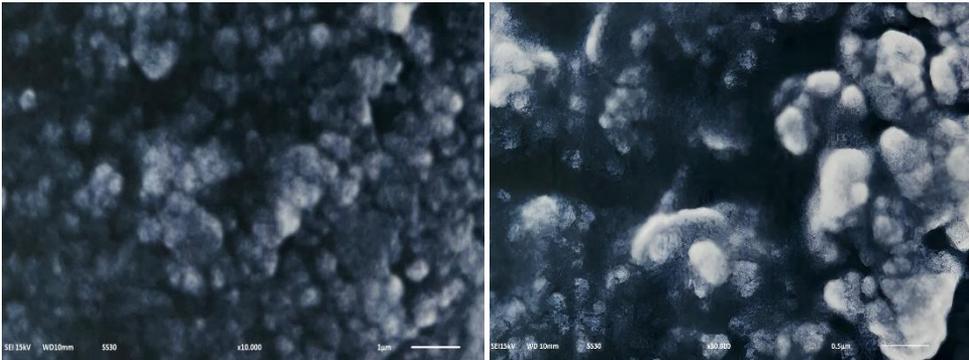
Pada struktur kristal FCC, terdapat satu atom di delapan sudut kubus dan satu di tengah masing-masing dari enam sisi (The British Institute of Non-Destructive Testing, 2013). Struktur ini umumnya ditemukan pada logam karena efisiensi pengemasannya yang optimal dan jumlah atom tetangga terdekatnya yang maksimal, yang dapat meningkatkan stabilitasnya. Oleh karena itu, struktur ini sering disebut sebagai struktur kubik rapat (University of Cambridge, 2024). Data difraksi (Gambar 8) menunjukkan adanya beberapa puncak tambahan, menandakan bahwa nanopartikel perak yang dihasilkan belum sepenuhnya bersih atau mungkin mengandung senyawa lain.

Tabel 1. Data difraktogram nanopartikel perak

No.	Data JCPDS (2θ)	Data Puncak XRD (2θ)	Indeks Miller	FWHM	Ukuran (nm)
1	38,11	38,15	111	0,89	10,21
2	44,27	44,27	200	1,13	8,20
3	64,42	64,50	220	0,56	18,07
4	77,47	77,24	311	1,45	7,63

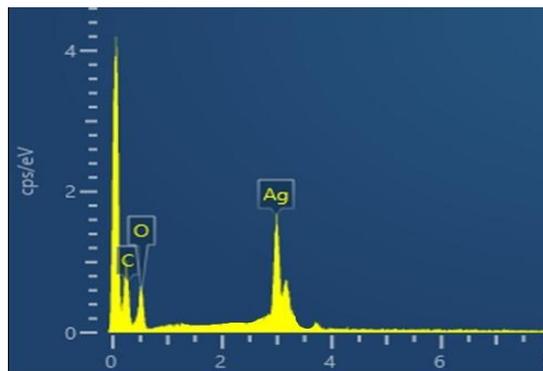
Difraktogram menunjukkan puncak yang tajam, menandakan pembentukan nanopartikel perak dengan nilai 2θ yang mendekati standar difraksi perak. Persamaan Debye-Scherrer kemudian digunakan untuk menentukan ukuran kristal perak. Berbagai ukuran kristal nanopartikel perak yang berhasil disintesis berkisar antara 7,63 nm hingga 18,07 nm (tabel 1). Ukuran kristal yang terdapat dalam skala nano ini menunjukkan bahwa molekul bioaktif dari ekstrak daun *Annona muricata* L. efektif sebagai agen pereduksi dalam pembentukan nanopartikel perak.

Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan *Scanning Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS). Dalam bidang ilmu material, pertambangan, dan geologi, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah alat yang sangat berguna karena kemampuannya untuk memberikan wawasan khusus tentang dunia skala nano dan mikro (Ali et al., 2023). Gambar 9 menampilkan mikrograf SEM dengan perbesaran 10.000 kali dan 30.000 kali yang relevan dari NPAg yang menunjukkan bentuk mayoritas partikel yang dikemas secara padat berbentuk bola dengan ukuran beragam, beberapa berbentuk gumpalan partikel yang lebih besar.



Gambar 9. Foto *Scanning Electron Microscopy* (SEM) nanopartikel perak (a) pada perbesaran 10.000 kali, (b) 30.000 kali

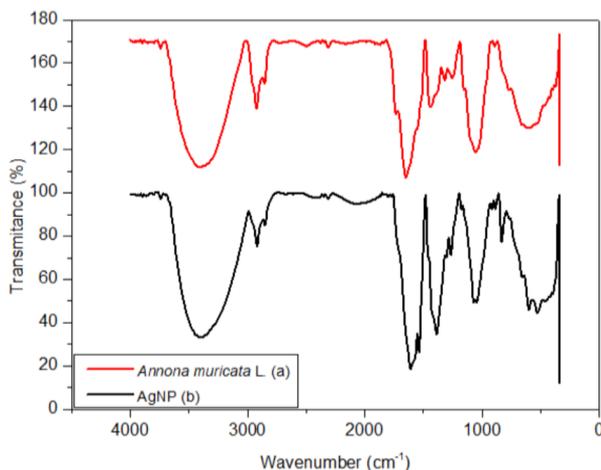
Pembentukan nanopartikel tergantung pada konsentrasi agen pereduksi yang digunakan. Bentuk bulat terbentuk pada konsentrasi yang lebih rendah, dan bentuk lainnya terbentuk pada konsentrasi yang lebih tinggi. Bentuk nanopartikel yang stabil cenderung berbentuk bola karena bola memiliki permukaan paling sedikit per satuan volume, sehingga energi antar muka minimal (Liu et al., 2012).



Gambar 10. Spektrum EDS nanopartikel perak

Selanjutnya, alat *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS) yang terintegrasi pada perangkat SEM digunakan untuk penelitian ini. Komposisi unsur tertentu dalam sampel, yang biasanya berukuran mikrometer dapat ditentukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif dengan menggunakan analisis EDS (Maarebia et al., 2019). Informasi mengenai komposisi sampel diperoleh melalui analisis EDS (Gambar 10), yang menunjukkan bahwa perak (Ag) menyumbang 50,28% massa jika dibandingkan dengan 2 elemen lain dari nanopartikel perak: C dan O. EDS menunjukkan puncak kuat atom nanopartikel perak yang dihasilkan pada kisaran 2,9-3,1 keV. Puncak yang menonjol yang diamati pada 3 keV menunjukkan adanya nanopartikel perak (Sivalingam et al., 2012). Keberadaan puncak-puncak lain pada spektrum EDS menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang dihasilkan belum murni dan masih terdapat pengotor lain.

Karakterisasi nanopartikel perak dengan *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*. Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam ekstrak daun *Annona muricata* L. yang kemungkinan terlibat dalam proses reduksi ion Ag^+ menjadi Ag^0 (Wahab et al., 2023). Daftar gugus fungsi dan bilangan gelombang pada spektrum ekstrak daun *Annona muricata* L. dan nanopartikel perak dapat diamati pada Tabel 2.



Gambar 11. Spektrum FTIR *Annona muricata* L. dan NPAg

Gambar 11 menunjukkan spektrum inframerah nanopartikel perak dan ekstrak daun *Annona muricata* L. Pada Gambar 11a, pita serapan yang lebar pada 3415 cm^{-1} bergeser ke arah ke 3410 cm^{-1} pada Gambar 11b menunjukkan keberadaan gugus O-H atau N-H. Spektrum ini dapat mengindikasikan adanya alkohol, amina atau senyawa asam karboksilat dalam ekstrak daun *Annona muricata* L. (Song et al., 2009). Pada 2854 cm^{-1} dan 2922 cm^{-1} , dua pita tajam menunjukkan adanya vibrasi regangan gugus C-H (alkana) bergeser menjadi 2850 cm^{-1} dan 2918 cm^{-1} . Keberadaan gugus CH_3 diamati pada 1444 cm^{-1} dan 1386 cm^{-1} . Puncak tajam pada 1649 cm^{-1} dan 1610 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C=C. Indikator keberadaan gugus C-O (eter) adalah puncak serapan pada 1060 cm^{-1} dan 1072 cm^{-1} dengan intensitas sedang. Selain itu, keberadaan gugus C=O ditunjukkan oleh pita serapan pada 1734 cm^{-1} untuk spektrum *Annona muricata* L. dan tidak terdapat pada spektrum NPAg. Hal ini dapat disebabkan karena senyawa yang mengandung gugus C=O dalam ekstrak *Annona muricata* L. mungkin mengalami transformasi kimia selama proses sintesis nanopartikel. Misalnya, gugus C=O dapat berubah menjadi gugus lain seperti C-OH atau C-O-C, yang memiliki frekuensi vibrasi berbeda dan tidak muncul pada posisi yang sama di spektrum FTIR (Sulistyani, 2018).

