



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI - SK234801

**SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK DAN
EVALUASI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN:
OPTIMASI *RESPONSE SURFACE*
METHODOLOGY (RSM)**

**HERLINDA AYU WULANDARI
NRP 5004201101**

Dosen Pembimbing
Suprpto, M.Si., Ph.D.
NIP. 19720919 199802 1002

Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D.
NIP. 19840524 200812 2 006

Sarjana Sains
Departemen Kimia
Fakultas Sains Dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2024



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT REPORT - SK234801

**SYNTHESIS SILVER NANOPARTICLE AND
ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION:
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY
(RSM) OPTIMIZATION**

HERLINDA AYU WULANDARI
NRP 5004201101

Supervisor
Suprpto, M.Si., Ph.D.
NIP. 19720919 199802 1002

Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D.
NIP. 19840524 200812 2 006

Bachelor of Science
Chemistry Department
Faculty Of Science And Data Analytics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2024



SKRIPSI - SK234801

**SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK DAN
EVALUASI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN:
OPTIMASI *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY* (RSM)**

**HERLINDA AYU WULANDARI
NRP 5004201101**

Dosen Pembimbing
Suprpto, M.Si., Ph.D.
NIP. 19720919 199802 1002

Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D.
NIP. 19840524 200812 2 006

Sarjana Sains
Departemen Kimia
Fakultas Sains Dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2024



FINAL PROJECT REPORT - SK234801

**SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLE AND
ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION:
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY
(RSM) OPTIMIZATION**

HERLINDA AYU WULANDARI
NRP 5004201101

Supervisor
Suprpto, M.Si., Ph.D.
NIP. 19720919 199802 1002

Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D.
NIP. 19840524 200812 2 006

Bachelor of Science
Chemistry Department
Faculty Of Science And Data Analytics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2024

LEMBAR PENGESAHAN

SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK DAN EVALUASI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN: OPTIMASI *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM)

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains pada
Program Studi S-1 Kimia
Departemen Kimia
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **HERLINDA AYU WULANDARI**
NRP. 5004201101

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Suprpto, M.Si., Ph.D

Pembimbing




2. Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph. D

Ko-pembimbing



3. Dra. Ita Ulfin, M.Si

Penguji



4. Prof. Dr. Fahimah Martak, M.Si

Penguji



SURABAYA

2 Agustus 2024

APPROVAL SHEET





SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION: OPTIMIZATION RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

FINAL PROJECT REPORT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Bachelor of Science at
Undergraduate Study Program of Chemistry
Department of Chemistry
Faculty of Science and Data Analytics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **HERLINDA AYU WULANDARI**
NRP. 5004201101

Approved by Final Project Proposal Examiner Team:

1. Suprpto, M.Si., Ph.D	Advisor	 _____
2. Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph. D	Co-Advisor	 _____
3. Dra. Ita Ulfin, M.Si	Examiner	 _____
4. Prof. Dr. Fahimah Martak, M.Si	Examiner	 _____

SURABAYA
2 August 2024

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Herlinda Ayu Wulandari / 5004201101
Departemen : Kimia
Dosen Pembimbing / NIP : Suprpto, S.Si., M.Si., Ph.D. / 19729019 199802 1 002
Dosen Co-Pembimbing : Yatim Lailun Ni'mah M.Si., Ph.D. / 19840524 200812 2 006

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Sintesis Nanopartikel Perak Dan Evaluasi Aktivitas Antioksidan: Optimasi *Response Surface Methodology* (RSM)” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah Penulisan ilmiah. Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 1 Juli 2024

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Dosen Co-Pembimbing

Mahasiswa



(Suprpto, M.Si., Ph.D)
NIP. 19729019 199802 1 002



(Yatim Lailun Ni'mah M.Si., Ph.D)
NIP. 19840524 200812 2 006



(Herlinda Ayu W.)
NRP. 5004201101

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Herlinda Ayu Wulandari / 5004201101
Department : Chemistry
Advisor / NIP : Suprpto, S.Si., M.Si., Ph.D / 19729019 199802 1 002
Co-Advisor : Yatim Lailun Ni'mah M.Si., Ph.D. / 19840524 200812 2 006

hereby declare that the Final Project with the title of "Synthesis of Silver Nanoparticle and Antioxidant Activity Evaluation: Optimization *Response Surface Methodology* (RSM)" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing. If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Sepuluh Nopember Institute of Technology.

Surabaya, 1 July 2024

Acknowledged
Advisor



(Suprpto, M.Si., Ph.D)
NIP. 19729019 199802 1 002

Co-Advisor



(Yatim Lailun Ni'mah M.Si., Ph.D)
NIP. 19840524 200812 2 006

Student



(Herlinda Ayu W.)
NRP. 5004201101

SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK DAN EVALUASI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN: OPTIMASI *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM)

Nama Mahasiswa / NRP. : Herlinda Ayu Wulandari / 5004201101
Departemen : Kimia
Dosen Pembimbing : Suprpto, M.Si., Ph.D.
Dosen Co-Pembimbing : Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D.

ABSTRAK

Sintesis nanopartikel perak ini menggunakan beberapa parameter meliputi konsentrasi asam tartarat, suhu dan waktu sonikasi sehingga untuk mempersingkat waktu dan mengoptimalkan proses sintesis penting dilakukan proses optimasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum sintesis nanopartikel perak berbasis *Response Surface Method (RSM)-Face Centered Central Composite Design (F-CCD)*, serta mengetahui aktivitas nanopartikel perak sebagai antioksidan. Sintesis AgNP meliputi tiga faktor respon yaitu konsentrasi asam tartarat (0,5; 1,0 ; 1,5 M), waktu sonikasi (20, 40, 60 menit) dan suhu sonikasi (40, 60, 80°C). Desain penelitian menghasilkan 22 kode sampel yang berbeda. Setelah proses sintesis AgNP yang diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Data absorbansi optimum kemudian diinput dalam RSM yang akan divisualisasikan melalui plot 3D. Kondisi optimum sintesis AgNP dicapai pada konsentrasi asam tartarat 1,0 M, waktu sonikasi 40 menit dengan suhu sonikasi 60°C. Data yang dianalisis dalam RSM adalah data absorbansi sintesis AgNP dengan waktu pendiaman selama 0 hari dan 8 hari. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi stabilitas AgNP. Sampel (a) untuk sampel dengan waktu pendiaman selama 0 hari sedangkan (b) sampel dengan waktu pendiaman selama 8 hari. Setelah dilakukan pengamatan dengan waktu selama 8 hari didapatkan nilai absorbansi yang signifikan di antara kedua larutan di mana larutan AgNP dengan penambahan asam tartarat memiliki rata-rata absorbansi yang lebih rendah dibandingkan dengan larutan AgNP tanpa penambahan asam tartarat. Sintesis AgNP dilakukan karakterisasi dengan *Particle Size Analyzer (PSA)*, *Transmission Electron Microscope (TEM)* dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*. Hasil pengujian menunjukkan partikel berbentuk *spherical* dengan ukuran 102,17 nm. Dari hasil FTIR, terlihat adanya asam tartarat yang berperan sebagai *capping agent* dalam sintesis AgNP disebabkan terdapat adanya interaksi antara gugus fungsional tartarat yaitu gugus karboksilat (gugus C=O dan -OH) dengan permukaan logam perak. Pengujian antioksidan dilakukan dengan metode DPPH menghasilkan inhibisi sebesar 66,9%.

Kata Kunci: *Nanopartikel Perak (AgNP), RSM, Central Composite Design, Aktivitas Antioksidan*

SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION: OPTIMIZATION *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)*

Student Name / NRP. : Herlinda Ayu Wulandari / 5004201101
Department : Chemistry
Advisor : Suprpto, M.Si., Ph.D.
Co-Advisor : Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D.

ABSTRACT

The synthesis of silver nanoparticles uses several parameters including tartaric acid concentration, temperature and sonication time so that to shorten the time and optimize the synthesis process it is important to do an optimization process. This study aims to determine the optimum conditions for the synthesis of silver nanoparticles based on Response Surface Method (RSM)-Face Centered Central Composite Design (F-CCD), and to determine the activity of silver nanoparticles as antioxidants. The synthesis of AgNPs included three response factors: tartaric acid concentration (0.5; 1.0; 1.5 M), sonication time (20, 40, 60 min) and sonication temperature (40, 60, 80°C). The research design resulted in 22 different sample codes. After the synthesis process, AgNPs were measured by UV-Vis spectrophotometer. The optimum absorbance data was then inputted in RSM which will be visualized through 3D plot. The optimum condition of AgNP synthesis was achieved at a tartaric acid concentration of 1.0 M, sonication time of 40 minutes with sonication temperature of 60°C. The data analyzed in RSM is the absorbance data of AgNP synthesis with 0 days and 8 days of standing time. This aims to identify the stability of AgNPs. Sample (a) is for the sample with 0 days dwell time while (b) is for the sample with 8 days dwell time. After observation for 8 days, a significant absorbance value was obtained between the two solutions where the AgNP solution with the addition of tartaric acid had a lower average absorbance compared to the AgNP solution without the addition of tartaric acid. AgNP synthesis was characterized by Particle Size Analyzer (PSA), Transmission Electron Microscope (TEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The test results showed spherical particles with a size of 102.17 nm. From the FTIR results, it can be seen that tartaric acid acts as a capping agent in the synthesis of AgNPs due to the interaction between tartaric functional groups, namely carboxylic groups (C = O and -OH groups) with silver metal surfaces. Antioxidant testing was carried out with the DPPH method resulting in 66.9% inhibition.

Keywords: *Silver Nanoparticles (AgNPs), RSM, Central Composite Design, Antioxidant Activity*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah yang diberikan sehingga tugas akhir yang berjudul “Sintesis Nanopartikel Perak Dan Evaluasi Aktivitas Antioksidan: Optimasi *Response Surface Methodology* (RSM)” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana Jurusan Kimia dapat terselesaikan dengan baik. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses penyusunan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Bapak Suprpto, M.Si., Ph.D. dan Ibu Yatim Lailun Ni'mah, M.Si, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan memberikan pengarahan selama proses pelaksanaan hingga penyelesaian naskah tugas akhir.
2. Prof. Dr. rer. nat Fredy Kurniawan, M.Si selaku Kepala Departemen Kimia yang telah memberikan fasilitas sehingga tugas akhir dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Djarot Sugiarto K.S., M.Si selaku Kepala Laboratorium Instrumentasi Sains Analitik yang telah memberikan fasilitas selama penelitian dan pengerjaan ini berlangsung.
4. Bu Yulfi Zetra, M.S selaku Dosen wali yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan hingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bu Fataty selaku Laboran ISA yang telah memberikan pengarahan selama proses penelitian berlangsung.
6. Ayah, Ibu dan Mas, Mba yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan serta semangat yang tiada henti.
7. Teman-teman di Laboratorium ISA dan teman-teman kos yang saling memberikan dukungan.
8. Semua pihak yang telah memberi kontribusi yang tidak saya sebutkan satu persatu.
9. Serta terimakasih banyak kepada diri sendiri yang begitu luar biasa telah bertahan dan menikmati semua proses panjang dalam pengerjaan tugas akhir. Terima kasih sudah selalu berusaha dan kooperatif, hingga akhirnya mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa Penulisan naskah tugas akhir ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu, diharapkan kritik dan saran yang dapat membangun dalam meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi Penulis dan Pembaca.

Surabaya, Juli 2024

Herlinda Ayu Wulandari

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
APPROVAL SHEET	vi
PERNYATAAN ORISINALITAS	vii
STATEMENT OF ORIGINALITY	viii
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	5
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Sintesis Nanopartikel Perak	8
2.2.2 Asam Tartarat	9
2.2.3 Natrium Borohidrida (NaBH_4)	9
2.2.4 Karakterisasi Perak Nanopartikel	10
2.2.4.1 Spektrofotometer UV-Vis	10
2.2.4.2 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	12
2.2.4.3 <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM)	13
2.2.4.4 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	14
2.2.5 Desain Eksperimen	15
2.2.5.1 <i>Response Surface Methodology</i> (RSM) - <i>Face Centered Central Composite Design</i> (F-CCD)	15
2.2.6 Pengujian Antioksidan	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Metode Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	20
3.2.1 Alat	20
3.2.2 Bahan	20
3.3 Prosedur Penelitian	20
3.3.1. Pembuatan Larutan Perak Nitrat (AgNO_3)	20
3.3.2. Pembuatan Larutan Asam Tartarat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$)	20
3.3.3. Pembuatan Larutan Natrium Borohidrat (NaBH_4)	20
3.3.4. Sintesis Nanopartikel Perak (AgNP)	21
3.3.5. Pengujian Spektra UV-Vis Nanopartikel Perak (AgNP)	21
3.3.6. Analisa Data <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	21
3.3.7. Karakterisasi AgNP dengan <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	21
3.3.8. Karakterisasi AgNP dengan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	21
3.3.9. Karakterisasi AgNP dengan <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM)	22

3.3.10. Pengujian Antioksidan	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Sintesis dan Karakterisasi Perak Nanopartikel	23
4.2 Optimasi Proses Sintesis Nanopartikel Perak dengan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	24
4.3 Karakterisasi AgNP dengan Spektrofotometer UV-Vis	29
4.4 Karakterisasi AgNP dengan TEM	31
4.5 Karakterisasi AgNP dengan PSA.....	31
4.6 Karakterisasi AgNP dengan FTIR	32
4.7 Uji Aktivitas Antioksidan	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN	43
BIODATA PENULIS.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Pendekatan <i>Top-down</i> dan <i>Bottom-up</i> (Pareek dkk., 2017).....	8
Gambar 2. 2	Struktur Asam Tartarat.....	9
Gambar 2. 3	Bagian-bagian Spektrofotometer UV-Vis (Shim, 2024).....	10
Gambar 2. 4	Spektrum absorbansi UV-Vis nanopartikel perak pada parameter nilai pH yang berbeda (Vu dkk., 2018)	12
Gambar 2. 5	Hasil karakterisasi PSA AgNP-kitosan dengan variasi lama sintesis 1, 2 dan 3 (Junaidi dkk., 2015)	13
Gambar 2. 6	Mikrograf TEM AgNP dengan perbesaran 20 nm (Firdianti, Birgitta, 2024) ..	14
Gambar 2. 7	Spektra FTIR pada AgNP dengan capping agent asam tartarat (Begum dkk., 2022)	15
Gambar 2. 8	Plot 3D RSM (a) maksimum, (b) minimum, (c) <i>saddle</i> , (d) maksimum diluar wilayah percobaan, (e) plateau (Breig and Luti, 2021).	16
Gambar 4. 1	Spektra UV-Vis pada 22 sampel.....	23
Gambar 4. 2	Hubungan antara nilai prediksi dan nilai aktual eksperimen AgNP (a) Hari 0 (b) Hari 8	24
Gambar 4. 3	Visualisasi <i>Response Surface Methodology</i> (RSM) untuk (a) waktu dan suhu sonikasi, (b) suhu sonikasi dan konsentrasi tartarat, (c) konsentrasi tartarat dan waktu sonikasi pada waktu pengamatan hari ke-0.....	27
Gambar 4. 4	Visualisasi <i>Response Surface Methodology</i> (RSM) untuk (a) waktu dan suhu sonikasi, (b) suhu sonikasi dan konsentrasi tartarat, (c) konsentrasi tartarat dan waktu sonikasi pada waktu pengamatan hari ke-8.....	28
Gambar 4. 5	Plot titik optimum sintesis AgNP hari ke-0	29
Gambar 4. 6	Plot titik optimum sintesis AgNP hari ke-8	29
Gambar 4. 7	Spektra UV-Vis dari larutan AgNP optimum	30
Gambar 4. 8	Spektra UV-Vis pada AgNP dengan waktu pengamatan selama 8 hari	31
Gambar 4. 9	Mikrograf TEM dari AgNP.....	31
Gambar 4. 10	Hasil karakterisasi pada AgNP (a) PSA, dan (b) Potensial zeta	32
Gambar 4. 11	Spektra FTIR pada AgNP dan tartarat murni.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu	5
Tabel 2. 2 Perkiraan panjang gelombang warna dalam rentang cahaya tampak (Pratiwi, 2022)	11
Tabel 2. 3 Aktivitas antioksidan nanopartikel perak capping agent asam tartarat (Begum dkk., 2022)	17
Tabel 3. 1 Parameter Eksperimen Desain	19
Tabel 3. 2 Face Centered – Central Composite Design (F-CCD) dengan tiga parameter sintesis AgNP	19
Tabel 4. 1 Regresi Ordinary Least Squares (OLS)	26

Halaman sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aplikasi nanoteknologi di berbagai cabang kimia, industri, dan medis telah menjadi perhatian dunia penelitian sains untuk dikembangkan (Gallo dkk., 2019). Berkembangnya nanoteknologi tidak terlepas dari nanopartikel sebagai bahan utama. Nanopartikel telah dimanfaatkan untuk kemajuan teknologi karena peningkatan kinerja dan sifat yang lebih baik dibandingkan material yang lebih besar. Di sisi lain, logam nanopartikel memiliki sifat fisikokimia yang menarik sehingga telah ditemukan banyak aplikasi seperti katalisis, elektronik sensor, kedokteran, dan perangkat optik. Nanopartikel biasa dijumpai dalam berbagai bentuk seperti bola, segitiga, heksagonal, kubus, cacing, batang dll (Sayed dkk., 2022). Penelitian mengenai sintesis nanopartikel logam dengan berbagai bentuk dan ukuran telah banyak dikembangkan. Nanopartikel dapat diklasifikasikan menjadi karbon, anorganik, organik, komposit, dan partikel berbasis bio pada skala nanometrik, dan dapat diproduksi dalam morfologi berbeda dengan metode berbeda (Abbasi dkk., 2023).