Tabel 2. Daftar gugus fungsi dan bilangan gelombang pada spektrum ekstrak daun *Annona muricata* L. dan nanopartikel perak

Gugus	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	
	<i>Annona muricata</i> L.	NPAg
O-H atau N-H	3415	3410
C-H (alifatik)	2854 dan 2922	2850 dan 2918
C=O	1734	-
C=C alkena	1649	1610
CH ₃	1444	1386
C-O (alkohol, eter)	1060	1072

Spektrum IR nanopartikel perak (Gambar 11b) menunjukkan pola pita serapan yang hampir mirip dengan pita serapan pada spektrum a, hal ini merupakan hasil dari analisis ekstrak daun *Annona muricata* L. yang juga memverifikasi bahwa nanopartikel perak hasil akhir mengandung gugus fungsi yang serupa. Respon nanopartikel perak menghasilkan spektrum IR (Gambar 11b) dengan pergeseran bilangan gelombang menunjukkan bahwa Ag dan gugus fungsi berinteraksi. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa yang mengandung gugus fungsi ini dalam ekstrak daun *Annona muricata* L. berperan dalam mereduksi perak menjadi nanopartikel perak. Selain itu, hal ini menunjukkan bahwa bahan aktif ekstrak telah melekat pada permukaan nanopartikel perak yang dihasilkan, yang berkontribusi terhadap stabilitasnya (Talab et al., 2024). Pada saat proses reduksi nanopartikel perak menggunakan ekstrak tumbuhan, senyawa-senyawa aktif dalam ekstrak tumbuhan tidak hanya berperan sebagai agen pereduksi, tetapi juga dapat melekat atau menyelimuti nanopartikel perak yang terbentuk. Senyawa-senyawa seperti flavonoid, tanin, dan protein dalam ekstrak tumbuhan dapat berfungsi sebagai penstabil, mencegah aglomerasi nanopartikel, dan memberikan sifat tambahan seperti aktivitas antibakteri (Nalawati et al., 2021).

2.4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sebuah metode yang mudah, cepat, terjangkau, dan ramah lingkungan telah berhasil diimplementasikan untuk mensintesis nanopartikel perak dengan menggunakan ekstrak daun *Annona muricata* L. Ekstrak daun *Annona muricata* L. menunjukkan potensi sebagai bioreduktor yang memfasilitasi konversi ion Ag⁺ menjadi Ag⁰.
2. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan sintesis nanopartikel perak dengan panjang gelombang puncak 430 nm. Analisis FTIR menunjukkan adanya keterlibatan senyawa bioaktif dari ekstrak daun *Annona muricata* L. dalam pembentukan dan stabilitas nanopartikel perak. Pengukuran PSA menunjukkan bahwa ukuran rata-rata nanopartikel perak adalah 64,9 nm. SEM menunjukkan bahwa nanopartikel menunjukkan bentuk mayoritas partikel yang dikemas secara padat berbentuk bola dan beberapa membentuk

gumpalan. Analisis EDS menunjukkan bahwa perak (Ag) menyumbang 50,28% massa. Pemeriksaan lebih lanjut melalui XRD mengkonfirmasi bahwa nanopartikel perak memiliki struktur kristal, khususnya menunjukkan struktur kubik berpusat muka (FCC) dengan diameter berkisar antara 7.63 nm hingga 18.07 nm.

2.6 Daftar Pustaka

- Ali, A., Zhang, N., and Santos, R.M., 2023. Mineral Characterization Using Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review of the Fundamentals, Advancements, and Research Directions. *Applied Sciences*. 13(23): 1-33. <https://doi.org/10.3390/app132312600>
- Abdassah, M., 2017. Nanopartikel dengan Gelasi Ionik. *Farmaka* 15(1): 45-52. <https://doi.org/10.24198/jf.v15i1.12138.g5643>
- Adil, S.F., Assal, M.E., Khan, M., Al-Warthan, A., Siddiqui, M.R.H., and Liz-Marzan, L.M., 2015. Biogenic Synthesis of Metallic Nanoparticles and Prospects Toward Green Chemistry. *Dalton Transactions* 44(1): 9709-9717. <https://doi.org/10.1039/C4DT03222E>
- Amirjani, A., Firouzi, F., and Haghshenas, D.F., 2019. Predicting the Size of Silver Nanoparticles from Their Optical Properties. *Plasmonics* 15: 1077-1082. <https://doi.org/10.1007/s11468-020-01121-x>
- Anindya, A.L., 2018. Particle Size Analyser: Beberapa Penggunaan Instrumen Hamburan Cahaya. Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi. 1-4.
- Ariyanta, H.A., 2014. Preparasi Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi dan Aplikasinya sebagai Antibakteri Penyebab Luka Infeksi. *Jurnal MKMI* 10(1): 36-42. <https://doi.org/10.30597/mkmi.v10i1.477>
- Badiah, H.I., 2021. Chitosan as Capping Agent for Silver Nanoparticles. *Indonesian Journal of Chemical Research* 9(9): 21-25. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2021.9-han>
- Badmus, J.A., Oyemomi, S.A., Adedosu, O.T., Yekeen, T.A., Azeez, M.A., Adebayo, E.A. et al., 2020. Photo-assisted bio-fabrication of silver nanoparticles using *Annona muricata* leaf extract: exploring the antioxidant, anti-diabetic, antimicrobial, and cytotoxic activities. *Heliyon* 6: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05413>
- Brahmachari, G., 2011. Bio-Flavonoids with Promising Antidiabetic Potentials: A Critical Survey. *Medicinal Chemistry* 2(1): 187-212.
- Bunaciu, A.A., Udriștișoiu, E.G., and Aboul-Enein, H.Y., 2015. X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Review Analytical Chemistry* 45(4): 289-299.

- Dachriyanus, 2004. Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas, Padang.
- Dawadi, S., Katuwal, S., Gupta, A., Lamichhane, U., Thapa, R., Jaisi, S. et al., 2021. Current Research on Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Applications. *Hindawi Journal of Nanomaterials* 1(1): 1-23. <https://doi.org/10.1155/2021/6687290>
- Emery, A.A., Saal, J.E., Kirklin, S., Hedge, V.I., and Wolverton, C., 2016. High-Throughput Computational Screening of Perovskites for Thermochemical Water Splitting Applications. *Chemistry of Materials*. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.6b01182>
- Fadlilah, S., Sucipto, A., Rahil, N.H., dan Sumarni, 2020. Daun Sirsak (*Annona Muricata* L.) Efektif Menurunkan Kadar Gula Darah. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia* 16(1): 15-25. <https://doi.org/10.30597/mkmi.v16i1.8864>
- Fatimah, 2019. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Beluntas (*Pluchea indica* L.) dan Potensinya Sebagai Sensor Asam Urat. Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia
- Gavakumulya, Y., Wamunyokoli, F., and El-Shemy, H., 2017. *Annona muricata*: Is the Natural Therapy to Most Disease Conditions Including Cancer Growing in our Backyard? A Systematic Review of its Research History and Future Prospects. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 10(9): 835-848. <https://doi.org/10.1016/J.Apjtm.2017.08.009>.
- Hasan, S., 2014. A Review on Nanoparticles: Their Synthesis and Types. *Research Journal of Recent Sciences* 4(1): 9-11.
- Hashim, A.A., 2012. The Delivery of Nanoparticles. InTech, Croatia.
- Hastuti, E., 2011. Analisa Difraksi Sinar-X TiO₂ dalam Penyiapan Bahan Sel Surya Tersentisasi Pewarna. *Jurnal Neutrino* 4(1): 93-100. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.2416>
- Jain, P.K., Lee, K.S., El-Sayed, I.H., and El-Sayed, M.A., 2006. Calculated Absorption and Scattering Properties of Gold Nanoparticles of Different Size, Shape, and Composition: Applications in Biological Imaging and Biomedicine. *Journal of Physical Chemistry B*, 110(14): 7238-7248. <https://doi.org/10.1021/jp057170o>
- Jannah, R.R., dan Amaria, 2020. Artikel Review: Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Pereduksi Asam Amino Sebagai Deteksi Ion Logam Berat. *Jurnal Riset Kimia* 2(3): 185-195
- Kayode, T.H., Yetunde, T.J., and Omotayo, A.B., 2022. Silver Nanoparticles' Biosynthesis and Characterization with the Extract of *Jatropha curcas* Leaf:

- Analysis of Corrosion Inhibition Activity. *Makara Journal of Science*. 26(2): 137-144. <https://doi.org/10.7454/mss.v26i2.1276>
- Kredy, H.M., 2018. The Effect of pH, Temperature on The Green Synthesis And Biochemical Activities Of Silver Nanoparticles From Lawsonia Inermis Extract. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 10(8): 2022-2026.
- Kuppusamy, P., Yusoff, M.M., Ichwan, S.J.A., Parine, N.R., Maniam, G.P., and Govindan, N., 2014. *Commelina nudiflora* L. Edible Weed as A Novel Source for Gold Nanoparticles Synthesis and Studies on Different Physical–Chemical And Biological Properties. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 23(5): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.11.045>
- Lazulfa, I., and Wikantyasning, E.R., 2023. Systematic Literatur Review: Synthesis of Silver Nanoparticles (AgNps) Using Secondary Metabolites of Fruit Peel Extract. *Medical Sains: Jurnal Ilmiah Kefarmasian* 8(3): 1289-1304
- Lee, M., 2017. *X-Ray Diffraction for Materials Research*, 1st ed. Apple Academic Press, New York.
- Liu, Y., Tan, J., Thomas, A., Yang, D.O., and Muzykantov, V.R., 2012. The shape of things to come: importance of design in nanotechnology for drug delivery. *Perspective* 3(2): 181-194. <https://doi.org/10.4155/tde.11.156>
- Maarebia, R.Z., Wahab, A.W., and Taba, P., 2019. Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using Water Extract of Sarang Semut (*Myrmecodia Pendans*) For Blood Glucose Sensors. 12(1): 29-46
- Madkour, M., Bumajdad, A., and Al-Sagheer, F., 2019. To what extent do polymeric stabilizers affect nanoparticles characteristics? *Advances in Colloid and Interface Science*, 270: 38-53. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.004>
- Masta, N., 2020. *Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy*. Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.
- Moghadamtousi, S.Z., Fadeinasab, M., Nikzad, S., Mohan, G., Ali, H.M., and Kadir, H.A., 2015. *Annona muricata* (Annonaceae): A Review of Its Traditional Uses, Isolated Acetogenins and Biological Activities. *International Journal of Molecular Sciences* 16(1): 15625-15658. <https://doi.org/10.3390/ijms160715625>.
- Mufid, A., 2016. *Sintesis Dan Karakterisasi Komposit Lithium Ferro Phosphate/Grafite Dengan Variasi Fraksi Berat Grafite Melalui Proses Solid State*. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., dan Darminto, 2012. Uji XRD Dan XRF Pada Bahan Meneral (Batuan Dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO_3 Dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya* 2(1): 20–29.
- Nagarajan, S., Siddharthan, N., Kalaivani, G., Poongothai, E., Arul, M., and Hemalatha, N., 2019. Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized

- from *Catheranthus Roseus* (Vinca Rosea) Plant Leaf Extract and Their Antibacterial Activity. *International Journal of Research and Analytical Reviews*. 6(1): 680-685.
- Nalawati, A.N., 2015. Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) dengan Metode yang Ramah Lingkungan dan Kajian Aktifitasnya dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif. Tesis. Institut Pertanian Bogor.
- Nalawati, A.N., Suyatma, N.E., dan Wardhana, D.I., 2021. Sintesis Nanopartikel Perak (Npag) Dengan Bioreduktor Ekstrak Biji Jarak Pagardan Kajian Aktivitas Antibakterinya. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* 32(2): 98-106. <https://doi.org/10.6066/jtip.2021.32.2.98>
- Nguyen, N.P.U., Dang, N.T., Doan, L., and Nguyen, T.T.H., 2023. Synthesis of Silver Nanoparticles: From Conventional to Modern Methods-A Review. *Processes* 11: 1-17. <https://doi.org/10.3390/pr11092617>
- Noruzi, M., 2015. Biosynthesis Of Gold Nanoparticles Using Plant Extracts. *Bioprocess Biosyst Eng* 38(1): 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1251-0>
- Pal, R., Panigrahi, S., Bhattacharyya, D., and Chakraborti, A.S., 2013. Characterization of citrate capped gold nanoparticle-quercetin complex: Experimental and quantum chemical approach. *Journal of Molecular Structure* 1046: 153-163. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2013.04.043>
- Payapo, I.A., Zakir, M., dan Soekamto, N.H., 2016. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia catappa*) dan Potensinya Sebagai Tabir Surya. *Jurnal Kimia* 1-17.
- Pedroza, M.G..G., Figueroa, L.A., Contreras, R.G., Martinez, Y.J., Martinez, E.M., Marchal, S.A.N. et al., 2021. Silver Nanoparticles from *Annona muricata* Peel and Leaf Extracts as a Potential Potent, Biocompatible and Low Cost Antitumor Tool. *Nanomaterials* 11: 1-17. <https://doi.org/10.3390/nano11051273>
- Prasetyaningtyas, T., Prasetya, A.T, dan Widiarti, N., 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Termodifikasi Kitosan dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Uji Aktifitasnya sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science* 9(1): 37-43.
- Pratiwi, Y., Amelia, R., and Yusmaniar. 2024. Synthesis of Modified Polyvinyl Pyrrolidone (PVP) Silver Nanoparticles Using Soursop (*Annona muricata* Linn) Leaf Extract and Its Application as a Heavy Metal Colorimetric Sensor. *Chemistry and Materials* 3: 1-8. <https://doi.org/10.56425/cma.v3i1.66>
- Purnamasari, G.A.P.P., Lestari, G.A.D., Cahyadi, KD., Esati, N.K., dan Suprihatin, I.E., 2021. Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Air Daun Cemmem (*Spondias Pinnata* (L.F) Kurz.) dan Aktifitasnya Sebagai Antibakteri. *Cakra Kimia* 9(2): 75-80

- Purnomo, S.R., Rupiasih, N.N., dan Sumadiyasa, M., 2017. Studi Sintesis Nanopartikel Perak Dengan Metode Biologi Menggunakan Tanaman Sambiloto (*Andrographis paniculata* Ness). *Buletin Fisika* 18(1): 6-11. <https://doi.org/10.24843/BF.2017.v18.i01.p02>
- Reddy, N.V., Li, H., Hou, T., Bethu, MS., Ren, Z., and Zhang Z., 2021. Phytosynthesis of silver nanoparticles using *perilla frutescens* leaf extract: Characterization and evaluation of antibacterial, antioxidant, and anticancer activities. *International Journal of Nanomedicine*. 16: 15-29. <https://doi.org/10.2147/IJN.S265003>
- Rupiasih, N.N., Aher, A.A., Gosavi, S., dan Vidyasagar, P.B., 2013. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Latex Extract of *Thevetia Peruviana*: A Novel Approach Towards Poisonous Plant Utilization. *Journal of Physics* 423(1): 1-9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/423/1/012032>
- Siddiqui, T., Zia, M.K., Muaz, M., Ahsan, H., and Khan, F.H., 2023. Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles (AgNPs) using Chemico-physical Methods. *Indonesian Journal of Chemical Analysis*. 6(2): 124-132. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol6.iss2.art4>
- Sivalingam, P., Antony, J.J., Siva, D., Achiraman, S., and Anbarasu, K., 2012. Mangrove *Streptomyces* sp. as nanofactory for fabrication of bactericidal silver nanoparticles. *Colloids Surf B Biointerfaces* 98: 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.03.032>
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., and Crouch, S. R., 2013. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 9th Edition. Cengage Learning
- Song, J.Y., Jang, H.K., and Kim, B.S., 2009. Biological synthesis of gold nanoparticles using *Magnolia kobus* and *Diopyros kaki* leaf extracts. *Process Biochemistry* 44: 1133-1138. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.06.005>
- Sulistiyani, M., 2018. Spektroskopi Fourier Transform Infra Red Dengan Metode Reflektansi (Atr-Ftir) Pada Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Vitamin C. *Jurnal temapela* 1(2): 39-43. <https://doi.org/10.25077/temapela.1.2.39-43.2018>
- Sulistiyani, M., dan Huda, N., 2018. Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared. *Indonesian Journal of Chemical Science* 7(2): 195-198.
- Taba, P., Parmitha, N.Y., dan Kasim, S., 2019. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium Polyanthum*) Sebagai Bioreduktor Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antioksidan. *Indonesian Journal of Chemical Research* 7(1): 51-60. <https://doi.org/10.30598/Ijcr.2019.7-Ptb>