Berbagai riset yang sudah dilakukan dalam sintesis nanopartikel yaitu sintesis nanopartikel menggunakan logam perak seperti logam emas (Au), perak (Ag), besi (Fe), seng oksida (SiO), tembaga (Cu), palladium (Pd), platina (Pt), dll (Kinneer dkk., 2017). Penelitian sebelumnya telah melaporkan banyak manfaat dari berbagai nanopartikel salah satunya yaitu sintesis nanopartikel dengan logam perak (Ag) yang dapat diaplikasikan pada bidang *nanomedicine*, *energy*, *biomaterials*, dan makanan (Annisaa Siti dkk., 2021). Perak (Ag) merupakan logam berwarna putih, lebih keras dari Au, berkilau, sangat ulet dan mudah dibentuk (Ijaz dkk., 2022). Nanopartikel perak (AgNP) telah menarik banyak minat karena biokompatibilitasnya yang sangat baik, konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, aktivitas elektrokimia dan antimikroba karena memiliki sifat bahan yang *biocidal* (Annisaa Siti dkk., 2021; Rajkuberan dkk., 2015). Namun, stabilitas kimia yang kurang dan kecenderungan nanopartikel untuk menggumpal sehingga banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan stabilitasnya dengan menggunakan material yang disebut dengan *capping agent* (Ibrahim dkk., 2023). Sifat fisikokimia nanostruktur ini dapat dipertahankan dengan memahami bahwa stabilitas adalah parameter penting untuk studi fundamental yang dijelaskan sebagai fungsi dari komposisi, ukuran, bentuk, dan kimia permukaan (Phan, 2019; Riaz Ahmed dkk., 2017).

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan menggunakan metode aerosol, iradiasi gelombang mikro, fotokimia, elektrokimia, reaksi reduksi kimia, sonokimia, serta proses biologi (Din, 2017). Berdasarkan beberapa metode yang telah dilakukan peneliti sebelumnya, penelitian ini dilakukan dengan proses reaksi reduksi kimia. Metode reduksi kimia dipilih sebagai metode yang paling efektif untuk menghasilkan nanopartikel perak dikarenakan langkah kerja yang mudah, cepat, murah, dan menggunakan temperatur rendah (Ariyanta, 2014; Goia dan Matijević, 1998). Umumnya ketika preparasi nanopartikel logam dengan metode reduksi kimia, ion logam direduksi oleh agen pereduksi dengan adanya agen protektif untuk menstabilkan nanopartikel. Metode ini melibatkan beberapa peranan meliputi, prekursor logam, agen pereduksi, *capping agent*, dan pelarut. Prekursor merupakan senyawa atau zat yang mengawali proses pembentukan senyawa lain melalui reaksi kimia atau biokimia. Prekursor bertindak sebagai bahan baku pada sintesis nanopartikel. Agen pereduksi adalah zat yang bertanggung jawab untuk mereduksi ion logam menjadi bentuk logamnya yang kemudian membentuk nanopartikel. Agen pereduksi berperan mendonorkan elektron ke ion logam, menyebabkan ion tersebut mengalami reduksi. Pemilihan agen pereduksi sangat penting karena

mempengaruhi ukuran, bentuk, dan sifat nanopartikel yang dihasilkan. Pada agen penstabil bertindak untuk menjaga konsistensi ukuran nanopartikel sekaligus mencegah terjadinya aglomerasi. Agen penstabil yang biasa digunakan dalam pembuatan nanopartikel, contohnya asam tartarat, PVA, PVP, asam oleat dan trinitrium sitrat (Badineni dkk., 2021; Quintero-Quiroz dkk., 2019). Asam tartarat telah digunakan sebagai *capping agent* untuk produksi AgNP bermuatan negatif, yang stabil dan tetap terdispersi selama lebih dari satu bulan (Rajar dkk., 2018; Ravindran dkk., 2013). Penggunaan asam tartarat didasarkan pada sifat untuk berinteraksi dengan permukaan nanopartikel melalui gugus hidroksil dan karboksilat memungkinkan peningkatan stabilitas nanopartikel dalam suspensi berair, mencegah aglomerasi, dan mempertahankan sifat-sifat optik dan katalitik nanopartikel. Konsentrasi *capping agent* yang tidak tepat dapat mempengaruhi hasil nanopartikel. Tanpa adanya *capping agent* logam akan terus membentuk partikel secara kontinu (Nguyen dkk., 2022). Pada agen pereduksi digunakan NaBH_4 . Kecepatan reduksi NaBH_4 ketika ditambahkan ke larutan prekursor logam dapat dengan cepat bereaksi dengan ion logam, dan dapat mengubah mereka menjadi nanopartikel logam (Shankar, 2015). Reduktor kuat seperti NaBH_4 berperan dalam menyediakan elektron bebas yang diperlukan untuk mereduksi ion perak. Agen pereduksi ini memiliki kemampuan reduksi yang lebih tinggi daripada sitrat sehingga dapat digunakan untuk mengontrol ukuran dan bentuk spesifik dalam sintesis AgNP (Pryshchepa dkk., 2020).

Proses optimasi parameter dalam sintesis AgNP telah banyak dikembangkan untuk menghasilkan penemuan baru; misalnya, variasi konsentrasi prekursor perak, kekuatan reduktor waktu sonikasi dll. Penggunaan konsentrasi AgNO_3 yang terlalu rendah menyebabkan pertumbuhan dan nukleasi nanopartikel tidak sempurna sehingga menghasilkan ukuran partikel nano yang kecil namun mempunyai bentuk tidak beraturan. Demikian pula jika konsentrasi AgNO_3 terlalu tinggi menghasilkan AgNP dengan ukuran yang lebih besar dan tersebar luas. Hal ini akan mempengaruhi proses penstabilan sehingga meningkatkan terjadinya aglomerasi (Ali dkk., 2020). Penelitian sebelumnya yang dilakukan Vu dkk, kondisi optimum dalam sintesis AgNP dicapai pada konsentrasi prekursor perak nitrat dan natrium borohidrida masing-masing 0,001 M dan 0,002 M menghasilkan AgNP bentuk bulat dan diameter rata-rata AgNP 8nm (Vu dkk., 2018). Selanjutnya, Kumar dkk, mencapai kondisi optimum sintesis pada konsentrasi prekursor AgNO_3 0,001 M dalam 0,187 gm/100 mL NaBH_4 (Kumar dkk., 2017). Hasil penelitian sebelumnya kondisi optimumnya muncul dari satu atau dua faktor saja. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel perak dengan metode reduksi kimia digunakan dengan beberapa faktor, yaitu variasi konsentrasi asam tartarat sebagai *capping agent*, waktu dan suhu sonikasi.

Optimasi lebih sistematis dapat menggunakan metode desain eksperimen dengan *Response Surface Method* (RSM). *Response Surface Methodology* (RSM) terdapat beberapa desain optimasi yaitu meliputi *central composite design* (CCD), *full factorial design* (FFD), *box-behnken design* (BBD), dan *doehlert design* (DD) yang berpengaruh terhadap ketepatan prediksi model dan respon (Karimifard dan Alavi Moghaddam, 2018). Pengamatan kondisi optimum dilakukan dengan *Central Composite Design* (CCD) berjenis *Face Centered* (F-CCD). Keunggulan *Central Composite Design* (CCD) yaitu memiliki *star point* yang terletak agak jauh dari pusat ruang area eksperimen, sehingga meningkatkan akurasi model juga analisis yang lebih komprehensif (Wagner dkk., 2014). Optimasi kondisi pada beberapa faktor untuk meninjau hubungan antara masing-masing faktor, dengan setiap faktor dilakukan variasi sebanyak 3 level (-1, 0, +1) untuk mengkodekan parameter uji.

Aplikasi nanopartikel perak dalam kehidupan sehari-hari cukup luas salah satunya yaitu sebagai antioksidan (Du dkk., 2019). Antioksidan merupakan suatu zat yang dapat meredam radikal bebas (Anggarani dkk., 2023; Hur dkk., 2014). Berdasarkan jenis bahan penyusunnya antioksidan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: antioksidan organik dan anorganik.

Nanopartikel perak adalah salah satu contoh antioksidan anorganik, karena dapat meredam aktivitas radikal bebas sehingga dapat menghambat terjadinya reaksi pembentukan radikal bebas (Oktavia dan Sutoyo, 2021).

Fokus penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum sintesis nanopartikel perak yang dianalisis dengan metode *Response Surface Method (RSM)- Face Centered Central Composite Design (F-CCD)* menggunakan tiga faktor yang berbeda, yaitu konsentrasi *capping agent* asam tartarat, waktu dan suhu sonikasi. Pengujian nanopartikel perak diawali dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data absorbansi paling optimum yang akan diolah menggunakan *Response Surface Method (RSM)*. Selanjutnya dilakukan karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), TEM (*Transmission Electron Microscope*), dan PSA (*Particle Size Analyzer*). Interaksi antar faktor respons dengan variabel output dalam RSM menghasilkan area berupa daerah optimum kondisi sintesis. Studi aktivitas antioksidan dipilih metode DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) karena memiliki keunggulan yaitu metode analisisnya yang bersifat sederhana, cepat, mudah dan sensitif terhadap sampel dengan konsentrasi yang kecil (Karadag dkk., 2009).

1.2 Rumusan Permasalahan

Sintesis nanopartikel perak dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor dan kondisi diantaranya yaitu, konsentrasi *capping agent*, waktu dan suhu sonikasi. Beberapa penelitian sebelumnya terkait optimasi sintesis nanopartikel perak menerapkan satu faktor sehingga hanya ada satu kondisi optimum karena tidak dapat menghubungkan dan menganalisis interaksi antara faktor respons secara bersamaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimalisasi proses sintesis AgNP dimana penelitian ini menggunakan metode desain eksperimen *Response Surface Method (RSM)-Face Centered Central Composite Design (F-CCD)* dengan mengoptimasi parameter relevan yang mempengaruhi sintesis nanopartikel perak dan aplikasi nanopartikel perak dalam berbagai bidang salah satunya yaitu sebagai antioksidan dilakukan dengan evaluasi aktivitas antioksidan.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dirancang sesuai dengan metode desain eksperimen *Response Surface Method (RSM)-Face Centered Central Composite Design (F-CCD)* dengan tiga parameter yaitu konsentrasi asam tartarat sebagai *capping agent*, waktu dan suhu sonikasi. Digunakan variasi konsentrasi asam tartarat yakni sebesar 0,5; 1,0; 1,5 M. Variasi waktu sonikasi sebesar 20, 40 dan 60 menit, selanjutnya pada suhu sonikasi yang digunakan untuk sintesis sebesar 40, 60 dan 80°C. Pada pengujian dilakukan spektrofotometer UV-Vis. Data absorbansi paling optimum diolah dengan *Response Surface Method (RSM)*. Kemudian dilakukan karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), TEM (*Transmission Electron Microscope*), dan PSA (*Particle Size Analyzer*). Analisis nanopartikel perak sebagai bahan antioksidan ditinjau dari kemampuan dalam meredam radikal bebas dengan metode DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil).

1.4 Tujuan

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum sintesis nanopartikel perak berbasis *Response Surface Method (RSM)-Face Centered Central Composite Design (F-CCD)*, serta mengetahui aktivitas nanopartikel perak sebagai antioksidan.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi optimum proses sintesis nanopartikel perak dengan *Response Surface Method (RSM)-Face Centered*

Central Composite Design (F-CCD), serta memberi informasi tentang aktivitas nanopartikel perak sebagai antioksidan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya mengenai nanopartikel perak bertujuan untuk mengetahui kondisi paling optimum terkait sintesis AgNP. Berikut ditampilkan hasil dari penelitian sebelumnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Pustaka
1.	Optimasi Proses Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Response Surface Methodology (RSM) Untuk Evaluasi Antibakteri	Sintesis AgNP dilakukan dengan parameter dan level meliputi konsentrasi AgNO ₃ , konsentrasi NaBH ₄ , dan waktu sonikasi. Parameter konsentrasi AgNO ₃ yaitu 0,0005 M, 0,001 M dan 0,002 M. Konsentrasi NaBH ₄ yaitu 0,001 M, 0,01 M, dan 0,1 M untuk waktu sonikasi meliputi 0, 10 dan 20 menit. Pada penelitian ini menggunakan metode RSM-CCF. Langkah pertama yaitu dengan cara mencampurkan 10 mL PVP 0,01 M dengan 2 mL larutan perak nitrat dalam labu Erlenmeyer kemudian diaduk pada temperatur ruang. Setelah penambahan larutan larutan perak nitrat, ditambahkan natrium borohidrida 0,5 mL sebagai agen reduktor. Setelah itu, dilakukan sonikasi. Larutan AgNP kemudian disimpan dalam botol vial kedap cahaya. Sampel siap	Hasil eksperimen menunjukkan ketiga faktor yang diteliti signifikan terhadap variabel respons. Kondisi optimum AgNP dicapai pada konsentrasi NaBH ₄ 0,061 M, konsentrasi AgNO ₃ 0,002 M, dan waktu sonikasi selama 12 menit. AgNP berbentuk <i>spherical</i> dengan rata-rata ukuran partikel sebesar 5 ± 1,6 nm berdasarkan analisis TEM. Kemudian hasil analisis PSA yang menunjukkan puncak tunggal dengan lebih dari 26% partikel berukuran 9,892 nm.	(Firdianti, Birgitta, 2024)

		digunakan untuk karakterisasi.		
2.	Pengaruh Asam Tartarat dalam Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan <i>Response Surface Methodology</i>	Penelitian ini menggunakan polivinilpirolidon (PVP) dan asam askorbat sebagai <i>capping agent</i> , perak nitrat (AgNO_3), dan air demineralisasi. Larutan yang digunakan adalah larutan PVP 1%, larutan AA (0,025 M), dan larutan AgNO_3 (0,5 M). FCCD dioptimasi dengan menggunakan tiga parameter, yaitu konsentrasi asam tartarat (0,5; 1,0; dan 1,5 M), waktu sonikasi (10; 20; dan 30 menit), dan temperatur (40°C ; 60°C ; 80°C). Nanopartikel perak disintesis dengan mereaksikan 50 mL larutan PVP 1% dengan 30 mL larutan AgNO_3 dalam labu Erlenmeyer, diikuti dengan pengadukan pada kecepatan 350 rpm. Campuran tersebut kemudian ditambahkan dengan 0,025 mL larutan AA.	Berdasarkan proses optimasi yang dilakukan, didapatkan kondisi optimal untuk sintesis nanopartikel perak ditentukan sebagai berikut: konsentrasi asam tartarat maksimum 0,8 M, waktu sonikasi berkisar antara 15 hingga 30 menit, dan suhu berkisar antara 45°C hingga 65°C .	(Ni'mah dkk., 2023)
3.	Optimasi Sintesis Perak Nanopartikel Dengan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM) dan Aplikasinya Sebagai Antibakteri	Sintesis AgNP dilakukan dengan beberapa variasi kondisi, yakni variasi konsentrasi prekursor (AgNO_3) yaitu 0,001 M; 0,005 M dan 0,01M konsentrasi reduktor (glukosa) sebesar 0,01 M; 0,05 M; dan 0,1 M serta waktu sonikasi 0,	Hasil pengujian menunjukkan partikel berbentuk <i>spherical</i> berukuran 18,40 nm dengan puncak tunggal. Pengujian anti bakteri menghasilkan zona inhibisi sebesar 6,5 mm dan 4,8 mm	(Devian, Gabriel Denis, 2024)

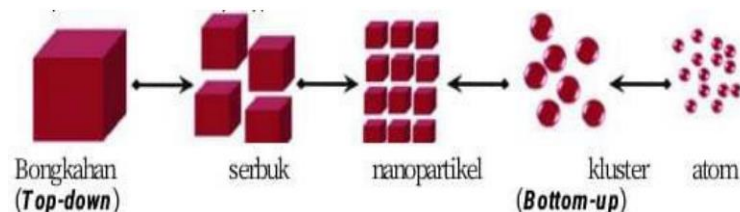
		10, dan 20 menit. Pembuatan AgNP diawali dengan memasukkan 8 mL AgNO ₃ , lalu ditambahkan dengan glukosa sebanyak 5 mL dan dilakukan sonikasi sesuai dengan variasi waktu. Setelah sonikasi selesai, larutan ditetesi dengan 100 µL NaOH 0,1 M. Optimasi dilakukan analisis RSM.	masing-masing untuk bakteri gram negatif dan positif.	
4.	Sintesis Dan Studi Nanopartikel Perak Untuk Aktivitas Antibakteri Terhadap <i>Escherichia Coli</i> dan <i>Staphylococcus Aureus</i>	Sintesis nanopartikel perak koloid (AgNP) adalah dilakukan dengan menggunakan NaBH ₄ sebagai agen pereduksi. Pertama, 100 mL dari larutan 10 ⁻³ M AgNO ₃ dicampur dengan berbagai jumlah 0,2, 0,5, 1,0 dan 2,0 gram pati untuk menghasilkan 4 larutan pati yang berbeda yang mengandung ion Ag ⁺ . Kedua, larutan diaduk dengan <i>magnetic stirrer</i> pada suhu 70°C untuk memastikan bahwa campuran tersebut homogen. Sementara larutan stabil pada suhu 70°C, 5 mL natrium 2 × 10 ⁻³ M larutan borohidrida ditambahkan secara bertahap ke dalam larutan. Larutan yang telah ditambahkan kemudian didinginkan.	Sintesis nanopartikel perak dengan NaBH ₄ sebagai agen reduktor menghasilkan AgNP dengan bentuk bulat dan diameter rata-rata AgNP 8 nm. Metode penelitian tersebut menunjukkan bahwa AgNP yang disintesis mempunyai aktivitas antibakteri yang baik terhadap patogen Gram-positif bakteri patogen Gram positif (<i>S. aureus</i>) dan bakteri Gram negatif <i>E. coli</i> .	(Vu dkk., 2018)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sintesis Nanopartikel Perak

Nanopartikel perak merupakan partikel yang memiliki ukuran berskala nano dengan rentang 1 – 100 nm. Definisi ini didasarkan pada standar ilmiah, termasuk ISO (*International Organization for Standardization*) dan IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*). Meskipun definisi nanopartikel adalah partikel dengan ukuran kurang dari 100 nm, dalam banyak aplikasi, partikel dengan ukuran hingga beberapa ratus nanometer sering dianggap sebagai nanopartikel karena menunjukkan sifat fisika atau kimia yang khas dari nanopartikel (Fendler, 1998). Sintesis nanopartikel perak dapat dilakukan dengan menggunakan metode fisika, kimia, biologi. Sintesis nanopartikel perak secara fisika menggunakan proses penguapan dan kondensasi dengan alat *furnace* pada tekanan atmosfer. Pada metode ini juga dapat dilakukan dengan cara konvensional yaitu pirolisis. Kelebihan dalam metode ini yaitu dari kecepatan, radiasi yang digunakan dan tidak digunakan bahan kimia berbahaya. Namun, pada metode ini membutuhkan energi yang tinggi, menghasilkan *yield* yang rendah, dan kecenderungan adanya kontaminasi pada pelarut (Chen dkk., 2014).

Proses sintesis secara kimia digunakan pelarut organik maupun pelarut berupa air. Sintesis AgNP dalam larutan membutuhkan tiga komponen utama yaitu prekursor, agen pereduksi, dan agen stabilisator yang dapat mengontrol ukuran dan bentuk sehingga didapat partikel dengan sifat tertentu. Komponen penting selanjutnya ialah pelarut, karena sebagian besar bahan kimia dan fabrikasi AgNP dilakukan dalam larutan (Pryshchepa dkk., 2020). Pendekatan yang sering digunakan pada metode kimia yaitu *top-down* dan *bottom-up* dapat dilihat pada Gambar 2. 1.



Gambar 2. 1 Pendekatan *Top-down* dan *Bottom-up* (Pareek dkk., 2017)

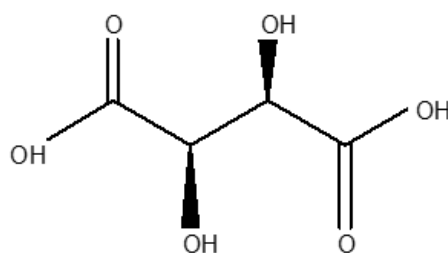
Pendekatan *bottom-up* merupakan pembuatan nanopartikel dengan mengumpulkan atom dan molekul untuk menghasilkan produk berskala nano (Bharathi dkk., 2020). Contohnya jika menggunakan proses reaksi kimia, zat kimia yang bereaksi akan bernukleasi dan atom-atom terus berkumpul di titik nukleasi tersebut dan beraglomerasi (koloid). Bahan-bahan lain dapat digunakan untuk memastikan proses aglomerasi ini tidak berjalan terus menerus. Pendekatan ini dilakukan dengan metode kimia yaitu reduksi kimia. Metode reduksi kimia adalah pendekatan yang umum digunakan untuk sintesis AgNP menggunakan agen pereduksi organik dan anorganik menghasilkan larutan perak berwarna. Metode ini efektif dalam menghasilkan nanopartikel dengan sederhana dan mudah. Selanjutnya, pendekatan *top-down* dilakukan dengan cara mengubah benda padat berukuran besar menjadi material tingkat makroskopis yang kemudian menghasilkan nanopartikel yang diinginkan. Proses ini cukup mudah dan dapat menghasilkan nanopartikel dalam skala besar meskipun membutuhkan energi yang cukup besar. Namun, nanopartikel yang dihasilkan lebih seragam dan rentan akan kontaminasi. Metal oksida nanopartikel sering dihasilkan dengan cara ini (Lungu dkk., 2015). Metode sintesis secara kimia dapat menghasilkan *yield* yang tinggi, tetapi dalam prosesnya memerlukan biaya yang cukup mahal dan berbahaya. Pada sintesis dengan metode biologi terdapat tiga faktor utama yaitu material non-toksik, pelarut dan agen pereduksi. Kelebihan dari metode ini adalah bentuk dan ukuran partikel yang dihasilkan dapat diatur sedemikian rupa

dimana hal ini sangat dibutuhkan dalam aplikasi medis. Selain itu dihasilkan asam amino, protein, dan agen metabolit sekunder dari proses sintesis dan terjadi penyingkatan tahapan untuk pencegahan terbentuknya agregat. Namun metode ini juga memiliki keterbatasan untuk mencapai struktur dan morfologi yang baik, digunakan agen pereduksi seperti NaBH_4 untuk menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang sama (Khodashenas dan Ghorbani, 2019).

Masing-masing metode sintesis menghasilkan larutan koloid AgNP dengan ukuran dan bentuk tertentu. Persiapan nanomaterial dengan prekursor organologam tidak terlepas dari komponen penting semacam zat penstabil untuk mengatur nanopartikel dalam mengontrol pertumbuhan, aglomerasi, dan karakteristik fisikokimianya (Niu dan Li, 2014). Salah satu agen penstabil nanopartikel yang digunakan yaitu asam tartarat (Sathishkumar dkk., 2010). Tiga komponen tersebut yaitu dari prekursor logam, agen stabilisator dan agen reduktor memengaruhi bentuk nanopartikel yang akan dihasilkan (Nair dkk., 2022).

2.2.2 Asam Tartarat

Asam tartarat adalah senyawa kimia turunan asam askorbat, seperti asam oksalat. Asam tartarat mempunyai 4 gugus hidroksil. Asam tartarat merupakan asam organik yang dikenal sebagai asam 2,3-dihidroksisuksinat atau asam rasemat. Penggunaan asam tartarat umumnya digunakan di bidang farmasi sebagai antioksidan atau pengemulsi. Asam tartarat juga digunakan dalam industri makanan (khususnya dalam selai, jus buah, acar, minuman ringan, dll.), dalam produksi berbagai bahan konstruksi, dan obat-obatan tertentu sebagai zat tambahan karena tidak dimetabolisme oleh tubuh manusia (Goldberg dan Rokem, 2009). Dalam penelitian ini, asam tartarat telah digunakan sebagai *capping agent* untuk produksi AgNP bermuatan negatif, yang stabil dan tetap terdispersi selama lebih dari satu bulan (Rajar dkk., 2018; Ravindran dkk., 2013). Salah satu peran utama penggunaan asam tartarat sebagai *capping agent* adalah untuk menstabilkan dan mengontrol pertumbuhan selama proses sintesis AgNP. Asam tartarat akan membentuk lapisan pelindung yang dapat mencegah terjadinya aglomerasi. Berdasarkan penelitian (Shitu dkk., 2020) penurunan ukuran partikel berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi asam tartarat disebabkan oleh fakta bahwa dengan meningkatkan konsentrasi asam tartarat, lebih banyak partikel yang akan dicegah untuk bereaksi dengan partikel lain sehingga mencegah terbentuknya partikel yang lebih besar. Berikut merupakan struktur asam tartarat yang ditunjukkan dalam Gambar 2. 2.



Gambar 2. 2 Struktur Asam Tartarat

2.2.3 Natrium Borohidrida (NaBH_4)

Natrium borohidrida merupakan senyawa anorganik dengan rumus kimia NaBH_4 . Natrium borohidrida (NaBH_4) sering diaplikasikan sebagai agen pereduksi kuat yang digunakan untuk mensintesis AgNP berukuran nano dan seragam (Khatoon dkk., 2023). Dalam kondisi normal, senyawa ini berbentuk padatan putih seperti tepung hingga keabu-abuan dan higroskopis. NaBH_4 adalah agen pereduksi yang banyak digunakan baik secara industri maupun dalam skala laboratorium. Dapat dicatat bahwa natrium borohidrida juga dikenal sebagai

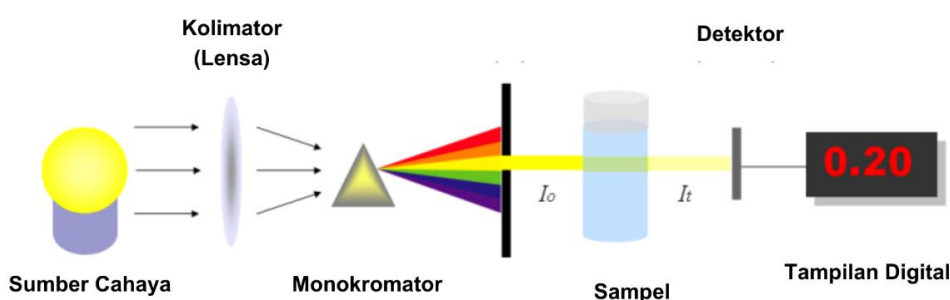
natrium tetrahidroborat dan natrium tetrahidroborat. Kecepatan reduksi NaBH_4 ketika ditambahkan ke larutan prekursor logam dapat dengan cepat bereaksi dengan ion logam, dan dapat mengurangi mereka menjadi nanopartikel logam. Reduktor kuat seperti NaBH_4 dapat berpengaruh positif terhadap reduksi ion Ag^+ menjadi ion Ag^0 (Shankar, 2015)

Agen pereduksi ini memiliki kemampuan reduksi yang lebih tinggi daripada sitrat sehingga dapat digunakan untuk kontrol ukuran dan bentuk spesifik dalam sintesis AgNP (Pryshchepa dkk., 2020). Sebagai contoh, pemanfaatan NaBH_4 untuk reduksi nanopartikel menghasilkan ukuran sebesar $(7.7 \pm 1.8 \text{ nm})$ (Silva dkk., 2021). Sebaliknya, penggunaan agen pereduksi yang kurang aktif atau lemah menyebabkan pembentukan struktur berongga dengan efisiensi yang lebih rendah dalam kasus hidrazin atau bahkan tidak menghasilkan morfologi berongga sama sekali. Selain itu, pemanfaatan NaBH_4 yang tepat sebagai agen pereduksi memungkinkan untuk mensintesis NP dengan berbagai bentuk dan ukuran, seperti bola, batang dan segitiga. Namun, koloid seragam hanya dapat diperoleh untuk NPs bulat, sedangkan seperti batang dan segitiga bersama dengan NPs bulat terjadi dalam larutan sebagai campuran dengan rasio molar yang berbeda (Huang dan Xu, 2010).

2.2.4 Karakterisasi Perak Nanopartikel

2.2.4.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk karakterisasi awal nanopartikel. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar nanopartikel dalam jumlah kecil berdasarkan daya absorpsi zat tersebut terhadap sinar UV atau sinar tampak serta digunakan untuk memantau stabilitas dari sintesis AgNP (Rajeshkumar dan Bharath, 2017). Pengujian spektrofotometer UV-Vis merupakan teknik sederhana, cepat, sensitif dan selektif untuk berbagai jenis nanopartikel dengan serapan cahaya dibagi menjadi daerah ultraviolet (190-400 nm) dan daerah tampak (400-800 nm) (Kafle, 2020; Tomaszewska dkk., 2013). Spektrum serapan UV-Vis nanopartikel, dalam kisaran 300-700 nm sering digunakan untuk memantau sintesis dan stabilitasnya. Resonansi plasmon permukaan (SPR) dari nanopartikel merupakan karakteristik utama untuk mengonfirmasi adanya nanopartikel (Jebriil dkk., 2020; Rajeshkumar dan Bharath, 2017). Penelitian lain menjelaskan karakteristik nanopartikel perak memiliki resonansi plasmon (SPR) antara 393-403 nm (Vu dkk., 2018).



Gambar 2. 3 Bagian-bagian Spektrofotometer UV-Vis (Shim, 2024)

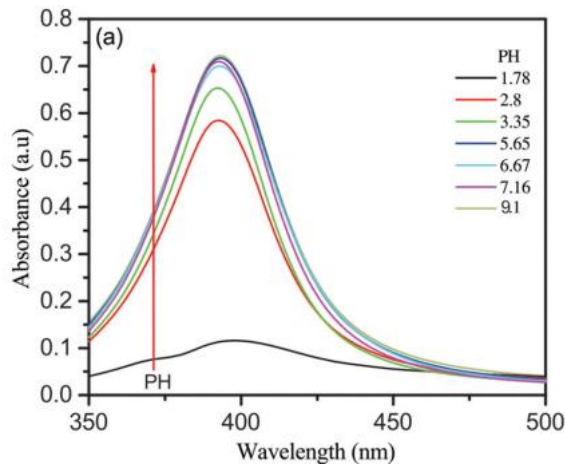
Pada Gambar 2. 3 menunjukkan bagian-bagian dari spektrofotometer UV-Vis. Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis yaitu sumber sinar polikromatis yang dilewatkan melalui monokromator diubah menjadi sinar monokromatis yang kemudian diteruskan melalui sel yang berisi sampel. Sebagian sinar akan diserap oleh sel dan sebagian lagi akan diteruskan ke fotosel yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Energi listrik yang akan memberikan sinyal pada detektor yang kemudian akan diubah menjadi nilai serapan (absorbansi) dari zat yang dianalisa. Pengujian pada spektrofotometer UV-Vis diperlukan

adanya larutan blanko, yang berperan untuk memberikan respon terhadap *baseline*. Skema alat spektrofotometer UV-Vis terdiri dari monokromator sebagai sumber cahaya berupa prisma segitiga, sampel di dalam kuvet, beserta detektor. Spektrofotometer UV-Vis bekerja dengan cara menembakkan sinar yang berasal dari sumber cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Awalnya cahaya masih bersifat polikromatis, sedangkan untuk menembakkan sinar ke arah sampel dengan spesifikasi panjang gelombang tertentu, sinar yang ditembakkan harus diubah menjadi bentuk monokromatis. Bagian monokromator, yang terdiri dari celah sinar masuk, elemen dispersi, dan celah sinar keluar adalah bagian yang memiliki peran untuk mengubah cahaya polikromatis menjadi monokromatis. Sinar yang telah diubah menjadi monokromatis ditembakkan menuju sampel sesuai dengan panjang gelombang yang diinginkan, lalu respon ditangkap oleh detektor. Ketika radiasi diserap oleh sampel, kekuatan berkas radiasi yang tiba di detektor foton berkurang, sehingga dengan mengukur daya tereduksi melalui kuvet yang berisi sampel, maka konsentrasi sampel dapat ditentukan (Kafle, 2020). Penyerapan radiasi ultraviolet atau radiasi tampak oleh suatu molekul menyebabkan transisi di antara tingkat energi elektronik molekul dari tingkat energi dasar (*ground stated*) ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited stated*) dan memiliki transisi yang termasuk dalam rentang UV-Vis adalah π - π^* dan n - π^* (Link dan El-Sayed, 2003). Panjang gelombang cahaya yang diserap akan ditransmisikan melalui sampel. Cahaya yang ditransmisikan inilah yang dapat diamati dengan mata. Perkiraan gelombang cahaya tersebut dapat diuraikan dalam Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Perkiraan panjang gelombang warna dalam rentang cahaya tampak (Pratiwi, 2022)

Panjang gelombang (nm)	Warna yang diserap	Warna yang teramati
340-450	Ungu	Hijau kekuningan
450-495	Biru	Kuning
495-570	Hijau	Ungu
570-590	Kuning	Biru
590-620	Orange	Biru kehijauan
620-750	Merah	Hijau kebiruan

Penelitian sebelumnya menjelaskan spektra absorpsi UV-Vis dari sampel yang disintesis dengan berbagai konsentrasi AgNO_3 ditunjukkan pada Gambar 2.4. Intensitas penyerapan meningkat secara kuasi linier dengan peningkatan dengan meningkatnya konsentrasi AgNO_3 selama reaksi. Semua larutan menunjukkan karakteristik permukaan AgNP resonansi plasma (SPR) yang biasanya terletak di antara 393 - 403 nm. Ini adalah karakteristik nanopartikel perak. Intensitas puncak serapan SPR meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi AgNO_3 sebelum direaksikan. Hal ini berarti bahwa ukuran AgNP yang terbuat dari larutan tersebut semakin besar dan warna larutan tersebut berubah dari kuning cerah menjadi merah-oranye. Hasil ini menunjukkan bahwa serapan larutan AgNP berbanding lurus dengan konsentrasi AgNO_3 (Vu dkk., 2018).



Gambar 2. 4 Spektrum absorbansi UV-Vis nanopartikel perak pada parameter nilai pH yang berbeda (Vu dkk., 2018)

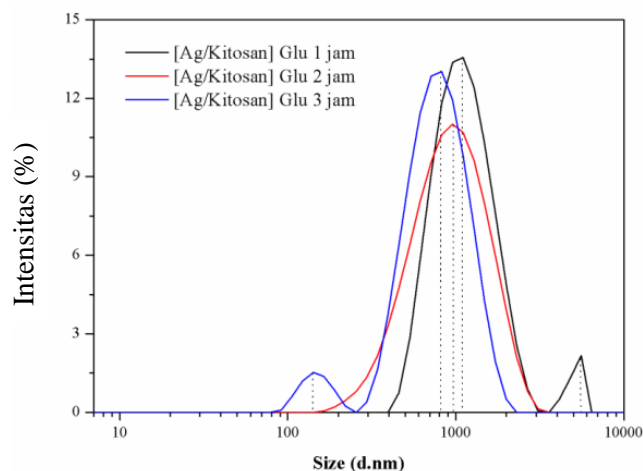
2.2.4.2 Particle Size Analyzer (PSA)

Particle size analyzer (PSA) merupakan instrumen yang berfungsi untuk mengukur ukuran partikel sampel, distribusi ukuran partikel dan bentuk senyawa yang akan digunakan. Pada pengujian PSA sering digunakan ada dua detektor, satu untuk mengukur intensitas cahaya yang diteruskan dan detektor lain untuk mengukur intensitas cahaya terhambur pada sudut tertentu, Berkas cahaya tampak yang digunakan umumnya berasal dari lampu Helium atau Neon, sedangkan detektor yang sering digunakan umumnya berupa photomultiplier atau fotodiode. Instrumen PSA juga dapat mengukur potensial zeta (Shekunov dkk., 2007). Pada instrumen hamburan cahaya, potensial zeta diukur dengan teknik *electrophoretic light scattering*, dimana suatu medan listrik diaplikasikan pada sampel, dan pergeseran frekuensi doppler cahaya terhambur dibandingkan dengan berkas cahaya referensi untuk menghitung potensial zeta (Larasati Anindy, 2018).