- Talab, A.S., Asadi, S., and Lashgari, S., 2024. From Nature to Nanoparticles: Synthesizing Silver Nanoparticles from Moortalkh Plant Leaves with Potent Antibacterial Properties. *Inorganic Chemistry Communications*. 165: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112458>
- The British Institute of Non-Destructive Testing, 2013. BCC and FCC. United Kingdom. <https://www.bindt.org/What-is-NDT/Index-of-acronyms/B/> [Accessed 2024.07.08].
- University of Cambridge, 2024. Common Cubic Structure. United Kingdom. [https://www.gan.msm.cam.ac.uk/resources/crystalmodels/cubic#:~:text=learning%20points%20Template,The%20face%2Dcentred%20cubic%20structure%20\(fcc\),each%20face%20of%20the%20cube.](https://www.gan.msm.cam.ac.uk/resources/crystalmodels/cubic#:~:text=learning%20points%20Template,The%20face%2Dcentred%20cubic%20structure%20(fcc),each%20face%20of%20the%20cube.) [Accessed 2024.07.08].
- Vijayaraghavan, K., dan Ashokkumar, T., 2017. Plant-Mediated Biosynthesis of Metallic Nanoparticles: A Review of Literature, Factors Affecting Synthesis, Characterization Techniques and Applications. *Journal of Environmental and Chemical Engineering* 5(1): 4866-4883. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.026>
- Wahab, A.W., Karim, A., Nafie, N.L., Febrianti, T., and Azis, N., 2023. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Lannea coromandelica* bark extract: A comparative study with Polyvinyl alcohol (PVA) and Polyacrylic acid (PAA) as stabilizing agents. *The 3rd International Seminar on Science and Technology*. <https://doi.org/10.1063/5.0133380>
- Yani, N.K.L.P., Nastiti, K., dan Noval, 2023. Pengaruh Perbedaan Jenis Pelarut Terhadap Kadar Flavonoid Total Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata* L.). *Jurnal Surya Medika* 9(1): 34-44. <https://doi.org/10.33084/jsm.v9i1.5131>.
- Yasser, M., 2013. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas dari Daun Gedi *Abelmoschus manihot* L. untuk Sensor Kadar Glukosa Darah. Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia.

BAB III

TOPIK II APLIKASI NANOPARTIKEL PERAK HASIL BIOREDUKSI EKSTRAK DAUN SIRSAK (*Annona muricata* L.) SEBAGAI SENSOR GLUKOSA DALAM DARAH

3.1 Abstrak

Latar belakang. Pemanfaatan tumbuhan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel berkaitan dengan kandungan senyawa metabolit sekunder tertentu yang mengandung senyawa kimia yang dapat berperan sebagai agen pereduksi dalam proses pembentukan nanopartikel. Dalam bidang biomedis, salah satu aplikasi nanoteknologi adalah untuk mengukur kadar glukosa darah pada penderita diabetes. Hal ini dilakukan dengan menggunakan elektroda yang telah dimodifikasi dengan nanomaterial yang diproduksi melalui metode ramah lingkungan. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan menguji potensi nanopartikel perak sebagai elektroda dalam sensor glukosa darah. **Metode.** Penelitian ini dilakukan dengan mengaplikasikan nanopartikel perak sebagai komponen elektroda kerja pada pengukuran glukosa darah dengan teknik voltametri siklik. **Hasil.** Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang dihasilkan berpotensi sebagai elektroda dalam mendeteksi glukosa darah. Sensor ini menunjukkan batas deteksi 1,9776 mM dengan sensitivitas 10,8081 A.mM⁻¹.mm⁻², sehingga efektif dalam mendeteksi kadar glukosa darah. **Kesimpulan.** Nanopartikel perak hasil biosintesis berpotensi sebagai sensor glukosa darah.

Kata kunci: *Annona muricata* L., Elektroda, Nanopartikel perak, Sensor glukosa darah

3.2 Pendahuluan

Nanopartikel adalah partikel berukuran 1-100 nanometer (Abdassah, 2017). Sintesis nanopartikel terus berkembang untuk menghasilkan nanopartikel dengan menggunakan metode ramah lingkungan atau *green chemistry* (Hashim, 2012). Biosintesis adalah sintesis nanopartikel dengan menggunakan media dari bahan-bahan biologis baik mikroorganisme maupun tumbuh-tumbuhan. Metode ini merupakan suatu cara yang aman, hemat biaya dan juga ramah lingkungan (Rupiasih, 2013).

Pengembangan produk yang memanfaatkan nanoteknologi menjadi lebih menarik dan menantang karena cakupan aplikasi nanomaterial yang luas untuk formulasi beberapa produk di bidang optik, elektronik, sensor biologi dan katalis. (Kasim et al., 2020). Pada beberapa penelitian, nanopartikel digunakan untuk meningkatkan sensitivitas dan efisiensi transfer elektron dari sensor glukosa. Nanomaterial ini memiliki luas permukaan yang tinggi dan konduktivitas listrik yang baik, sehingga secara efektif mampu mentransfer elektron yang dihasilkan oleh reaksi redoks glukosa ke permukaan elektroda yang digunakan (Kim et al., 2019).

Di antara nanopartikel logam mulia, nanopartikel perak adalah salah satu yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi. Perak merupakan elemen khusus yang memiliki konduktivitas termal dan listrik yang tinggi sehingga dapat

dikembangkan ke dalam produk yang berbasis sensor terutama sensor kimia. Perak mampu menghantarkan elektron-elektron yang dihasilkan dari reaksi redoks pada sensor kimia. Sebagai logam mulia, perak sangat tahan terhadap korosi. Salah satu keunggulan dari segi produksi nanopartikel perak adalah harga bahan bakunya yang cukup murah dibandingkan dengan logam mulia lainnya seperti emas dan platina (Dwandaru dan Janah, 2018).

Secara konsep, sensor adalah perangkat yang berfungsi sebagai konverter dari efek non elektrik seperti efek fisika dan kimia hingga menjadi sinyal listrik (Sulistiyanti et al., 2012). Biosensor digunakan untuk mendeteksi suatu analit yang menggabungkan komponen biologis dengan detektor kimia dan fisika. Sebuah biosensor yang baik harus memiliki setidaknya beberapa fitur bermanfaat, seperti biosensor harus memiliki sifat spesifik terhadap suatu analit, memiliki stabilitas yang baik, memiliki respon yang akurat, presisi, reproduibel, murah, ringan, portabel, dan mudah digunakan. Biosensor elektrokimia biasanya didasarkan pada katalisis enzimatik dari suatu reaksi yang menghasilkan ion. Substrat sensor terdiri dari tiga elektroda yaitu elektroda referensi, elektroda kerja, dan elektroda ketiga yaitu elektroda lawan juga dapat digunakan sebagai sumber ion. Analit target bereaksi pada permukaan elektroda kerja. Ion yang dihasilkan pada reaksi tersebut akan menimbulkan beda potensial antara elektroda kerja dengan elektroda referensi (Hayat et al., 2021).