Ada beberapa metode dalam PSA salah satunya yaitu *Dynamic Light Scattering* (DLS). Prinsip kerja PSA berjenis *Dynamic Light Scattering* (DLS) yaitu dengan mengirimkan seberkas cahaya ke partikel dalam suspensi cair dan mengukur cahaya yang tersebar. Intensitas cahaya yang tersebar berkaitan dengan distribusi ukuran partikel. Analisis didasarkan pada gerak brown (gerak acak dari partikel yang sangat kecil dalam cairan akibat benturan dengan molekul-molekul yang ada dalam zat cair), dimana partikel besar bergerak lebih lambat dan menyebarkan lebih banyak cahaya daripada partikel dengan ukuran kecil (Titus dkk., 2019). Partikel bergerak secara acak karena gerakan brown, menyebabkan fluktuasi intensitas cahaya menjadi tersebar. Fluktuasi akan diukur detektor, lalu algoritma komputer digunakan untuk menghitung distribusi ukuran partikel berdasarkan frekuensi dan amplitudo dari fluktuasi tersebut. Kurva distribusi ukuran partikel ini akan menghasilkan kurva distribusi frekuensi untuk berbagai ukuran partikel. Kurva frekuensi biasanya menunjukkan puncak yang mewakili ukuran partikel yang secara umum. Hasil pengukuran PSA dapat disajikan dengan beberapa cara seperti histogram, plot distribusi, box plot dll. Namun, analisis data yang paling umum adalah kurva distribusi ukuran partikel kumulatif dimana kurva ini menunjukkan ukuran partikel sebagai sumbu-x dan presentase kumulatif partikel sebagai sumbu-y (Gee, 2018).

Penelitian sebelumnya mengenai pengujian nanopartikel perak pada Gambar 2.5 didapatkan histogram ukuran partikel perak yang menunjukkan bahwa distribusi ukuran AgNP dalam kitosan memiliki ukuran partikel rata-rata (ZAVE) di atas 500 nm dengan distribusi ukuran berkisar antara 100 - 10.000 nm, jauh dari ukuran partikel perak hasil analisis TEM yaitu sebesar ± 10 nm. Hal ini menunjukkan bahwa AgNP telah terkompositkan dengan kitosan

sehingga mobilitas partikel perak yang terukur pada PSA teranalisis sebagai komposit [Ag-Kitosan] (Junaidi dkk., 2015).



Gambar 2. 5 Hasil karakterisasi PSA AgNP-kitosan dengan variasi lama sintesis 1, 2 dan 3 (Junaidi dkk., 2015)

2.2.4.3 Transmission Electron Microscope (TEM)

Transmission Electron Microscope (TEM) merupakan mikroskop yang digunakan untuk memperbesar suatu benda dengan menggunakan sinar berkas elektron sebagai sumber cahaya untuk mengkarakterisasi morfologi dan komposisi spesimen (Tang dan Yang, 2017). TEM mempunyai resolusi yang lebih tinggi dibandingkan SEM, sehingga memudahkan analisis ukuran atom (dalam jangkauan nanometer) (Julianto, Henry dkk., 2017). TEM dapat mencapai resolusi subnanometer, jauh di bawah mikroskop cahaya beresolusi tinggi. Hal ini karena elektron dapat memiliki panjang gelombang yang jauh lebih pendek ketika dipercepat melalui medan elektromagnetik yang kuat, sehingga meningkatkan resolusi mikroskop. Pada pengujian TEM, sampel harus mampu menahan vakum bertekanan tinggi (Campbell dkk., 2020).

Prinsip kerja dari TEM yaitu elektron yang melewati kolom akan ditembak dan ditransmisikan dengan difokuskannya elektron oleh *condenser lens*. Sampel dipasang pada jaringan penyangga atau tertanam dalam sebuah resin. Lalu elektron akan mengenai *fluorescent screen*, dimana layar ini memancarkan cahaya saat dikenai elektron. Elektron yang ditransmisikan dideteksi oleh detektor dan gambar diperbesar pada *fluorescent screen* (Inkson, 2016). Gambar ini kemudian diproses menggunakan perangkat lunak khusus, dan ditampilkan pada layar komputer. Prinsip kerja TEM mirip dengan mikroskop cahaya, bedanya pada sumber cahaya yang digunakan. TEM menggunakan sumber cahaya elektron yang memiliki resolusi sebesar 0,1 nm. Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan instrumen TEM dilakukan pada larutan nanopartikel perak yang diteteskan ke grid tembaga dan dikeringkan menggunakan vakum. Kemudian grid tembaga yang telah ditetesi larutan sampel, diletakkan dalam *specimen holder* dalam instrumen TEM dan dilakukan analisis sampel (Markus dkk., 2017).

Berikut merupakan contoh hasil TEM dari penelitian (Firdianti, Birgitta, 2024), peneliti melakukan sintesis nanopartikel perak dengan reduktor NaBH_4 . Berdasarkan Gambar 2. 6 pada scale bar 20 nm merupakan AgNP. Diameter rata-rata AgNP didapatkan sebesar $5,0 \pm 1,6$ nm berbentuk *spherical* dan *monodisperse*. Pada gambar terlihat AgNP saling terpisah satu dengan yang lain. Hal ini disebabkan reaksi antara *capping agent* yaitu PVP yang besar sehingga dapat melindungi setiap partikel AgNP (Firdianti, Birgitta, 2024).



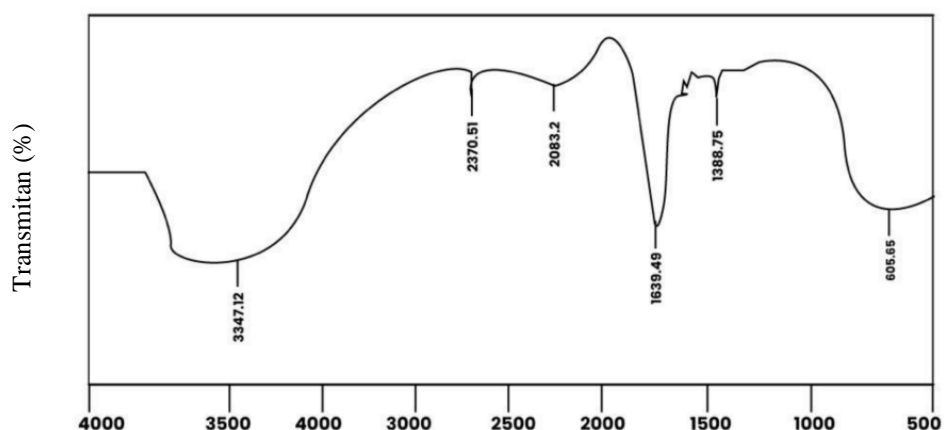
Gambar 2. 6 Mikrograf TEM AgNP dengan perbesaran 20 nm (Firdianti, Birgitta, 2024)

2.2.4.4 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) merupakan instrumen yang bertujuan untuk mengetahui vibrasi ikatan antar atom dalam gugus fungsional tertentu. Terdapat berbagai macam gugus fungsional, misalnya: O-H, N-H, C-H, C=O, C-O, C=C, yang akan muncul pada bilangan gelombang 4.000–400 cm^{-1} . Dari karakterisasi ini, diperoleh spektrum absorpsi yang menunjukkan interaksi antara radiasi IR dengan momen dipol listrik molekuler (Raturandang dkk., 2022).

Penggunaan Transmisi FTIR (T-FTIR) secara konvensional menggunakan teknik *mull* (KBr-pellet) yaitu spesimen ditumbuk halus dan dicampur dengan KBr dan dibentuk bulatan kecil (*pellets*). Teknik FTIR – ATR memiliki keunggulan yaitu tidak menggunakan KBr tetapi spesimen dapat langsung digunakan atau dideteksi dengan meletakkannya di meja spesimen (Maria, 2012). ATR-FTIR dapat memberikan informasi dan mengidentifikasi gugus fungsional pada spesimen. Sinar yang terpancar dari alat FTIR ditransmisikan sebagai fungsi panjang gelombang, yang dapat menggambarkan langsung senyawa dengan spesifik tentang komposisi senyawa suatu material. Teknik ini lebih menguntungkan dibandingkan dengan T-FTIR karena memerlukan jumlah sedikit spesimen dan termasuk dalam uji non destruktif (pengujian dengan tidak merusak spesimen). ATR-FTIR dapat digunakan secara luas pada material berbentuk bubuk, cairan, gel, pasta, pellet, serat, material lunak, bubur (*slurry*) (Arsista dan Eriwati, 2021; Maria, 2012). Pada FTIR (T-FTIR) melakukan karakterisasi sampel dengan dibuat terlebih dahulu dalam bentuk serbuk. Kemudian serbuk sampel dicampur dengan serbuk KBr dan dipress, sehingga dihasilkan pelet KBr. Pelet yang telah dibuat, diletakkan pada wadah sampel dan dianalisis gugus fungsionalnya pada rentang bilangan gelombang 4000–450 cm^{-1} dengan resolusi 4 cm^{-1} untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung pada sampel tersebut (Chandraker dkk., 2019).

Penelitian sebelumnya telah melakukan pengujian FTIR dengan sampel nanopartikel perak didapatkan spektrum FTIR yang ditunjukkan oleh Gambar 2. 7 mengindikasikan peran asam tartarat sebagai *capping agent* dalam sintesis AgNP. Spektrum AgNP+TA menunjukkan penurunan intensitas sinyal, dan pergeseran pita yang menunjukkan perbedaan dengan senyawa TA murni. Peneliti melihat pengikatan gugus TA pada permukaan AgNPs karena adanya *chemisorptions* dari ion karboksilasi. Peran COO- dalam AgNP+TA sehubungan dengan daya tarik elektrostatik menunjukkan pembentukan dan stabilisasi nanopartikel perak dalam media air (Begum dkk., 2022).



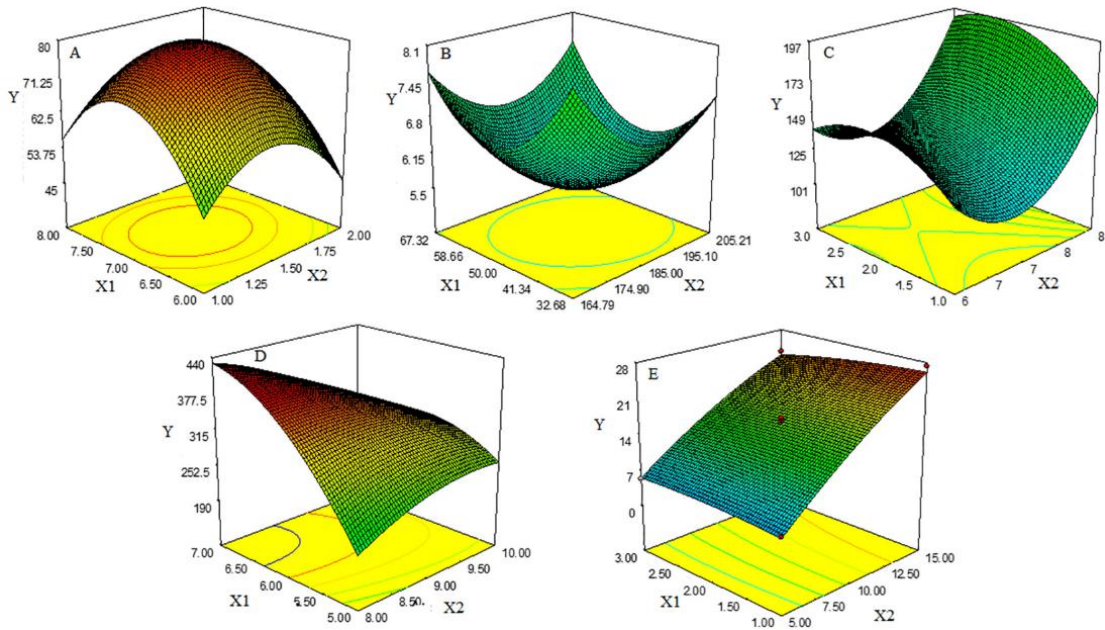
Gambar 2. 7 Spektra FTIR pada AgNP dengan capping agent asam tartarat (Begum dkk., 2022)

2.2.5 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan sebuah metode statistik terapan yang berkaitan dengan perencanaan, pelaksanaan, analisis, dan interpretasi tes terkontrol untuk mengevaluasi faktor-faktor yang mengontrol nilai parameter atau kelompok parameter. Metode ini digunakan untuk mengetahui pengaruh antar variabel.

2.2.5.1 *Response Surface Methodology (RSM) - Face Centered Central Composite Design (F-CCD)*

Response Surface Methodology (RSM) adalah metode statistika yang menggambarkan hubungan antara beberapa variabel independen dengan satu atau lebih variabel respon secara bersamaan untuk mengoptimalkan efisiensi proses. RSM menggunakan lebih dari satu persamaan regresi polinomial untuk menyesuaikan hubungan fungsional antara faktor dan nilai respon sehingga dapat memprediksi tingkat optimal dari setiap parameter dan nilai respon yang sesuai serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki dampak atau pengaruh terhadap variabel respon (Bahadar dkk., 2015). Analisis data RSM ini dilakukan dengan menggunakan data dari eksperimen untuk menentukan persamaan model melalui analisis regresi untuk optimasi, prediksi atau interpretasi hasil eksperimen. Desain eksperimental RSM, terdiri dari lima tahapan. Pertama adalah menentukan parameter input dan nilai respon yang sesuai. Diantara faktor yang mempengaruhi dapat memiliki dampak signifikan pada hasil eksperimen diidentifikasi sebagai parameter input. Langkah kedua adalah menentukan desain eksperimental untuk RSM dan memperoleh data eksperimental. Langkah ketiga adalah menginput data eksperimen untuk mendapatkan persamaan permukaan respon dan grafik respon. Hubungan antara parameter input dan respon divisualisasikan melalui plot permukaan respon atau plot kontur. Langkah keempat adalah diolah dengan ANOVA untuk memverifikasi persamaan regresi (Hao dkk., 2023). Selain itu, ANOVA bertujuan untuk menganalisa akurasi kecocokan dan faktor penting. Metrik yang biasanya dilibatkan dalam proses ini adalah jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat, nilai F, dan nilai P (Nazari dkk., 2017). Langkah selanjutnya yaitu menentukan kondisi optimum pada tiap parameter yang sesuai dengan menggunakan perangkat lunak *Expert Design* (Hao dkk., 2023).



Gambar 2. 8 Plot 3D RSM (a) maksimum, (b) minimum, (c) *saddle*, (d) maksimum diluar wilayah percobaan, (e) *plateau* (Breig and Luti, 2021).

Pada plot respon RSM terdapat beberapa jenis visualisasi yaitu, meliputi titik minimum, titik maksimum, *saddle point* dll. Respon-respon ini ditampilkan pada Gambar 2.8 dimana plot respon (a) dan (b) menggambarkan titik maksimum dan minimum dalam desain eksperimen sehingga membentuk elips. Pada plot dengan titik maksimum menghasilkan puncak keatas sedangkan titik minimum umumnya terbentuk lembah pada area eksperimen. Plot respon (c) menggambarkan *saddle point* sebagai titik kritis, titik ini merupakan titik belok antara maksimum dan minimum relatif. Selanjutnya plot respon (d) menunjukkan titik maksimum berada di luar area eksperimen ditunjukkan dengan bentuk lingkaran atau elips yang tidak penuh. Plot respon (e) menunjukkan bentuk *plateau* mewakili permukaan dimana titik maksimum terletak di dalam area eksperimen (Breig dan Luti, 2021).

Response Surface Methodology (RSM) terdapat beberapa desain optimasi yaitu meliputi *central composite design* (CCD), *full factorial design* (FFD), *box-behnken design* (BBD), dan *doehlert design* (DD) yang berpengaruh terhadap ketepatan prediksi model dan respon (Karimifard dan Alavi Moghaddam, 2018). Pada *Response Surface Methodology* (RSM) desain optimasi *central composite design* (CCD) merupakan rancangan eksperimental yang paling sering digunakan untuk model orde dua. Dalam CCD, titik di tengah adalah ruang desain yang disebut titik pusat, titik faktorial dengan level faktor ditulis sebagai -1, 0, +1 dan titik aksial yang disusun secara simetris pada sumbu sistem koordinat sehubungan dengan titik pusat. CCD dibagi menjadi 3 jenis meliputi CCI (*inscribed central composite*), CCC (*circumscribed*) dan CCF (*face centered composite*). Pada penelitian ini digunakan desain CCD jenis *Face Centered* untuk tiga faktor memiliki nilai $\alpha=1$ (Quintero-Quiroz dkk., 2019). RSM menggunakan fungsi kuadratik seperti pada Persamaan 2. 1.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1 X_2 + a_4X_1^2 + a_5X_2^2 \quad (2.1)$$

Fungsi tersebut bertujuan untuk memperkirakan permukaan di sekitar titik optimal. Di mana Y adalah variabel dependen (salah satu indeks tekstur dalam kasus ini) a_0 sampai a_5 adalah

koefisien (yang akan ditentukan dengan regresi) dan X_1, X_2 adalah faktor (atau variabel operasi yang dapat dimanipulasi dalam proses produksi) yang mempengaruhi tekstur, variabel dependen. Bentuk permukaan yang mewakili model kuadratik ditentukan oleh koefisien (Shieh dkk., 2004). Tiga parameter meliputi konsentrasi $AgNO_3$, waktu sonikasi dan suhu sonikasi.