Teknik analisis dengan biosensor sangat menarik dikembangkan karena selektivitas dan akurasi pendekatannya yang dinilai cukup handal dan bahkan mempunyai prospek ekonomi yang cukup besar. Biosensor juga merupakan instrumen analisis yang sangat penting, karena dapat menentukan kadar senyawa konsentrasi yang sangat rendah seperti ppm, ppb, dan ppt (Manurung et al., 2012). Aplikasi biosensor pada dasarnya meningkat seiring dengan berkembangnya keperluan manusia serta kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Secara umum, biosensor banyak diaplikasikan dalam bidang medis dan lingkungan hidup. Pada bidang medis/farmasi, biosensor biasanya digunakan untuk tujuan monitoring glukosa darah penderita diabetes, keperluan diagnosis obat, enzim, dan vitamin, serta studi efisiensi obat. Sedangkan dalam bidang lingkungan hidup biasanya digunakan untuk keperluan deteksi pencemaran pestisida pada perairan, kontrol polusi, monitoring senyawa toksik di udara, air, dan tanah, serta penentuan BOD (Hayat et al., 2021).

Biosensor glukosa merupakan salah satu dari aplikasi biosensor yang telah berkembang dengan cepat dan telah dimanfaatkan secara komersial. Sensor non enzimatik telah banyak dikembangkan menggunakan logam, paduan logam serta oksida logam sebagai material modifikasi untuk mendeteksi glukosa dengan berbasis sensor non enzimatik (Utamiyanti et al., 2016). Untuk sensor logam telah dilakukan dengan menggunakan logam seperti nikel (Hassan et al., 2023) emas (Saputra et al., 2020) dan nanopartikel platina (Khan et al., 2021). Aplikasi nanopartikel yang digunakan dalam mengukur kadar glukosa dilakukan dengan teknik voltametri siklik. Pengamatan dilakukan dengan membandingkan voltammogram dua elektroda kerja. Elektroda kerja yang digunakan pada sistem voltametri siklik yakni elektroda kerja

yang tidak dilapisi nanopartikel perak dan elektroda kerja yang dilapisi nanopartikel perak (Armah, 2014). Voltametri siklik (*Cyclic Voltammetry*) adalah teknik elektrokimia yang populer dan biasa digunakan untuk menyelidiki proses reduksi - oksidasi spesies molekul (Elgrishi et al., 2018).

Voltametri merupakan metode analisis menggunakan teknik potensial terkontrol yaitu pengukuran respon arus dari analit dengan pemberian potensial pada elektroda. Respon arus yang dihasilkan berasal dari transfer elektron selama proses reduksi dan oksidasi dari analit. Arus yang dihasilkan dalam metode ini sebanding dengan konsentrasi zat kimia yang terdapat dalam larutan. Kurva yang dihasilkan dari analisis secara voltametri disebut voltammogram yang menggambarkan plot arus terhadap potensial yang diaplikasikan. Voltammogram yang dihasilkan memberikan informasi kuantitatif dan kualitatif dari reaksi reduksi dan oksidasi analit (Harvey, 2000)

Voltametri merupakan metode elektroanalisis yang berdasarkan pada pengukuran arus listrik sebagai fungsi pengubah potensial listrik yang diterapkan pada sel elektrolisis. Sel elektrolisis terdiri atas elektroda kerja (*working electrode*) yaitu elektroda tempat reaksi reduksi dan oksidasi terjadi, elektroda bantu (*auxiliary electrode*) yaitu sebuah elektroda *inert* yang berfungsi membawa sebagian besar arus listrik dan elektroda pembanding (*reference electrode*) yaitu elektroda yang memiliki nilai potensial tetap dan stabil. Elektroda yang digunakan dalam sistem voltametri biasanya merupakan elektroda mikro dengan tujuan untuk meningkatkan polarisasi (Fadhilah, 2013).

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 voltametri 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 elektrostatis 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 voltametri adalah arus difusi, karena informasi yang dibutuhkan adalah konsentrasi analit. Arus konveksi diminimalisasi dengan tidak melakukan pengadukan sesaat sebelum pengukuran, untuk mempertahankan kebolehlungan pengukuran dan menjaga agar temperatur larutan yang diukur tetap, arus migrasi diminimalisasi dengan cara penambahan larutan elektrolit pendukung (Mikkelsen dan Schroder, 2000).

Transfer elektron terjadi selama percobaan voltametri siklik sehingga netralitas listrik dipertahankan melalui migrasi ion dalam larutan. Saat elektron berpindah dari elektroda ke analit, ion bergerak dalam larutan untuk mengkompensasi muatan dan menutup rangkaian listrik. Garam atau yang disebut elektrolit pendukung, dilarutkan dalam pelarut untuk membantu menurunkan resistensi larutan (Elgrishi et al., 2018). Oksidasi atau reduksi yang terjadi pada permukaan elektroda berhubungan dengan potensial elektroda. Potensial memaksa ion-ion elektroda dalam larutan untuk memperoleh atau melepaskan elektron. Semakin banyak potensial negatif berarti

semakin kuat elektroda pereduksi, sebaliknya semakin besar potensial positif berarti semakin kuat elektroda oksidasi. Oleh karena itu, reaksi redoks yang terjadi pada elektroda dapat dikontrol dengan mengontrol potensial elektroda suatu sel elektrokimia. Tegangan diterapkan antara elektroda kerja dan elektroda referensi sedangkan arus diukur antara elektroda kerja dan elektroda pembantu (Joshi dan Sutrave, 2018).

Berdasarkan tinjauan di atas maka dilakukan penelitian untuk menguji potensi nanopartikel perak hasil biosintesis menggunakan bioreduktor ekstrak *Annona muricata* L. sebagai sensor glukosa darah.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 hingga Februari 2024 di Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Laboratorium Instrumen Politeknik Negeri Ujung Pandang, dan Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar.

3.3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: nanopartikel perak, glukosa anhidrat, NaOH 0,1 M, asam poliakrilat (Sigma Aldrich), kawat platina, *Screen Printed Electrodes* (SPE), akuades, akuabides dan *cling wrap*.

3.3.2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Potensiostat, neraca analitik, labu semprot, neraca digital, dan alat-alat gelas yang pada umumnya digunakan di laboratorium.

3.3.3 Metode Penelitian

3.3.3.1 Persiapan elektroda dan pengendapan nanopartikel

Kawat platina dipotong dengan panjang 2,5 cm sebanyak 2 kawat kemudian dicuci dengan menggunakan akuades dan dikeringkan. Salah satu permukaan elektroda dibersihkan dengan amplas. Selanjutnya, elektroda ini disebut elektroda tanpa modifikasi.

Elektroda kerja yang kedua dilakukan dengan memodifikasi elektroda dengan nanopartikel perak. Pengendapan nanopartikel dilakukan dengan teknik lapis demi lapis. Elektroda dicelupkan ke dalam larutan asam poliakrilat 1% selama 30 menit, kemudian dibilas dengan akuades dan dicelupkan ke dalam larutan nanopartikel perak selama 15 menit dan dibilas dengan akuades lagi. Tahap ini diulangi 3 kali. Elektroda ini disebut elektroda modifikasi (Kurniawan et al., 2006).

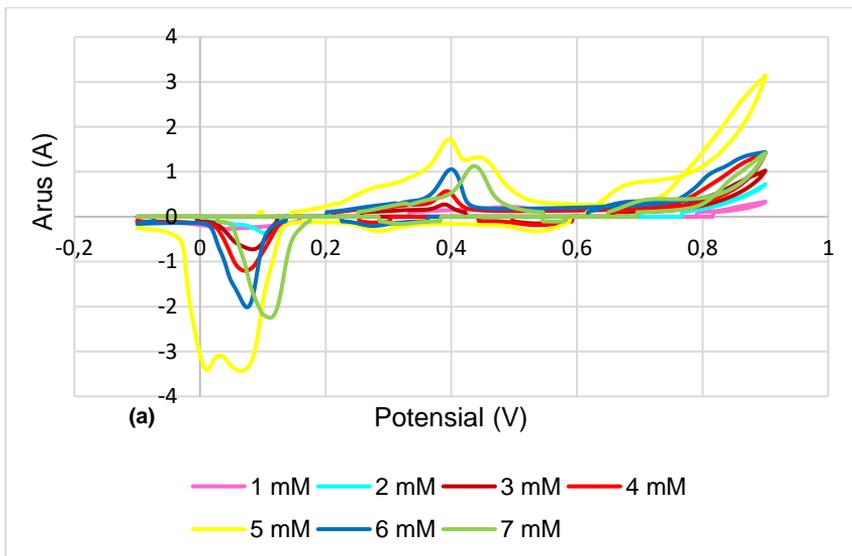
3.3.3.2 Pengukuran elektrokimia

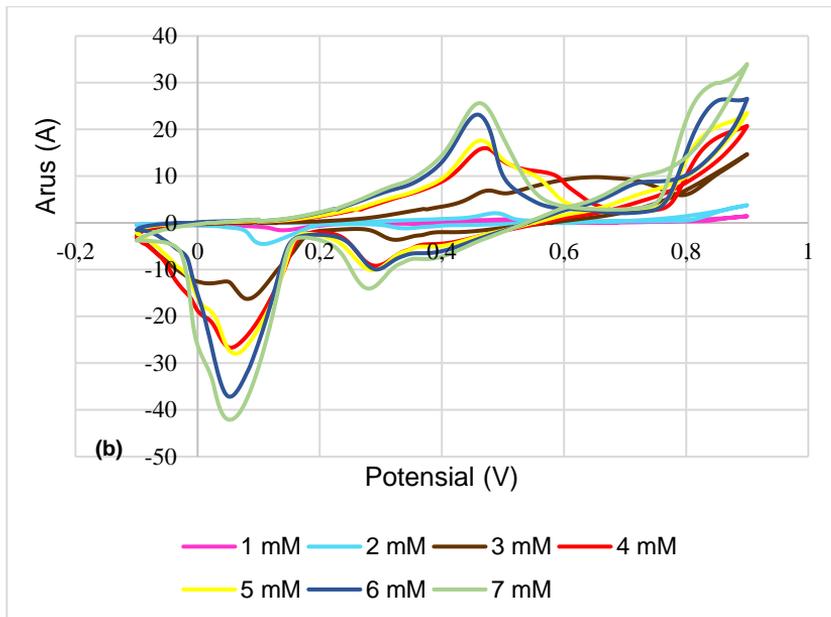
Pengukuran larutan glukosa standar dilakukan dengan metode voltametri siklik. Perakitan dengan elektroda terdiri atas elektroda tanpa modifikasi dan elektroda termodifikasi nanopartikel perak sebagai elektroda kerja, selain itu juga digunakan *Screen Printed Electrode* (SPE). Larutan elektrolit yang digunakan adalah NaOH 0,1 M. Elektroda kerja yang digunakan dicelupkan ke dalam larutan glukosa kemudian diukur dengan voltametri siklik pada potensial -1 sampai +0,9 V. Selanjutnya, dihitung limit deteksi dan sensitivitas dari sensor. Pengukuran untuk sampel darah juga dilakukan (Yasser, 2013).

3.4 Hasil dan Pembahasan

3.4.1 Aplikasi Sensor Berbasis Nanopartikel Perak

Proses reaksi oksidasi dan reduksi di permukaan elektroda dipantau melalui arus yang dihasilkan (Suci, 2019). Pada Gambar 12 (a), voltammogram menggambarkan puncak-puncak oksidasi dan reduksi yang kurang jelas dan cenderung menumpuk untuk elektroda kerja tanpa pelapisan nanopartikel perak. Hasilnya menggambarkan pola arus yang tidak teratur pada konsentrasi glukosa yang berbeda. Ketidakteraturan dalam pola arus yang terdeteksi pada berbagai konsentrasi glukosa menunjukkan bahwa elektroda kerja tanpa lapisan nanopartikel perak memiliki sensitivitas yang rendah terhadap glukosa. Sensitivitas yang rendah menandakan bahwa elektroda tidak mampu mendeteksi sinyal atau perubahan yang terjadi.





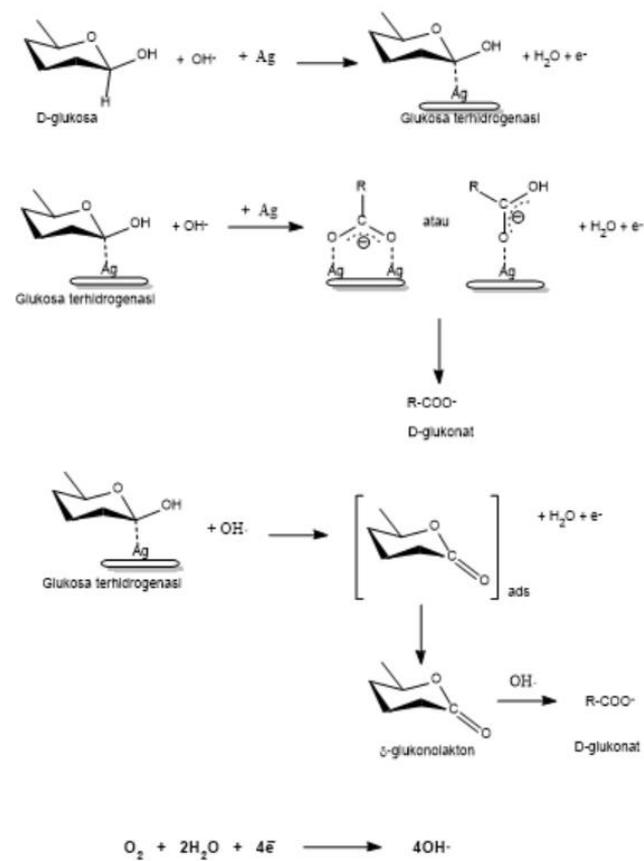
Gambar 12. Voltammogram elektroda kerja (a) tanpa pelapisan, (b) dengan pelapisan nanopartikel perak

Sebaliknya, Gambar 12 (b) menggambarkan puncak terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi dari elektroda kerja yang dilapisi nanopartikel perak, yang menunjukkan peningkatan arus yang berkorelasi dengan peningkatan konsentrasi glukosa. Pada variasi konsentrasi glukosa, kenaikan dan penurunan pada puncak anoda dan katoda cenderung sama. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa nanopartikel perak memiliki kapasitas untuk meningkatkan luas permukaan bidang sentuh di permukaan elektroda. Akibatnya, banyak glukosa yang teradsorpsi pada permukaan elektroda yang kemudian akan meningkatkan aktivitas transfer elektron glukosa, yang pada akhirnya menghasilkan arus (Suci, 2019). Struktur nano menghasilkan efek sinergis dengan peningkatan konduktivitas, elektroaktivitas, dan area permukaan elektroaktif sehingga optimal dalam pengembangan sensor elektrokimia glukosa (Balderrama et al., 2024).

Kisaran hasil pengukuran larutan standar glukosa dengan menggunakan elektroda kerja termodifikasi nanopartikel perak ditunjukkan pada tabel 2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi glukosa, maka semakin besar arus yang dihasilkan pada konsentrasi 1-7 mM. Hal ini disebabkan oleh partikel dengan ukuran yang lebih kecil memberikan fraksi atom perak yang lebih besar yang dapat diakses oleh molekul reaktan. Arus yang terukur berupa arus Faradik yang dihasilkan dari transfer elektron antara analit dan permukaan elektroda, dan berbanding lurus dengan konsentrasi spesies target (Ivanisevic, 2023). Selanjutnya terjadi penurunan arus dimulai dari konsentrasi 8-11 mM. Hal ini menunjukkan bahwa elektroda hanya mampu digunakan untuk mengukur konsentrasi glukosa antara 1-7 mM.