2.2.6 Pengujian Antioksidan

Reaksi oksidasi oleh suatu radikal bebas dapat dihambat maupun dicegah melalui penambahan suatu senyawa yang disebut antioksidan. Kemampuan antioksidan dalam menetralkan radikal bebas menyebabkan antioksidan dapat mencegah terjadinya kerusakan sel dalam tubuh yang dapat memicu timbulnya penyakit degeneratif. Proses tersebut terjadi melalui donor elektron atau atom hidrogen dari antioksidan ke radikal bebas (Khan dkk., 2018). Pengujian antioksidan diukur menggunakan beberapa metode, diantaranya yaitu metode DPPH, ABTS dan FRAP (Oktavia dan Sutoyo, 2021).

Pengujian aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH ditunjukkan pada kemampuan antioksidan dalam meredam reagen DPPH yakni radikal 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil. Mekanisme peredaman radikal bebas DPPH oleh nanopartikel perak dapat melalui transfer elektron valensi nanopartikel perak pada radikal DPPH dan transfer atom hidrogen yang terkandung dalam senyawa yang berperan sebagai *capping agent* (Huo dkk., 2018). DPPH dengan warna ungu pekat memberikan serapan pada panjang gelombang 517 nm. Ketika mengalami reduksi, maka DPPH akan berubah menjadi senyawa difenil pikrilhidrazil yang warnanya akan berangsur-angsur memudar menjadi warna kuning dan nilai serapannya akan sebanding dengan jumlah elektron yang diterima. Reaksi dengan zat antioksidan menyebabkan pengurangan jumlah DPPH dalam larutan sehingga menurunkan nilai absorbansi DPPH (Khan dkk., 2018). Pada pengujian antioksidan ABTS menggunakan (2,2-Azinobis 3-ethyl benzothiazoline 6-sulfonic acid) sebagai senyawa radikal yang mengandung atom nitrogen. Prinsip metode ini adalah untuk menstabilkan radikal bebas melalui donor proton. Pengukuran aktivitas antioksidan dilakukan berdasarkan perubahan warna pada ABTS yang semula berwarna biru hijau menjadi tidak berwarna saat telah tereduksi oleh radikal bebas. Intensitas warna yang terbentuk kemudian diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 734 nm. Selanjutnya yaitu metode FRAP yang didasarkan pada kemampuan antioksidan dalam mereduksi reagen FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*). Mekanisme reaksi reduksi Fe (III) dalam larutan 2,4,6-tris(2-pyridyl)-striaizine (TPTZ) oleh AgNP melalui transfer elektron dari senyawa yang berperan sebagai *capping agent* (Samari dkk., 2019). Penelitian sebelumnya dilakukan sintesis nanopartikel perak menggunakan asam tartarat sebagai *capping agent* memiliki aktivitas antioksidan ringan hingga sedang dengan meningkatnya konsentrasi. Asam askorbat digunakan sebagai standar sedangkan larutan DPPH sebagai kontrol Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Aktivitas antioksidan nanopartikel perak capping agent asam tartarat (Begum dkk., 2022)

Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	%RSD	IC ₅₀
100	13,38777	9,59
200	12,47378	20,91
300	11,85945	28,93
400	10,92298	39,43
500	9,124963	43,35

Pada pengujian antioksidan ini dapat menggunakan persamaan 2. 2 yang diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 517 nm (Maitulung dkk., 2022).

$$\%inhibisi = \frac{(A \text{ blanko} - A \text{ sampel})}{A \text{ blanko}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

Absorbansi blanko = Absorbansi DPPH

Absorbansi sampel = Absorbansi dalam DPPH

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penentuan kondisi optimum dapat menggunakan strategi desain eksperimen dimana penelitian ini menggunakan *Design of Experiment* dengan *Response Surface Methodology* (RSM) *Central Composite Design* berjenis *Face Centered* (F-CCD). Proses pengombinasian F-CCD dilakukan dengan bahasa pemrograman Python, Software Anaconda: Jupiter Lab. S yang mempelajari tiga parameter dalam perlakuan sintesis. Parameter tersebut meliputi konsentrasi *capping agent* tartarat, suhu sonikasi dan waktu sonikasi ditunjukkan pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Parameter Eksperimen Desain

Parameter	Level		
	-1	0	+1
Konsentrasi Tartarat (M)	0,5	1	1,5
Suhu Sonikasi (°C)	40	60	80
Waktu Sonikasi (menit)	20	40	60

Ada 22 kombinasi dari berbagai faktor untuk sintesis nanopartikel perak. Matriks desain eksperimen F-CCD dengan berbagai faktor diuraikan dalam Tabel 3. 2

Tabel 3. 2 *Face Centered – Central Composite Design* (F-CCD) dengan tiga parameter sintesis AgNP

Kode Sampel	Waktu Sonikasi (menit)	Suhu Sonikasi (°C)	Konsentrasi Tartarat (M)
0	20	40	0,5
1	60	40	0,5
2	20	80	0,5
3	60	80	0,5
4	20	40	1,5
5	60	40	1,5
6	20	80	1,5
7	60	80	1,5
8	40	60	1
9	40	60	1
10	40	60	1
11	40	60	1
12	20	60	1
13	60	60	1
14	40	40	1

15	40	80	1
16	40	60	0,5
17	40	60	1,5
18	40	60	1
19	40	60	1
20	40	60	1
21	40	60	1

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu ukur 50 mL, 250 mL dan 1000 mL, labu erlenmeyer, botol gelap, botol kaca vial, pipet tetes, pipet ukur 5 mL, 10 mL dan 25 mL, kaca arloji, pengaduk kaca, botol semprot, neraca analitik (Ohaus Pioneer PA), sonikator, kuvet kuarsa. Karakterisasi menggunakan instrumen spektrofotometri UV-Vis (Genesys 10S), *Transmission Electron Microscopy* (TEM) JEOL JEM-1400, *Particle Size Analyzer* (PSA) tipe DLS (Malvern Zetasizer Nano ZS), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Thermo Scientific Nicolet iS10.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perak nitrat (AgNO_3 , EMSURE[®] Merck KGaA), asam tartarat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$, EMSURE[®] Merck KGaA), sodium borohidride (NaBH_4 Loba chemie 05800) dan aqua DM.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1. Pembuatan Larutan Perak Nitrat (AgNO_3)

Larutan perak nitrat dengan konsentrasi 0,001 M sebagai larutan baku dalam proses sintesis nanopartikel perak (AgNP) dibuat dengan cara melarutkan 0,1080 gram dalam labu ukur 1000 mL. Lalu padatan ditambahkan dengan pelarut aqua DM hingga tanda batas, kemudian dikocok hingga homogen.

3.3.2. Pembuatan Larutan Asam Tartarat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$)

Larutan asam tartarat dibuat dengan variasi 0,5 M, 1 M, dan 1,5 M. Larutan asam tartarat 0,5 M dibuat dengan cara melarutkan 1,5008 gram dengan aqua DM dalam labu ukur 50 mL hingga tanda batas. Larutan asam tartarat 1,0 M dibuat dengan cara melarutkan 0,6003 gram dengan aqua DM dalam labu ukur 250 mL hingga tanda batas. Selanjutnya pada larutan asam tartarat 1,5 M dibuat dengan cara melarutkan 4,5026 gram dengan aqua DM dalam labu ukur 50 mL hingga tanda batas. Ketiga variasi larutan kemudian dikocok hingga homogen lalu disimpan dalam botol vial kedap cahaya sebagai *capping agent* untuk sintesis.

3.3.3. Pembuatan Larutan Natrium Borohidrat (NaBH_4)

Larutan natrium borohidrat digunakan sebagai reduktor untuk tahap sintesis. Larutan ini dibuat pada konsentrasi 0,002 M dengan cara melarutkan 0,0019 gram dalam labu ukur 25 mL. Lalu padatan ditambahkan dengan pelarut aqua DM hingga tanda batas, kemudian dikocok sampai homogen.

3.3.4. Sintesis Nanopartikel Perak (AgNP)

Sintesis AgNP diawali dengan memasukkan 25 mL larutan perak nitrat (AgNO_3) ke dalam labu Erlenmeyer, kemudian ditambahkan dengan 10 mL larutan asam tartarat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$). Campuran diaduk pada temperatur ruang. Setelah penambahan asam tartarat, agen pereduksi natrium borohidrida (NaBH_4) 5mL ditambahkan tetes demi tetes ke dalam campuran dan dilakukan tahap sonikasi. Variasi kondisi sintesis nanopartikel perak (konsentrasi tartarat, waktu sonikasi dan suhu sonikasi) dilakukan sesuai dengan desain eksperimen F-CCD pada Tabel 3. 2 Sebelum dilakukan sonikasi penambahan agen pereduksi, terbentuk larutan berwarna hijau lumut. Kemudian dilakukan sonikasi pada suhu dan waktu sonikasi yang sudah ditentukan. Terbentuk larutan berwarna kuning cerah akibat pembentukan koloid perak. Larutan AgNP yang sudah disonikasi kemudian disimpan dalam botol vial kedap cahaya.

3.3.5. Pengujian Spektra UV-Vis Nanopartikel Perak (AgNP)

Larutan AgNP diuji panjang gelombangnya menggunakan spektra UV-Vis. Larutan uji masing-masing diambil sebanyak 3 mL yang kemudian diukur pada rentang panjang gelombang 300-700 nm menggunakan aqua DM sebagai larutan blanko. Selama tahap pengujian spektra didapatkan beberapa puncak dan absorbansi maksimal pada panjang gelombang tertentu dari 22 larutan hasil sintesis sebagai data eksperimen yang selanjutnya digunakan untuk analisis *Response Surface Methodology* (RSM).

3.3.6. Analisa Data *Response Surface Methodology* (RSM)

Data yang diperoleh diinput ke dalam Software Anaconda: Jupiter Lab kemudian disesuaikan menggunakan persamaan polinomial orde dua untuk penentuan kondisi sintesis yang optimal. Hasil absorbansi optimum pada panjang gelombang tertentu digunakan sebagai data acuan yang dimasukkan dalam pengolahan data menggunakan *Response Surface Methodology*. Analisis statistik dari setiap parameter signifikan yang mempengaruhi variable respon serta kecocokan model yang diperoleh dievaluasi dengan analisis varians (ANOVA). Kemudian hasil plot kontur RSM diamati bertujuan untuk melihat perbandingan plot 3D RSM.

3.3.7. Karakterisasi AgNP dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Data yang paling optimum pada ketiga variasi kondisi digunakan pada karakterisasi lebih lanjut dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Sebelum dilakukan FTIR, sampel dipisahkan menjadi dua fasa yaitu fasa padatan dan cair menggunakan *centrifuge* 4000 rpm selama 1 jam. Padatan yang diperoleh kemudian dapat digunakan untuk analisis serapan FTIR. Analisis serapan FTIR dilakukan untuk mengetahui dan mendeteksi gugus fungsi yang terdapat dalam AgNP yang telah disintesis. Dari karakterisasi ini dapat diperoleh spektrum absorpsi yang menggambarkan interaksi antara radiasi medan listrik elektromagnetik (radiasi IR) dengan momen dipol listrik molekul.

3.3.8. Karakterisasi AgNP dengan *Particle Size Analyzer* (PSA)

Karakterisasi dilakukan lebih lanjut dengan PSA untuk melihat distribusi ukuran partikel dan potensial zeta dari AgNP. Sampel larutan nanopartikel perak dimasukkan kedalam kuvet yaitu maksimal sepertiga dari tinggi kuvet, lalu kuvet dimasukkan dalam instrumen Zetasizer Nano ZS 90 (Malvern instrumen Ltd., UK) dengan kisaran ukuran 0,1-10.000 nm. Pada instrumen ini menggunakan aplikasi Zetasizer Nano dimana saat digunakan, lalu pilih “measure” dan pilih “manual”. Pada measure type pilih “size” atau “zeta” dimana pada bagian tersebut dapat diisi nama sampel, indeks bias, absorbansi dan dispersan, jenis kuvet dan jumlah pengulangan. Setelah itu, sampel siap untuk dilakukan pengujian. Hasil pengujian PSA yaitu berupa histogram distribusi ukuran partikel.

3.3.9. Karakterisasi AgNP dengan *Transmission Electron Microscope* (TEM)

Pengujian *Transmission Electron Microscope* (TEM) dilakukan untuk menentukan bentuk dan morfologi dari hasil sintesis AgNP. Larutan nanopartikel akan ditempatkan pada grid TEM yang ditutupi dengan film pelindung. Selanjutnya sampel dikeringkan pada suhu kamar sebelum pengukuran. Grid diamati menggunakan mikroskop sehingga diperoleh morfologi nanopartikel dan distribusi ukurannya yang dapat diukur menggunakan aplikasi ImageJ.

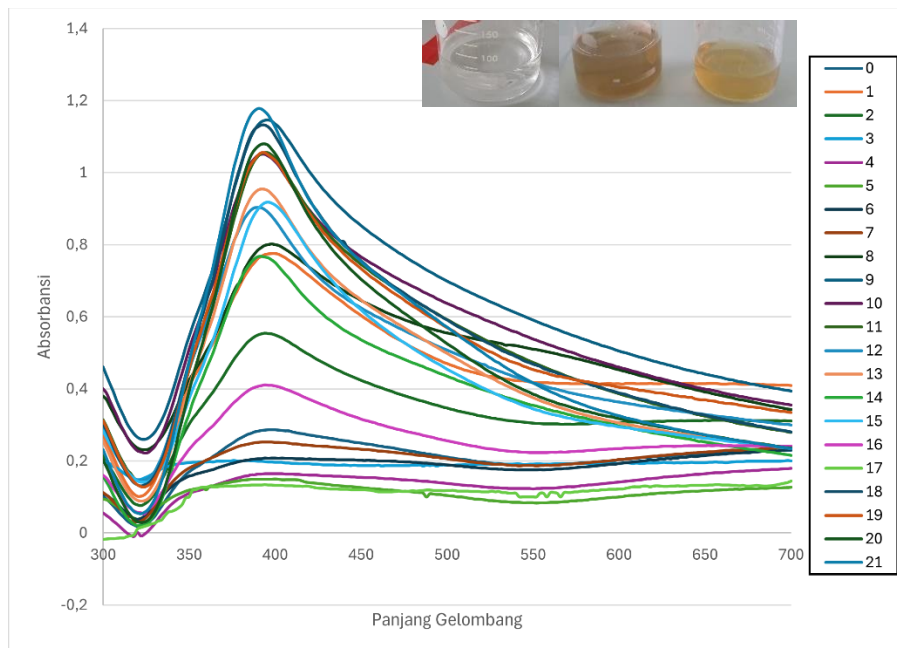
3.3.10. Pengujian Antioksidan

Larutan nanopartikel yang digunakan diuji antioksidan untuk mengetahui kemampuan nanopartikel dalam menangkap radikal bebas. Pengujian antioksidan dilakukan dengan cara *in vitro* yaitu dengan metode DPPH. Pengujian antioksidan sampel nanopartikel diawali dengan penentuan panjang gelombang maksimum dengan larutan DPPH 1 mL dalam 1 mL metanol dengan spektrofotometeri UV-Vis. Larutan diuji dan dilakukan pengamatan pada nilai absorpsi pada panjang gelombang 400 hingga 600 nm. Larutan uji sampel nanopartikel sebanyak 1 mL dicampurkan dengan 1 mL larutan DPPH dan dihomogenkan. Dilakukan pengamatan nilai absorpsi sampai menit ke-60 dan ditentukan waktu *operating time* yang paling sesuai. Dilakukan pencampuran 1 mL larutan uji sampel nanopartikel dengan 1 mL DPPH 0,2 mM dan divorteks. Kemudian dilakukan inkubasi pada suhu ruangan di tempat gelap sesuai dengan hasil *operating time*. Selanjutnya diukur absorbansi pada panjang gelombang maksimum dengan spektrometer UV-Vis beberapa kali pengulangan. Data hasil absorbansi uji aktivitas antioksidan uji sampel nanopartikel kemudian dihitung presentase inhibisi dengan persamaan 2.2. Hasil perhitungan nilai absorbansi dan nilai inhibisi pada panjang gelombang 517 nm dengan waktu inkubasi 30 menit.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Perak

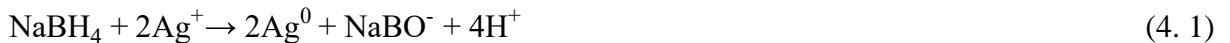
Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan metode reduksi kimia. Sintesis nanopartikel perak diawali dengan mencampurkan 25 mL larutan AgNO_3 dengan 10 mL larutan *capping agent* yaitu asam tartarat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$). Setelah itu, campuran ditambahkan dengan larutan NaBH_4 sebagai agen reduktor sebanyak 5 mL sesuai dengan variasi yang tertulis sesuai desain eksperimen. Pada saat larutan AgNO_3 sebanyak 25 mL direaksikan dengan 10 mL asam tartarat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) sesuai dengan variasi konsentrasinya yaitu 0,5; 1,0; 1,5 M, larutan tidak mengalami perubahan warna. Kemudian campuran ditambahkan dengan NaBH_4 sebagai agen pereduksi. Pada penambahan agen pereduksi terdapat respon warna dalam larutan dimana larutan mengalami perubahan warna dari tidak berwarna menjadi berwarna kuning kehijauan. Beberapa kode sampel lain mengalami perubahan warna larutan menjadi berwarna kuning kehijauan sampai berwarna kuning kecoklatan. Hal ini dipengaruhi perbedaan variasi dalam metode F-CCD. Pada tahap ini juga diberikan perlakuan sonikasi dengan variasi suhu dan waktu sonikasi sebagai berikut: suhu sonikasi 40, 60, dan 80°C waktu sonikasi 20, 40, dan 60 menit. Sintesis nanopartikel perak dilakukan pada 22 variasi kombinasi dengan *Central Composite Design* berjenis *Face Centered* (F-CCD) dengan menghubungkan tiga parameter.