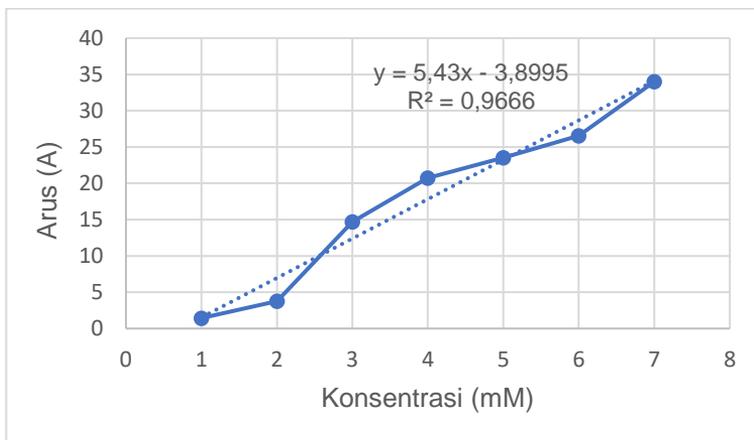
Tabel 3. Hasil pengukuran elektroda kerja modifikasi nanopartikel perak

Konsentrasi (mM)	Kuat Arus (A)
1	1,438625
2	3,78875
3	14,69625
4	20,7475
5	23,51375
6	26,5575
7	34
8	32,6875
9	26,22458
10	23,03625
11	22,68875
Kisaran pengukuran	1-7
R2	0,9666
Pers. Regresi linear	$y = 5,43x - 3,8995$

**Gambar 13.** Mekanisme reaksi oksidasi glukosa dan reduksi oksigen pada permukaan elektroda perak

Gambar 13 merangkum mekanisme reaksi elektrooksidasi non enzimatis glukosa dan spesies utama yang terlibat. Pada awalnya, molekul glukosa diserap secara elektrokimia di permukaan elektroda nanopartikel perak yang melibatkan dehidrogenasi (reaksi 1). Molekul glukosa yang telah terdehidrogenasi diubah menjadi glukonat melalui oksidasi langsung dan melepaskan H^+ . Anion hidroksil menyerang ikatan C-Ag, membentuk spesies glukonat berikatan lemah yang kemudian terlepas ke dalam elektrolit (reaksi 2). Jalur alternatif melibatkan oksidasi glukosa terdehidrogenasi menjadi δ -glukonolakton. Setelah desorpsi, δ -glukonolakton dihidrolisis oleh anion hidroksil dalam elektrolit menjadi glukonat (reaksi 3) (Pasta et al., 2010; Neha et al., 2023). Hasil hidrolisis glukonolakton berupa asam glukonat yang teradsorpsi pada permukaan elektroda. Reaksi ini sangat bergantung pada bahan elektroda dan potensial elektroda (Opallo and Dolinska, 2018).

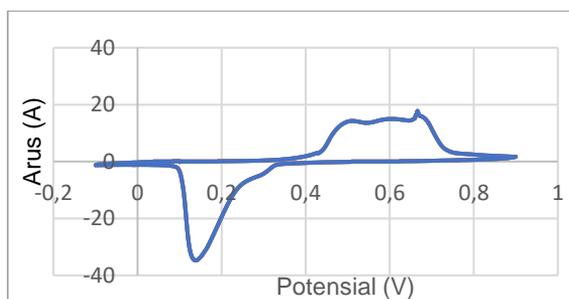
Dalam lingkungan basa (NaOH), molekul oksigen diadsorpsi pada permukaan elektroda (misalnya elektroda perak atau karbon), di mana ia berinteraksi dengan elektron yang mengalir dari elektroda. Oksigen kemudian direduksi melalui penambahan elektron membentuk ion hidroksida (Kandaswamy et al., 2019; Erikson et al., 2018).



Gambar 14. Kurva regresi linear antara konsentrasi dan arus

Gambar 14 menunjukkan kisaran pengukuran elektroda kerja berlapis nanopartikel perak, dari 1 mM hingga 7 mM. Berdasarkan data ini, persamaan regresi linear dihasilkan adalah $y = 5,43x - 3,8995$, dengan nilai R^2 sebesar 0,9666. Selain itu, untuk mengevaluasi kemampuan dan kinerja elektroda berlapis nanopartikel perak, sensitivitas dan batas deteksi juga ditentukan.

3.4.2 Deteksi Sampel Serum Darah



Gambar 15. Voltammogram pengukuran sampel darah

Sampel serum darah digunakan dalam pengukuran kadar glukosa untuk mengevaluasi sensor yang menggunakan nanopartikel perak. Sampel darah ini diperoleh dari Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar. Pengukuran dilakukan dengan metode voltametri siklik pada range -1 sampai +0,9 V dengan scan rate 0,05 V/s. Hasil analisis sampel digambarkan pada Gambar 15. Konsentrasi glukosa darah ditentukan dengan menggunakan persamaan regresi linear, yang menunjukkan nilai 4,12 mmol/L atau setara dengan 74,27 mg/dL. Hasil pengukuran ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran sampel yang diuji di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar, yang menunjukkan hasil 73 mg/dL. Kadar glukosa darah normal berdasarkan usia dapat dilihat pada tabel 4. Seseorang yang didiagnosa menderita DM jika dari hasil pemeriksaan kadar glukosa darah sewaktu ≥ 200 mg/dL, sedangkan kadar glukosa darah ketika puasa berkisar ≥ 126 mg/dL (Jasmani dan Rihiantoro, 2016).

Tabel 4. Kadar glukosa darah normal

Usia	Glukosa darah normal	Glukosa darah puasa	Glukosa darah setelah makan dan sebelum tidur
< 6 tahun	100 - 200 mg/dL	± 100 mg/dL	± 200 mg/dL
6 - 12 tahun	70 - 150 mg/dL	± 70 mg/dL	± 150 mg/dL
> 12 tahun	< 100 mg/dL	70 - 130 mg/dL	< 180 mg/dL (setelah makan) 100 - 140 mg/dL (sebelum tidur)

Sumber: Tim Medis Siloam Hospitals, 2023

3.4.3 Limit Deteksi

Batas deteksi elemen atau senyawa yang juga disebut *Limit of Detection* (LoD), yang menunjukkan konsentrasi terendah dari elemen atau senyawa yang dapat dideteksi oleh metode analitik dengan tingkat kepastian yang memadai (Poggialini et al., 2023). Luas permukaan yang meningkat memiliki banyak keuntungan terutama dalam bidang sensor kimia seperti meningkatkan sensitivitas dan menurunkan batas deteksi (Tiwari and Turner, 2014). Limit deteksi diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan kurva standar. Limit deteksi yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan adalah sebesar 1,9776 mM, yang dapat diartikan bahwa elektroda modifikasi nanopartikel perak mampu mendeteksi glukosa dengan konsentrasi terkecil 1,9776 mM.

3.4.4 Sensitivitas

Pengujian sensitivitas bertujuan untuk mengevaluasi daya tanggap sensor terhadap analit. Sensitivitas sensor sangat bergantung pada luas permukaan reaktif sensor dan bahan elektroda yang digunakan. Secara umum, sensitivitas ini berbanding lurus dengan ukuran elektroda dan status permukaan di mana elektroda dengan luas permukaan kecil umumnya akan memiliki sensitivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan elektroda dengan luas permukaan yang lebih besar (Zhang et al., 2008). Nilai sensitivitas sensor diperoleh berdasarkan perbandingan antara slope kurva linearitas dengan luas permukaan elektroda kerja yang digunakan. Dengan menggunakan persamaan garis $y = 5,43x - 3,8995$, perhitungan sensitivitas menghasilkan nilai $10,8081 \text{ A.mM}^{-1}.\text{mm}^{-2}$. Evaluasi kinerja sensor glukosa menunjukkan bahwa rentang pengukuran terbatas pada konsentrasi antara 1 dan 7 mM. Sensor ini menunjukkan tingkat responsif yang baik terhadap deteksi glukosa, seperti yang terlihat dari nilai regresi yang tinggi yaitu 0,9666.

3.5 Kesimpulan

Elektroda termodifikasi nanopartikel perak yang dihasilkan menunjukkan peningkatan arus yang berkorelasi dengan peningkatan konsentrasi glukosa dengan batas deteksi $1,9776 \text{ mM}$ dan sensitivitas $10,8081 \text{ A.mM}^{-1}.\text{mm}^{-2}$, sehingga efektif dalam mendeteksi kadar glukosa darah. Konsentrasi glukosa darah ditentukan dengan menggunakan persamaan regresi linear, yang menunjukkan nilai $4,12 \text{ mmol/L}$ atau setara dengan $74,27 \text{ mg/dL}$. Hasil pengukuran ini dibandingkan dengan hasil pengukuran sampel yang diuji di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar, yang menunjukkan hasil 73 mg/dL . Perbedaan hasil pengukuran yang tergolong kecil menunjukkan bahwa sensor berbasis nanopartikel perak memberikan hasil yang cukup akurat.