Gambar 4. 1 Spektra UV-Vis pada 22 sampel

Berdasarkan Gambar 4. 1 difokuskan pada rentang panjang gelombang 300 – 700 nm. Didapatkan serapan pada panjang gelombang di sekitar 394 nm yang menunjukkan adanya puncak memvalidasi bahwa proses sintesis telah terbentuknya nanopartikel perak (Vu dkk., 2018). Data paling optimum selanjutnya akan dioptimasi dengan pemodelan RSM. Sintesis nanopartikel perak menggunakan AgNO_3 sebagai prekursor dan penambahan larutan $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ sebagai *capping agent*. Reaksi kimia antara AgNO_3 dan $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ menghasilkan senyawa kompleks yaitu perak tartarat ($\text{Ag}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) yang tidak berwarna. Selanjutnya larutan ditambahkan dengan NaBH_4 . Natrium borohidrida berbentuk padatan berwarna putih hingga

keabuabuan. Penambahan agen pereduksi NaBH_4 ke dalam larutan menyebabkan perubahan warna pada larutan, dari tidak berwarna menjadi berwarna kuning kehijauan. Proses perubahan warna larutan disebabkan karena senyawa kompleks mengalami reduksi membentuk partikel perak yang lebih kecil (Kumar dkk., 2017). Interaksi pada saat penambahan NaBH_4 menyebabkan reduksi Ag^+ menjadi Ag^0 dan diikuti nukleasi dan pertumbuhan AgNP (Lee dan Jun, 2019; Mendieta-Jiménez dkk., 2018). Reaksi reduksi menggunakan NaBH_4 berlangsung sangat intens ketika dicampurkan terlebih dahulu dengan AgNO_3 tanpa *capping agent*. Oleh karena itu, $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ direaksikan terlebih dahulu membentuk senyawa kompleks untuk menjaga kestabilan nanopartikel perak dan mengurangi kecenderungan untuk berikatan antar partikel logam. Keseluruhan reaksi kimia yang mengatur zat penstabil perak, yang melibatkan natrium borohidrida, diilustrasikan dalam persamaan (4. 1).



Dari persamaan 4. 1 dapat dijelaskan bahwa natrium borohidrida mengubah muatan Ag positif menjadi tidak bermuatan.

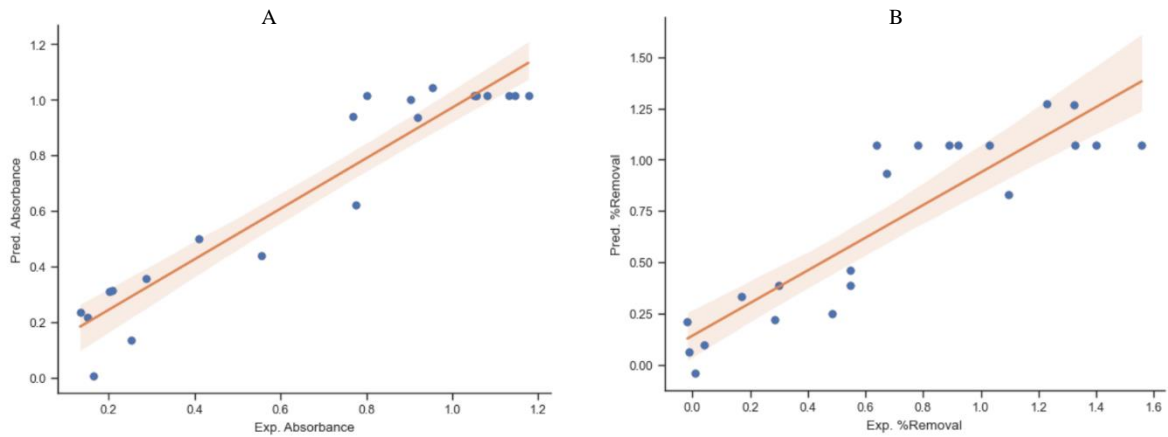
4.2 Optimasi Proses Sintesis Nanopartikel Perak dengan *Response Surface Methodology* (RSM)

Nilai absorbansi maksimum dari 22 kode sampel digunakan sebagai data eksperimen pada analisis menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Desain eksperimen RSM-F-CCD digunakan untuk mengidentifikasi antar variabel respon dalam sintesis AgNP. Pengolahan data dilakukan dengan Bahasa pemrograman pada aplikasi *Anaconda: Jupyter Notebook*. Data yang dianalisis dalam RSM adalah data absorbansi sintesis AgNP dengan waktu pendiaman selama 0 hari dan 8 hari. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi stabilitas AgNP. Dihilangkan nilai absorbansi tertinggi pada kode sampel 21 sebesar 1,177 dan 1,558 sedangkan respon terendah terdapat pada kode sampel 17 sebesar 0,144 dan -0,017. Persamaan polinomial orde dua digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan interpretasi model dari hasil yang diperoleh dan keterkaitan berbagai aspek antara variabel respon (absorbansi) dan variabel terikat pada F-CCD (Ni'mah dkk., 2023), melalui pemrograman didapatkan persamaan polinomial orde dua sebagai berikut dimana a) Hari ke-0 dan b) Hari ke-8.

$$\text{a) } Z = -2.302917647058791 + (x_0 \times 0.015279) + (x_1 \times 0.027057) + (x_2 \times 4.624976) + (x_0^2 \times 0.000022) + (x_0 \times x_1 \times -0.000245) + (x_0 \times x_2 \times -0.001300) + (x_1^2 \times -0.000191) + (x_1 \times x_2 \times 0.005650) + (x_2^2 \times -2.588088) \quad (4. 2)$$

$$\text{b) } Z = -3.622982352941568 + (x_0 \times 0.065698) + (x_1 \times -0.047887) + (x_2 \times 7.568424) + (x_0^2 \times -0.000477) + (x_0 \times x_1 \times 0.000111) + (x_0 \times x_2 \times -0.015450) + (x_1^2 \times 0.000498) + (x_1 \times x_2 \times 0.001225) + (x_2^2 \times -3.365912) \quad (4. 3)$$

Dari persamaan polinomial diatas x_0 adalah faktor suhu sonikasi, x_1 adalah faktor waktu sonikasi dan x_2 adalah faktor konsentrasi $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ terhadap absorbansi (Z) sebagai respon yang diprediksi (Firdianti, Birgitta, 2024). Persamaan polinomial orde dua yang disesuaikan pada data eksperimen, dapat digunakan untuk memperkirakan nilai variabel respon untuk setiap kombinasi nilai variabel independen yang dipilih sehingga memberikan model kelengkungan RSM yang baik untuk analisis yang lebih komprehensif (Breig dan Luti, 2021; Hamidi dkk., 2021).



Gambar 4. 2 Hubungan antara nilai prediksi dan nilai aktual eksperimen AgNP (a) Hari 0 (b) Hari 8

Akurasi model ditingkatkan dengan melakukan analisis statistik (ANOVA) dari setiap parameter terpilih. Pemodelan ini merupakan suatu cara untuk memvisualisasikan performa seberapa akurat model yang digunakan dalam analisis regresi. Nilai prediksi adalah nilai yang diperkirakan oleh model, sedangkan nilai aktual merupakan data dari eksperimen yang sudah dilakukan. Nilai keakuratan model ditunjukkan oleh data persebaran antara nilai prediksi dan nilai aktual dimana jika model yang digunakan akurat, maka nilai aktual akan berdekatan pada garis diagonal. Sebaliknya jika model tidak akurat, maka nilai aktual akan tersebar di sekitar garis diagonal, sehingga menunjukkan adanya indikasi kesalahan dalam prediksi (Chowdhury dkk., 2016). Scatter plot pada Gambar 4.2 menunjukkan pemodelan nilai aktual dan prediksi yang baik ditunjukkan oleh plot titik persebaran yang berdekatan dengan garis diagonal meskipun ada beberapa plot titik yang tidak berdekatan dengan garis diagonal. Berdasarkan data yang didapatkan dari hari ke-0 dan hari ke-8 menunjukkan perbedaan nilai absorbansi prediksi dan aktual yang dihasilkan. Nilai persebaran plot titik pada bidang diagonal di hari ke-0 memiliki nilai absorbansi yang lebih tinggi dibandingkan nilai persebaran plot titik di hari ke-8. Data tersebut menunjukkan reaksi pembentukan AgNP semakin meningkat seiring dengan berjalannya hari. Hal ini sebanding dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan tartarat sebagai *capping agent* yang direduksi dengan NaBH_4 dapat menghasilkan nanopartikel dengan stabilitas yang lebih baik dan pertumbuhan yang terkendali. Sebagai contoh, sebuah penelitian menyoroti bahwa *capping agent* tidak hanya menstabilkan nanopartikel tetapi juga meningkatkan reaktivitas dan biokompatibilitasnya dengan mencegah pertumbuhan berlebih dan koagulasi. Hal ini sangat bermanfaat untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol yang tepat atas ukuran dan bentuk nanopartikel (Javed dkk., 2020).

Tabel 4. 1 Regresi Ordinary Least Squares (OLS)

	A	B
<i>R-squared</i>	0,910	0,797
<i>Adj. R-squared</i>	0,843	0,645
<i>p-value</i>	5,42e-05	0,00486
<i>Skewness</i>	-0,061	0,240
<i>Kurtosis</i>	1,694	2,546
<i>Durbin-Watson</i>	2,208	1,502

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa persamaan polinomial orde dua dapat mewakili data eksperimen. Penggunaan metrik evaluasi diperlukan untuk mengukur seberapa baik

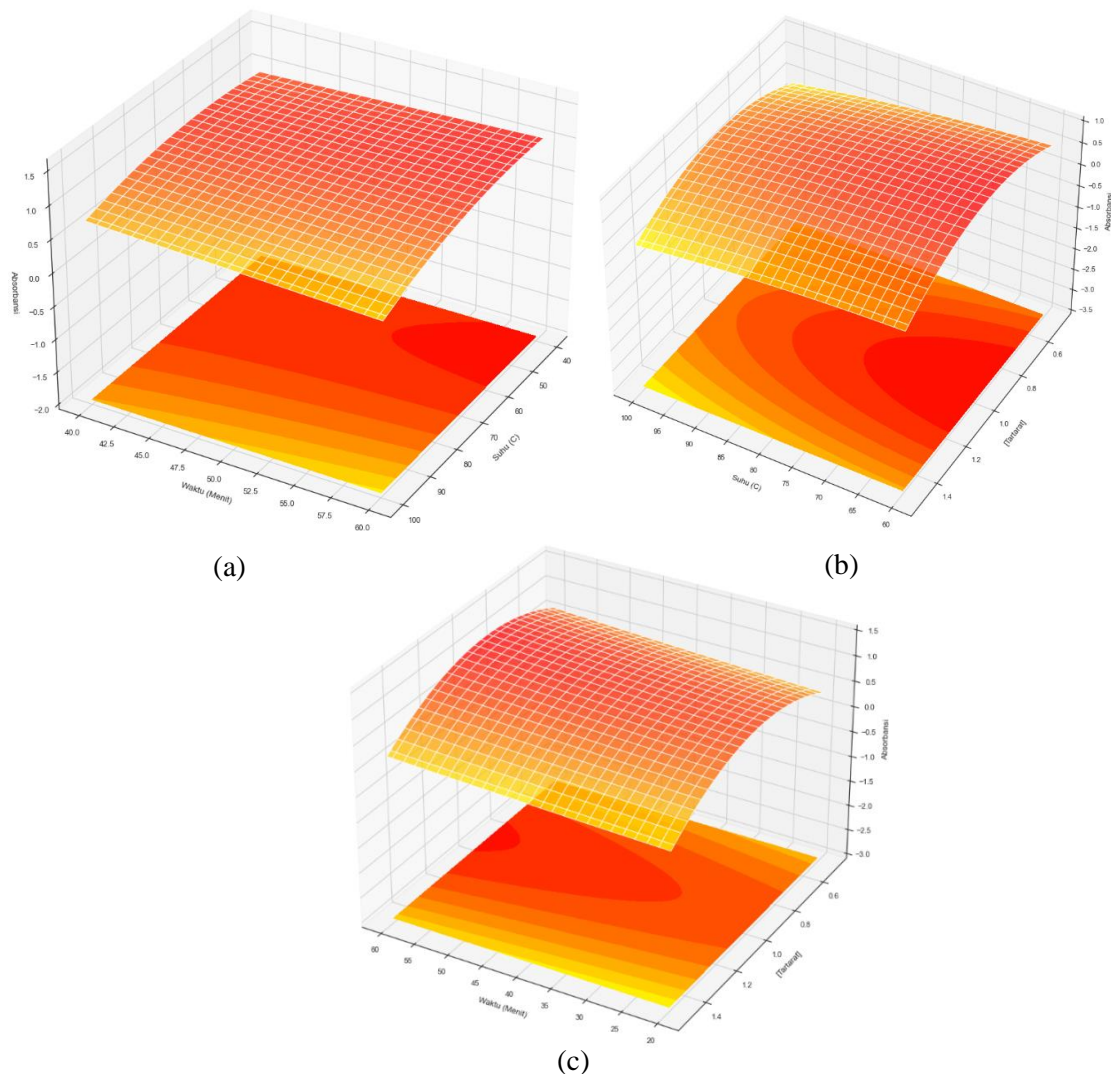
performa model yang digunakan. Berdasarkan Tabel. 4. 1 didapatkan nilai *R-squared* pada sampel (a) dan (b) sebesar 0,910 dan 0,797 menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan dapat menjelaskan masing-masing sebesar 91% dan 79,7% variasi dari data yang diamati. Nilai *R-squared* (R^2) menjadi tolak ukur performa model dalam memprediksi data, semakin besar nilai yang didapatkan maka semakin baik pula kinerja model dalam memprediksi data (Najah Ahmed dkk., 2019). *R-squared* (R^2) yang mendekati satu menggambarkan efisiensi prediksi yang sangat baik (Mehmood dkk., 2018). Pada *Adjusted R-squared* pada masing-masing sampel didapatkan nilai 0,843 (selisih 0,067 dengan *R-squared*) dan 0,645 (selisih 0,152 dengan *R-squared*). Selisih antara *R-squared* dan *Adjusted R-squared* yang bernilai kurang dari 0,2 menunjukkan model regresi yang cocok dengan data sehingga kekuatan model lebih signifikan (Lalegani dan Seyyed Ebrahimi, 2020). Nilai *p-value* masing-masing sampel yaitu $5,42e^{-05}$ dan 0,00486, dimana kedua *p-value* berada dibawah 0,5 mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antar faktor respon (Sarsam, 2019). Nilai *Skewness* dan *Kurtosis* pada sampel berguna dalam mengevaluasi distribusi data serta memberikan informasi tentang simetris tidaknya suatu distribusi data aktual dan prediksi yang telah dilakukan (Cain dkk., 2017). Pada penelitian didapatkan nilai *Skewness* dan *Kurtosis* pada sampel (a) masing-masing -0,061 dan 1,694, sedangkan pada sampel (b) 0,240 dan 2,546. Nilai dari *skewness* yang lebih besar dari 1,6 dan kurang dari -1,5 dianggap sebagai outlier untuk semua distribusi. Namun, pada *kurtosis* nilai yang lebih besar dari 2,7 muncul sebagai outlier (Blanca dkk., 2013). Dari nilai yang didapatkan diketahui model regresi dapat memprediksi data dengan akurat. Nilai *Durbin-Watson* masing-masing sampel (a) dan (b) yaitu sebesar 2,208 dan 1,502. Non-autokorelasi ditunjukkan dengan nilai yang mendekati 2, sedangkan nilai yang mendekati 0 mengindikasikan autokorelasi positif. Negatif autokorelasi negatif ditunjukkan dengan nilai yang mendekati 4 (Shukor, 2014). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model regresi dapat digunakan untuk memprediksi sintesis nanopartikel perak dengan baik.

Interaksi antar variabel ditunjukkan secara 3D oleh plot kontur yang menampilkan bentuk permukaan respon dalam wilayah interval yang dianalisis oleh F-CCD. Persamaan polinomial orde dua digunakan untuk memvisualisasikan RSM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Korelasi antara antar dua faktor digambarkan pada tiap satu kurva RSM. Kurva dengan warna yang semakin menuju merah mengindikasikan bahwa respon semakin mendekati nilai optimum. Daerah optimum juga ditandai dengan terbentuknya respon permukaan yang lebih tinggi dari daerah lain. Pengaruh waktu dan suhu sonikasi terhadap sintesis AgNP ditunjukkan oleh Gambar 4.3 (a). Plot kontur tersebut menunjukkan bahwa penurunan waktu serta suhu sonikasi meningkatkan nilai absorbansi sampai titik tertentu. Puncak optimum berada pada rentang waktu sonikasi 40 menit dengan suhu sonikasi optimum di rentang 59 – 40 °C. Plot (b) respon berjenis maksimum (*dome*) dengan puncak optimum berada pada rentang suhu sonikasi 78 – 60 °C dengan konsentrasi asam tartarat sebesar 1,18 – 0,7 M. Demikian pula plot (c) didapatkan puncak optimum berada pada rentang konsentrasi asam tartarat sebesar 1,0 – 0,8 M dengan waktu sonikasi selama 60 menit.

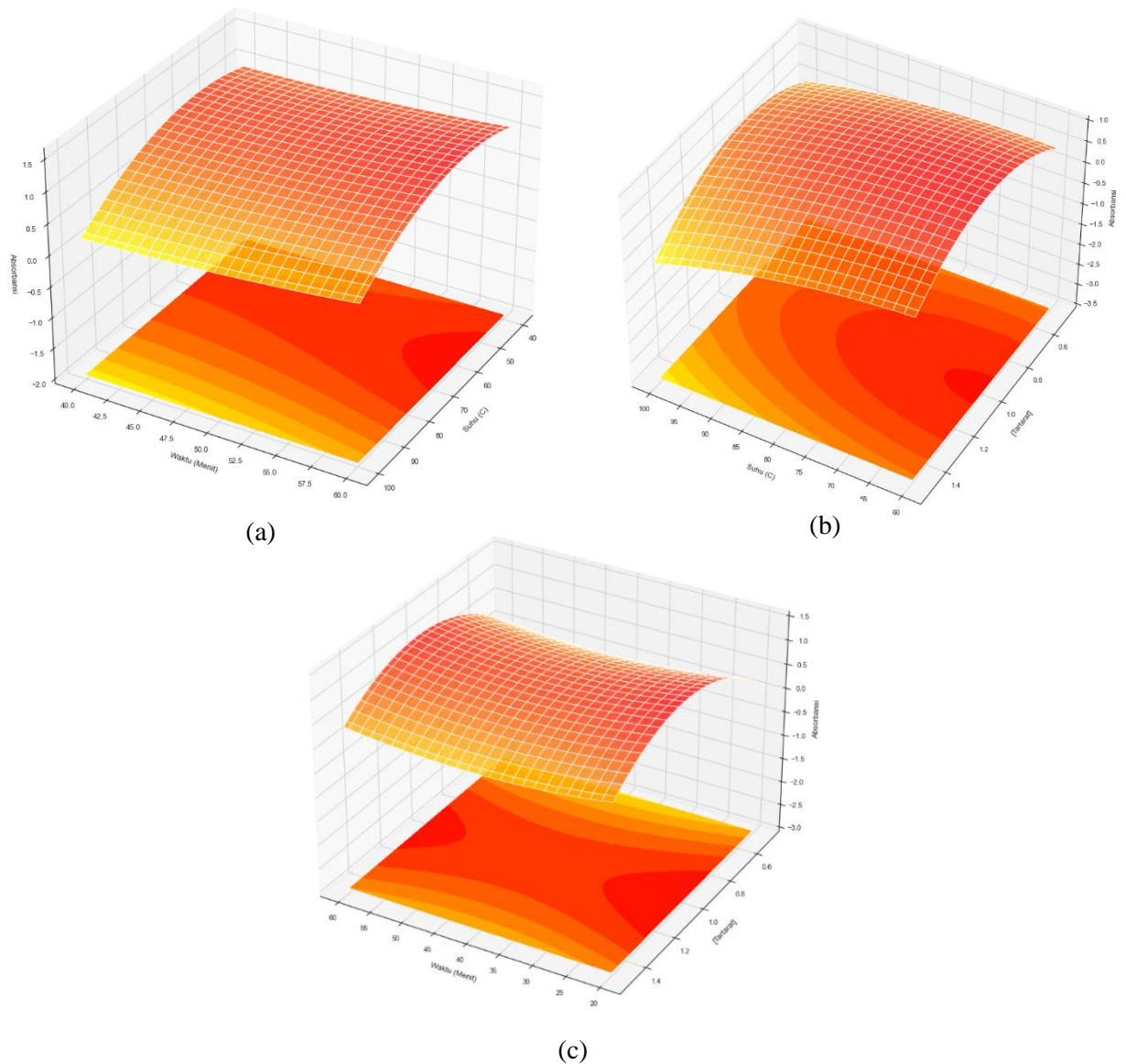
Pengamatan optimasi juga dilakukan pada RSM dengan rentang waktu 8 hari ditunjukkan pada Gambar 4. 4. Gambar (a) menunjukkan hubungan antara waktu dan suhu sonikasi, gambar (b) menunjukkan hubungan konsentrasi asam tartarat dengan suhu sonikasi, dan gambar (c) menunjukkan hubungan antara konsentrasi asam tartarat dan waktu sonikasi. Pada gambar (a), respon mengalami pergeseran ke arah rentang suhu dan waktu sonikasi yang lebih tinggi. Puncak optimum didapatkan pada rentang waktu sonikasi 60 menit dengan suhu sonikasi pada rentang 70 – 48 °C. Gambar (b) menunjukkan pergeseran rentang optimum pada suhu sonikasi yang lebih kecil sebesar 67 – 60 °C dengan konsentrasi asam tartarat di rentang 1,05 – 0,95 M. Pada plot (c) respon mengalami penambahan wilayah konsentrasi asam tartarat menjadi 1,25 – 0,8 M dengan waktu sonikasi optimum pada rentang 32 – 20 menit dan 55 – 20

menit. Jika dibandingkan dengan pengamatan hari 0, ketiga respon RSM berikut menunjukkan perbedaan wilayah optimum di mana respon outputnya meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu penyimpanan AgNP juga berpengaruh terhadap ukuran partikel AgNP yang dapat meningkat sehingga dapat menaikkan absorbansi (Sreelekha dkk., 2021).

Selanjutnya, dari ANOVA diperoleh titik optimum pada tiap respon yang digunakan meliputi konsentrasi asam tartarat, waktu dan suhu sonikasi. Dihasilkan plot data yang didapatkan dari hari ke-0 dan hari ke-8 yang ditunjukkan pada Gambar 4. 5. Gambar (a) menunjukkan hasil titik optimum pada suhu sonikasi 90 °C dengan nilai absorbansi sebesar 1,12. Namun, jika dilihat dari grafik plot menunjukkan hasil absorbansi yang tidak signifikan seiring dengan meningkatnya suhu sonikasi. Gambar 4. 5 (b) menunjukkan titik optimum pada waktu sonikasi selama 27,05 menit dengan absorbansi sebesar 1,32. Pada Gambar 4. 5 (c) menunjukkan titik optimum pada konsentrasi asam tartarat 0,91 dengan absorbansi sebesar 1,34.

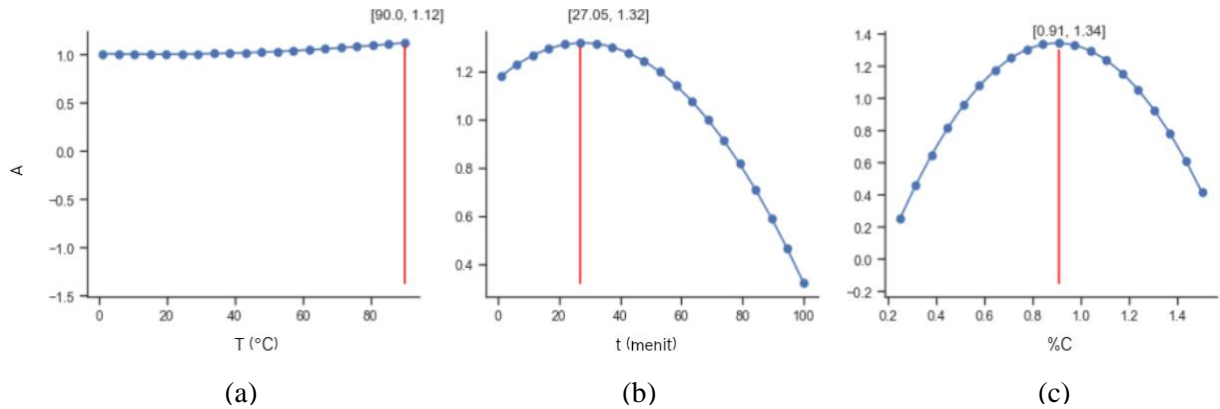


Gambar 4. 3 Visualisasi *Response Surface Methodology* (RSM) untuk (a) waktu dan suhu sonikasi, (b) suhu sonikasi dan konsentrasi tartarat, (c) konsentrasi tartarat dan waktu sonikasi pada waktu pengamatan hari ke-0.



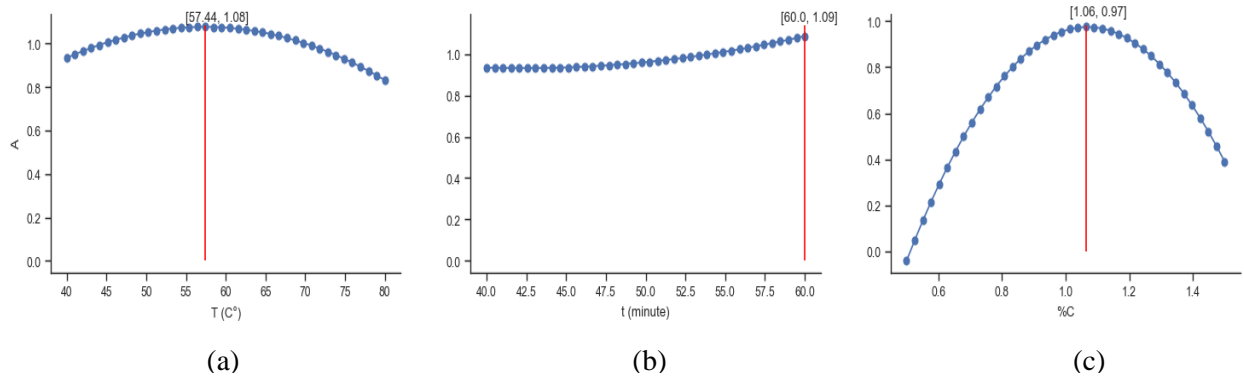
Gambar 4. 4 Visualisasi *Response Surface Methodology* (RSM) untuk (a) waktu dan suhu sonikasi, (b) suhu sonikasi dan konsentrasi tartarat, (c) konsentrasi tartarat dan waktu sonikasi pada waktu pengamatan hari ke-8.

Selanjutnya, dari ANOVA diperoleh titik optimum pada tiap respon yang digunakan meliputi konsentrasi asam tartarat, waktu dan suhu sonikasi. Dihasilkan plot data yang didapatkan dari hari ke-0 dan hari ke-8 yang ditunjukkan pada Gambar 4. 5. Gambar (a) menunjukkan hasil titik optimum pada suhu sonikasi 90 °C dengan nilai absorbansi sebesar 1,12. Namun, jika dilihat dari grafik plot menunjukkan hasil absorbansi yang tidak signifikan seiring dengan meningkatnya suhu sonikasi. Gambar 4. 5 (b) menunjukkan titik optimum pada waktu sonikasi selama 27,05 menit dengan absorbansi sebesar 1,32. Pada Gambar 4. 5 (c) menunjukkan titik optimum pada konsentrasi asam tartarat 0,91 M dengan absorbansi sebesar 1,34.



Gambar 4. 5 Plot titik optimum sintesis AgNP hari ke-0

Pengamatan ini juga dilakukan pada hari ke-8 dengan melihat faktor respon yang sama didapatkan persebaran titik pada plot yang berbeda. Plot tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. 6. Plot (a) menunjukkan titik optimum pada suhu sonikasi 57,44 °C dengan absorbansi sebesar 1,08. Gambar 4. 6 (b) menunjukkan titik optimum pada waktu sonikasi selama 60 menit dengan absorbansi sebesar 1,08. Demikian juga pada Gambar 4. 6 (c) menunjukkan titik optimum pada konsentrasi asam tartarat 1,06 M dengan absorbansi sebesar 0,97. Dilihat dari waktu pengamatan antara hari ke-0 dengan hari ke-8 pada ketiga plot menunjukkan penurunan absorbansi pada setiap faktor respon pada hari ke-8. Hal tersebut mengindikasikan adanya perubahan dalam sifat fisik atau kimia dari AgNP, dimana nanopartikel perak mengalami degradasi atau perubahan struktur permukaan AgNP.



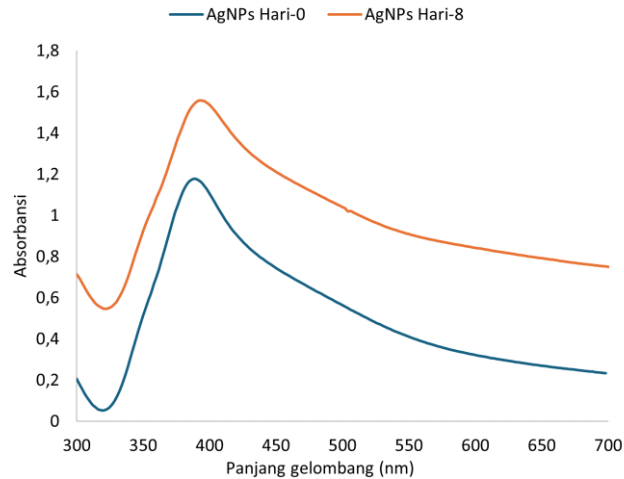
Gambar 4. 6 Plot titik optimum sintesis AgNP hari ke-8

4.3 Karakterisasi AgNP dengan Spektrofotometer UV-Vis

Setelah dilakukan optimasi dengan RSM, satu sampel yang dianggap paling optimum pada sintesis AgNP akan disubstitusikan seperti dalam persamaan 4. 1 dan 4.2. Hasil respon Z yang memiliki nilai terbesar dinyatakan sebagai kondisi optimum pada sintesis AgNP. Dari hasil sintesis AgNP didapatkan kondisi optimum dengan waktu sonikasi selama 40 menit, suhu sonikasi 60°C, dan konsentrasi asam tartarat sebesar 1,0 M. Titik optimum selanjutnya akan dikarakterisasi lebih lanjut dengan PSA, Potensial Zeta, TEM, dan uji aktivitas antioksidan.

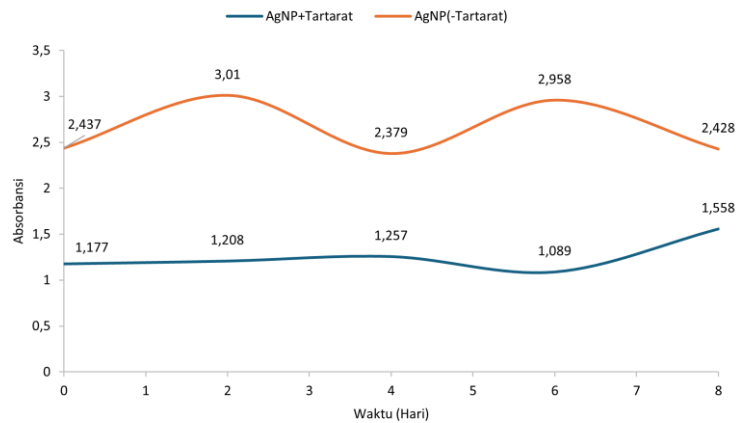
Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk memantau stabilitas dari sintesis AgNP (Rajeshkumar dan Bharath, 2017). Karakterisasi ini juga bertujuan untuk mendeteksi panjang gelombang dan serapan di mana puncak SPR berada (Ismail dkk., 2019). Pengujian spektrofotometer UV-Vis setiap sampel AgNP diuji dalam rentang panjang gelombang 300 – 700 nm ditunjukkan pada Gambar 4. 7. Pada Gambar 4.7 menunjukkan dua

spektra dari sampel AgNP pada hari ke-0 dan hari ke-8. Larutan AgNP pada hari ke-0 menghasilkan pita plasmon maksimum pada panjang gelombang 390 nm (spektra warna biru). Pengamatan absorbansi juga dilakukan pada hari ke-8 dimana terjadi pergeseran panjang gelombang maksimum ke arah kanan menjadi 394 nm (spektra warna orange). Pergeseran pita plasmon ke arah kanan yang dapat disebut dengan pergeseran merah mengindikasikan adanya peningkatan ukuran nanopartikel (Sarvalkar dkk., 2021).



Gambar 4. 7 Spektra UV-Vis dari larutan AgNP optimum

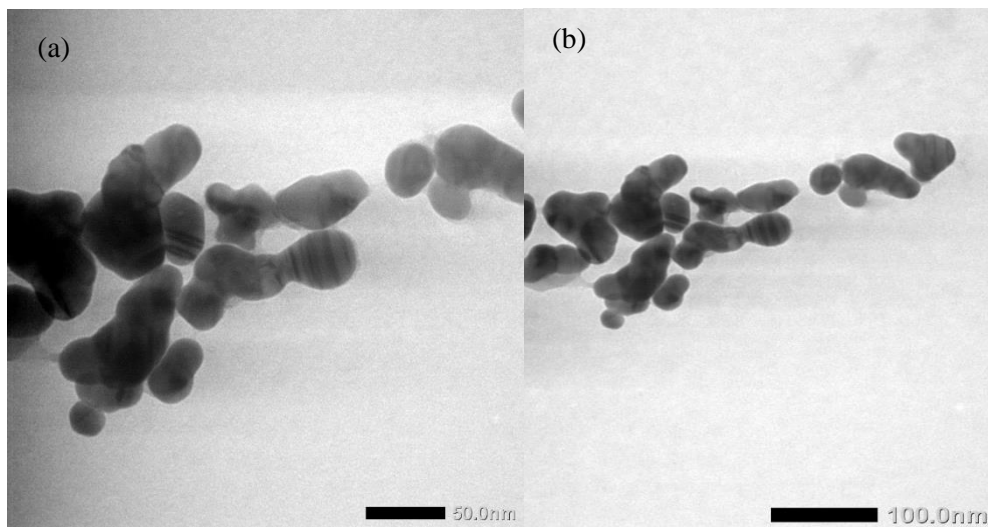
Pengujian ini juga dilakukan untuk sampel yang tidak dilapisi dengan asam tartarat sebagai *capping agent* untuk melihat kestabilan antara sampel tanpa asam tartarat dan sampel dengan penambahan asam tartarat. Pengamatan ini dilakukan dengan fungsi waktu selama 8 hari yang ditunjukkan pada Gambar 4. 8. Kedua larutan AgNP juga ditambahkan dengan NaBH_4 sebagai agen pereduksi. Larutan AgNP dengan penambahan asam tartarat ditunjukkan oleh spektra berwarna biru sedangkan untuk larutan AgNP tanpa penambahan asam tartarat ditunjukkan oleh spektra berwarna orange. Setelah dilakukan pengamatan dengan waktu selama 8 hari didapatkan nilai absorbansi yang signifikan di antara kedua larutan di mana larutan AgNP dengan penambahan asam tartarat memiliki rata-rata absorbansi yang lebih rendah dibandingkan dengan larutan AgNP tanpa penambahan asam tartarat. Hal tersebut disebabkan karena terjadi interaksi antara *capping agent* dan AgNP yang dapat mengubah sifat dan stabilitasnya (Ferreira dkk., 2023; Murphy dkk., 2020; Niska dkk., 2016). Dampak spesifik dari zat penutup pada absorbansi AgNP dapat bervariasi tergantung pada jenis *capping agent* yang digunakan, karena zat yang berbeda dapat memiliki efek yang berbeda pada stabilitas dan sifat AgNP (Ferreira dkk., 2023; Murphy dkk., 2020). Namun, jika dilihat pada kedua spektra larutan AgNP dengan penambahan asam tartarat memiliki kecenderungan untuk meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini menandakan adanya pertumbuhan nanopartikel secara kontinu.