3.6 Daftar Pustaka

- Abdassah, M., 2017. Nanopartikel dengan Gelasi Ionik. *Farmaka* 15(1): 45-52. <https://doi.org/10.24198/jf.v15i1.12138.g5643>
- Armah, Z., 2014. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Perak Menggunakan Daun Gedi *Abelmoschus manihot* L. untuk Sensor Kadar Glukosa Darah. Tesis. Universitas Hasanuddin, Makassar
- Balderrama, C.I.P., Escobar, C.A.H., Lopez, S.Y.R., Davila, A.S.C., Monje, A.E., and Contreras, E.A.Z., 2024. Non-Enzymatic Electrochemical Sensing of Glucose with a Carbon Black/Polyaniline/Silver Nanoparticle Composite. *Chemosensors*. 12(26): 1-16. <https://doi.org/10.3390/chemosensors12020026>
- Dwandaru, W.S.B., dan Janah, N.M., 2018. Nano Material: Quantum Dot, Nanopartikel Perak, Graphene, Dan Bakteri, UNY Press, Yogyakarta
- Elgrishi, N., Rountree, K.J., McCarthy, B.D., Rountree, E.S., Eisenhart, T.T., and Dempsey, J.L., 2018. *A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry*.

- Journal of Chemical Education 95(1): 197-206.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00361>
- Erikson, H., Sarapuu, A., and Tammeveski, K., 2018. Oxygen Reduction Reaction on Silver Catalysts in Alkaline Media: a Minireview. *Chemelectrochem* 6(1): 1-16.
<https://doi.org/10.1002/celec.201800913>
- Fadhilah, R., 2013. Biosensor Glukosa Menggunakan GDH-FAD yang Diimobilisasi pada Nanopartikel Zeolit Secara Elektrokimia. Tesis. Institut Pertanian Bogor
- Harvey, D., 2000. *Modern Analytical Chemistry*. McGraw-Hill Comp, New York.
- Hashim, A.A., 2012. *The Delivery of Nanoparticles*. InTech, Croatia
- Hassan, M.R., Yasmin, F., Noor, F.K., Rahman, M.S., Uddin, M.S., and Bhowmik, S., 2023. Synthesis and Applications of Nickel Nanoparticles (NiNPs) Comprehensive Review. *Journal of Ultra Chemistry* 19(1): 9-37
- Hayat, M., Mipiliandari, I., Djanis, R.L., Asrorudin, U., dan Putra, A.P., 2021. Review: Perkembangan dan Aplikasi Biosensor untuk Mendeteksi Aflatoksin. *Warta Akab* 45(2): 71-77
- Ivanisevic, I., 2023. The Role of Silver Nanoparticles in Electrochemical Sensors for Aquatic Environmental Analysis. *Sensors* 23(3692): 1-52.
<https://doi.org/10.3390/s23073692>
- Jasmani, dan Rihiantoro, T., 2016. Edukasi Dan Kadar Glukosa Darah Pada Pasien Diabetes. *Jurnal Keperawatan* 12(1): 140-148.
<https://doi.org/10.26630/jkep.v12i1.371>
- Joshi, P.S., and Sutrave, D.S., 2018. A Brief Study of Cyclic Voltammetry and Electrochemical Analysis. *International Journal of ChemTech Research* 11(9): 77-88. <https://doi.org/10.20902/IJCTR.2018.110911>
- Kandaswamy, S., Sorrentino, A., Borate, S., Zivkovic, L.A., Petkovska, M., and Koch, T.V., 2019. Oxygen reduction reaction on silver electrodes under strong alkaline conditions. *Electrochimica Acta* 320: 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.07.028>
- Kasim, S., Taba, P., Ruslan, dan Romianto, 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Sebagai Bioreduktor. *Jurnal Riset Kimia* 6(2): 126-133.
<https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i2.15137>
- Khan, M.A.R., Mamun, M.S.A., and Ara, M.H., 2021. Review On Platinum Nanoparticles: Synthesis, Characterization, And Applications. *Microchemical Journal* 171(1): 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106840>
- Kim, S.K., Jeon, C., Lee, G.H., Koo, J., Cho, S.H., Han, S. et al., 2019. Hyaluronate–Gold Nanoparticle/Glucose Oxidase Complex for Highly

- Sensitive Wireless Noninvasive Glucose Sensors. *Journal of Applied Materials & Interfaces* 11(1): 37347-37356. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b13874>
- Kurniawan, F., Tsakova, V., and Mirsky, V.M., 2006. Gold Nanoparticles in Nonenzymatic Electrochemical Detection of Sugars. *Electroanalysis* 18(1): 1937-1942. <https://doi.org/10.1002/elan.200603607>
- Manurung, R.V., Kurniawan, E.D., Hidayat, J., Aminuddin, dan Risdian, C., 2012. Desain dan Fabrikasi Elektroda Biosensor: Metode Teknologi Film Tebal. *Jurnal Ilmiah Elite Elektro* 3(1): 65-70
- Mikkelsen, O., and Schroder, K.H., 2000. Sensitivity Enhancement in Stripping Voltammetry from Exposure to Low Frequency Sound. *J. Electroanal* 401-405
- Neha, N., Rafaideen, T., Faverge, T., Mailard, F., Chatenet, M., and Coutanceau, C., 2023. Revisited Mechanisms for Glucose Electrooxidation at Platinum and Gold Nanoparticles. *Electrocatalysis* 14(1): 121-130. <https://doi.org/10.1007/s12678-022-00774-y>
- Opallo, M., and Dolinska, J., 2018. Glucose Electrooxidation. Polish Academy of Sciences, Poland.
- Pasta, M., Mantia, F.L., and Cui, Y., 2010. Mechanism of glucose electrochemical oxidation on gold surface. *Electrochimica Acta* 55: 5561-5568. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.04.069>
- Poggialini, F., Legnaiolo, S., Campanella, B., Cocciaro, B., Lorenzetti, G., Raneri, S. et al., 2023. Calculating the Limits of Detection in Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: Not as Easy as It Might Seem. *Applied Sciences (Switzerland)*. 13(6):1-14. <https://doi.org/10.3390/app13063642>
- Rupiasih, N.N., Aher, A.A., Gosavi, S., dan Vidyasagar, P.B., 2013. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Latex Extract of *Thevetia Peruviana*: A Novel Approach Towards Poisonous Plant Utilization. *Journal of Physics* 423(1): 1-9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/423/1/012032>
- Saputra, I.S., Suhartati, S., Yulizar, Y., and Sudirman, 2020. Synthesis and Characterization of Gold Nanoparticles (AuNPs) by Utilizing Bioactive Compound of *Imperata cylindrica* (L.) Raeusch. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia* 22(1): 1-7.
- Suci, A., 2019. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas Menggunakan Ekstrak Air Umbi Sarang Semut (*Myrmecodia pendan*) untuk Sensor Kadar Gula Darah. Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia.
- Sulistiyani, M., dan Huda, N., 2018. Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared. *Indonesian Journal of Chemical Science* 7(2): 195-198.

- Tim Medis Siloam Hospitals, 2023. Kenali Kadar Gula Darah Normal Berdasarkan Usia. PT Siloam International Hospitals Tbk. <https://www.siloamhospitals.com/informasi-siloam/artikel/kenali-kadar-gula-darah-normal-berdasarkan-usia>. [Diakses pada: 31.10.2023].
- Tiwari, A., and Turner, A.P.F., 2014. Biosensors Nanotechnology. Scrivener Publishing, Canada.
- Utamiyanti, I.F., Rumhayati, B., dan Mulyasuryani, A., 2016. Pengembangan Sensor Glukosa Berbasis Material SiO₂-CuO Menggunakan ScreenPrinted Carbon Electrode (SPCE). *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia* 12(1): 50-60. <https://doi.org/10.20961/alchemy.v12i1.942>
- Yasser, M., 2013. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas dari Daun Gedi *Abelmoschus manihot* L. untuk Sensor Kadar Glukosa Darah. Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia.
- Zhang, X., Ju, H., and Wang, J., 2008. *Electrochemical Sensors, Biosensors and Their Biomedical Applications*. Elsevier, United States of America