Gambar 4. 8 Spektra UV-Vis pada AgNP dengan waktu pengamatan selama 8 hari

4.4 Karakterisasi AgNP dengan TEM

Karakterisasi dengan TEM bertujuan dalam analisis morfologi dan diameter rata-rata dari AgNP optimum yang telah disintesis. Pengujian ini menggunakan mikroskopi TEM. Hasil karakterisasi dengan TEM ditunjukkan pada Gambar 4. 9.



Gambar 4. 9 Mikrograf TEM dari AgNP (a) Perbesaran 50 nm, (b) Perbesaran 100 nm

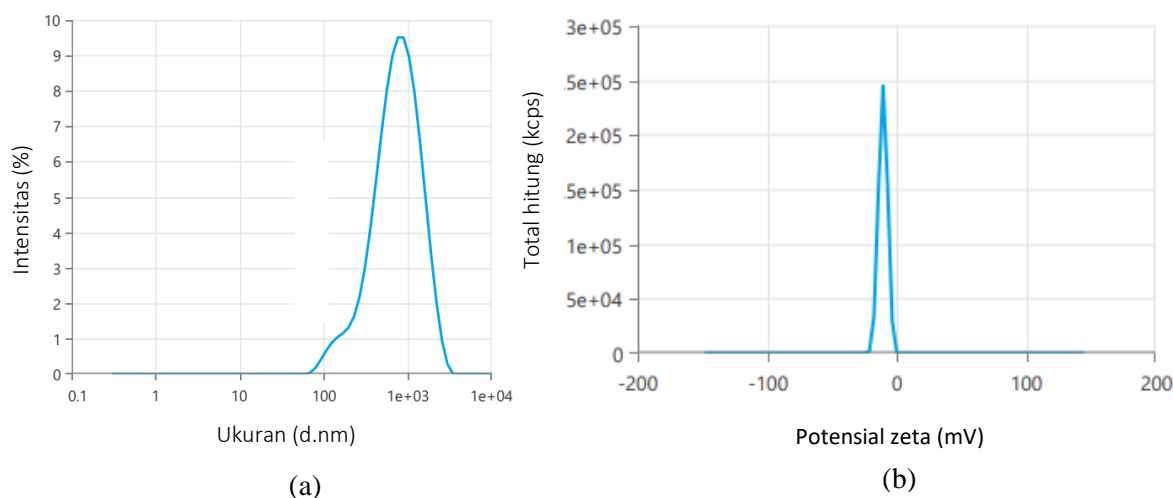
Hasil pengujian TEM didapatkan ukuran diameter rata-rata sebesar 102,17 nm. Morfologi dari AgNP berbentuk *spherical*. Pada Gambar 4. 9 terlihat adanya partikel yang saling terpisah dan ada juga yang saling berdekatan. Hal ini bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya yaitu kestabilan antar partikel AgNP. Dari hasil karakterisasi TEM dapat disimpulkan bahwa sintesis AgNP telah berhasil terbentuk dan *capping agent* berfungsi dengan baik.

4.5 Karakterisasi AgNP dengan PSA

Karakterisasi AgNP dilakukan dengan PSA berjenis *Dynamic Light Scattering* (Malvern Zetasizer Nano ZS). Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran AgNP yang telah disintesis. Selain itu, instrumen ini juga dapat digunakan untuk analisis

potensial zeta pada AgNP. Hasil PSA yang baik ditandai dengan dihasilkannya puncak *single modal* yang homogen dan nilai PDI yang rendah (Wang dkk., 2018). Pada Gambar 4. 10 (a) menunjukkan histrogram distribusi ukuran AgNP. Didapatkan rata-rata ukuran nanopartikel yang berada pada 587,8 nm. Dalam beberapa aplikasi ukuran tersebut nanopartikel karena menunjukkan sifat fisika atau kimia yang khas dari nanopartikel (Fendler, 1998). Contohnya di bidang farmasi umumnya mempertimbangkan ukuran nanopartikel dengan rentang 100 – 1000 nm (Jog dan Burgess, 2017). Nilai polydispersity index (PDI) yang rendah yaitu 0,2987 menunjukkan distribusi ukuran AgNP yang cukup sempit. Data tersebut sebanding dengan penelitian sebelumnya dimana sintesis nanopartikel perak dengan AgNP+tartarat memiliki distribusi diameter yang lebih besar dibandingkan pada sampel AgNP+PVP dan AgNP+PVP + tartarat. Didapatkan distribusi ukuran diameter pada sampel AgNP+PVP memiliki rata-rata sebesar 67,76 nm, sedangkan distribusi ukuran diameter untuk AgNP+PVP+tartarat rata-rata sebesar 171,7 nm (Anggreani, 2024; Firdianti, Birgitta, 2024). Ukuran nanopartikel pada analisis PSA menunjukkan hasil yang lebih besar daripada TEM. Hal ini disebabkan karena interaksi antar partikel yang mengalami penurunan nilai kestabilan sehingga dapat terbentuk partikel yang lebih besar.

Parameter stabilitas AgNP juga diamati dengan analisis potensial zeta. Analisis potensial zeta AgNP dtunjukkan pada Gambar 4. 10 (b). Pada hasil potensial zeta diperoleh nilai sebesar -10,5 mV. Potensial zeta mencerminkan muatan listrik permukaan nanopartikel dimana dapat bernilai positif maupun negatif sehingga berdasarkan hasil tersebut dapat diinterpretasikan bahwa partikel memiliki stabilitas yang baik. Idealnya nanopartikel dengan potensi zeta lebih besar dari +30 mV atau kurang dari -30 mV masing-masing dianggap sangat kationik dan sangat anionik (Clogston dan Patri, 2011; Rajeshkumar dan Bharath, 2017).

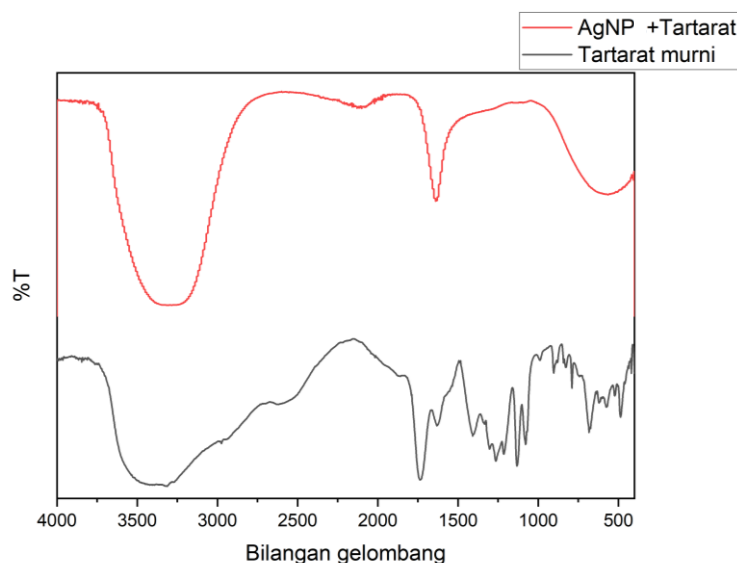


Gambar 4. 10 Hasil karakterisasi AgNP (a) PSA, dan (b) Potensial zeta

4.6 Karakterisasi AgNP dengan FTIR

Karakterisasi mengetahui vibrasi ikatan antar atom dalam gugus fungsional tertentu. Banyaknya energi yang diserap beragam dari ikatan ke ikatan. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan momen dipol pada saat energi diserap. Dalam pengujian ini terdapat puncak adsorpsi yang berkaitan dengan beberapa jenis vibrasi meliputi vibrasi tarikan (*stretching*) dan tekukan (*bending*) seperti *out-of-plane bending* (*twisting, wagging*) dan *in-plane bending* (*rocking*). Inti atom yang terikat pada ikatan kovalen mengalami vibrasi atau osilasi. Molekul yang menyerap radiasi inframerah dapat menaikkan amplitudo getaran atom-atom yang terikat itu sehingga

molekul berada dalam keadaan vibrasi tereksitasi (Raturandang dkk., 2022). Pada Gambar 4. 11 diperoleh spektra FTIR pada sampel asam tartarat murni dan AgNP + tartarat.



Gambar 4. 11 Spektra FTIR pada AgNP dan tartarat murni

Dihasilkan puncak pertama pada bilangan gelombang 3310 cm^{-1} yang mengindikasikan gugus fungsi hidroksil -OH dengan senyawa ikatan hidrogen (*hydrogen bonding*). Puncak spektra FTIR yang muncul pada $1728,27\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan frekuensi gugus karboksilat yaitu C=O . Gugus hidroksil memiliki ciri khas yaitu memiliki interaksi langsung dengan gugus karbonil. Sebuah puncak muncul pada bilangan gelombang $563,83\text{ cm}^{-1}$ disebabkan oleh vibrasi logam (Ag-O) (Tang dan Yang, 2017). Data FTIR mengkonfirmasi terdapat adanya asam tartarat yang berperan sebagai *capping agent* dalam sintesis AgNP disebabkan terdapat adanya interaksi antara gugus fungsional tartarat yaitu gugus karboksilat (gugus C=O dan -OH) dengan permukaan logam perak. Penambahan asam tartarat pada AgNP yang ditunjukkan pada spektrum dapat menggeser puncak resonansi C=O dari $1728,27\text{ cm}^{-1}$ ke 1650 cm^{-1} juga menggeser puncak hidroksil (-OH) dari $3427,61\text{ cm}^{-1}$ ke 3314 cm^{-1} .

4.7 Uji Aktivitas Antioksidan

Uji aktivitas antioksidan bertujuan untuk mengukur kemampuan AgNP yang telah disintesis pada kondisi optimum (konsentrasi asam tartarat 1 M; waktu sonikasi 40 menit; dan suhu sonikasi 60°C) dalam meredam radikal bebas. Pengujian ini menggunakan metode DPPH, dimana dalam pelaksanaannya digunakan reagen DPPH yakni radikal 1,1-difenil-2-pikrilhidrasil. Pengujian aktivitas antioksidan ini dilakukan secara *in vitro* (Huo dkk., 2018). Reaksi senyawa DPPH dengan senyawa bersifat antioksidan akan menghambat pembentukan radikal bebas dan mencegah kerusakan sel yang ditandai dengan berkurangnya intensitas warna ungu hingga menjadi kuning bergantung pada kadar antioksidan (Anggarani dkk., 2023). Dalam pengujian dilakukan pencampuran 1 mL larutan uji sampel AgNP dengan 1 mL DPPH 0,2 mM dan divorteks. Kemudian dilakukan inkubasi pada suhu ruangan di tempat gelap sesuai dengan hasil *operating time*. Selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimum dengan spektrometer UV-Vis beberapa kali pengulangan. Setelah proses analisis data dihasilkan absorbansi uji aktivitas antioksidan pada AgNP yang kemudian dihitung presentase inhibisi atau peredaman radikal 1,1-difenil-2-pikrilhidrasil dengan persamaan sebagai berikut:

$$\%inhibisi = \frac{(0,810 - 0,268)}{0,810} \times 100\% \quad (4.4)$$
$$\%inhibisi = 66,9\%$$

Dari hasil perhitungan pada persamaan 4. 4 didapatkan nilai inhibisi yang diukur pada panjang gelombang 517 nm dengan waktu inkubasi selama 30 menit sebesar 66,9%. Sampel AgNP memiliki aktivitas antioksidan dalam peredaman radikal 1,1-difenil-2-pikrilhidrasil sebesar 66,9%.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, telah berhasil disintesis nanopartikel perak (AgNP) melalui metode reduksi kimia dan dioptimasi dengan RSM *Central Composite Design* berjenis *Face Centered* (F-CCD). Dihilangkan titik optimum pada konsentrasi asam tartarat sebesar 1 M; waktu sonikasi selama 40 menit; dan suhu sonikasi 60°C. Puncak *surface plasmon resonance* (SPR) diamati pada panjang gelombang 394 nm. Data yang dianalisis dalam RSM adalah data absorbansi sintesis AgNP dengan waktu pendiaman selama 0 hari dan 8 hari. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi stabilitas AgNP. Sampel (a) untuk sampel dengan waktu pendiaman selama 0 hari sedangkan (b) sampel dengan waktu pendiaman selama 8 hari. Setelah dilakukan pengamatan dengan waktu selama 8 hari didapatkan nilai absorbansi yang signifikan di antara kedua larutan di mana larutan AgNP dengan penambahan asam tartarat memiliki rata-rata absorbansi yang lebih rendah dibandingkan dengan larutan AgNP tanpa penambahan asam tartarat. Pada hasil TEM didapatkan bahwa AgNP yang terbentuk berupa *spherical* dengan rata-rata ukuran partikel 102,17 nm serta puncak PSA yang berbentuk tunggal dengan hasil potensial zeta diperoleh nilai sebesar -10,5 mV. Pada uji antioksidan dengan metode DPPH yang mengacu pada kemampuan AgNP dalam meredam radikal 1,1-difenil-2-pikrilhidrasil diperoleh nilai inhibisi sebesar 66,9%.

5.2 Saran

Optimasi proses sintesis nanopartikel perak perlu dikaji kembali untuk rentang konsentrasi dari variabel independen dalam RSM sehingga menunjukkan plot dengan rentang yang lebih maksimum. Studi lebih lanjut untuk aplikasi aktivitas antioksidan diharapkan dapat melakukan pengujian dalam beberapa variasi konsentrasi dan dilakukan perbandingan dengan sumber antioksidan yang lain sehingga dapat dihasilkan akurasi nilai yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, R., Shineh, G., Mobaraki, M., Doughty, S., Tayebi, L., 2023. Structural parameters of nanoparticles affecting their toxicity for biomedical applications: a review. *J. Nanoparticle Res.* 25, 43. <https://doi.org/10.1007/s11051-023-05690-w>
- Ali, K., Cherian, T., Fatima, S., Saquib, Q., Faisal, M., Alatar, A.A., Musarrat, J., Al-Khedhairi, A.A., 2020. Role of Solvent System in Green Synthesis of Nanoparticles, in: Saquib, Q., Faisal, M., Al-Khedhairi, A.A., Alatar, A.A. (Eds.), *Green Synthesis of Nanoparticles: Applications and Prospects*. Springer Singapore, Singapore, pp. 53–74. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5179-6_3
- Anggarani, M.A., Ilmiah, M., Mahfudhah, D.N., 2023. Literature Review of Antioxidant Activity of Several Types of Onions and Its Potensial as Health Supplements. *Univ. Negeri Surabaya*.
- Anggreani, Z. nilam, 2024. Pengaruh Asam Tartarat Terhadap Aktivitas Antibakteri Nanopartikel Perak.
- Annisaa Siti, Z., Iwan Syahjoko, S., Indah Puspita, S., M Alvien, G., Yoki, Y., Yogi, N., 2021. Green Synthesis Nanopartikel Perak (AgNPs) Menggunakan Bioreduktor Alami Ekstrak Daun Ilalang (*Imperata cylindrica* L). *Rafflesia J. Nat. Appl. Sci.* 11–19.
- Ariyanta, H.A., 2014. Silver Nanoparticles Preparation by Reduction Method and its Application as Antibacterial for Cause of Wound Infection. *MKMI* 36–42.
- Arsista, D., Eriwati, Y.K., 2021. Penggunaan ATR - FTIR (Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy) pada Kedokteran Gigi. *J. Mater. Kedokt. Gigi* 57–66.
- Badineni, V., Maseed, H., Arla, S.K., Yerramala, S., Vijaya Kumar Naidu, B., Kaviyarasu, K., 2021. Effect of PVA/PVP protective agent on the formation of silver nanoparticles and its photocatalytic and antimicrobial activity. *Mater. Today Proc.* 36, 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.002>
- Bahadar, A., Khan, M.B., Asim, M.A., Jalwana, K., 2015. Supercritical Fluid Extraction of Microalgae (*Chlorella vulgaris*) Biomass, in: *Handbook of Marine Microalgae*. Elsevier, pp. 317–330. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800776-1.00021-2>
- Begum, I., Shamim, S., Ameen, F., Hussain, Z., Bhat, S.A., Qadri, T., Hussain, M., 2022. A Combinatorial Approach towards Antibacterial and Antioxidant Activity Using Tartaric Acid Capped Silver Nanoparticles. *Processes* 10, 716. <https://doi.org/10.3390/pr10040716>
- Bharathi, E., Sivakumari, G., Kamalakkannan, J., Karthikeyan, B., Senthilvelan, S., 2020. Synergetic execute pressure, temperature on mixed Ac/Ag@CuO and its multi properties of solar light elucidation and antibacterial activity by hydrothermal technique. *Mater. Sci. Energy Technol.* 3, 407–419. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.02.002>
- Blanca, M.J., Arnau, J., López-Montiel, D., Bono, R., Bendayan, R., 2013. Skewness and Kurtosis in Real Data Samples. *Methodology* 9, 78–84. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000057>
- Breig, S.J.M., Luti, K.J.K., 2021. Response surface methodology: A review on its applications and challenges in microbial cultures. *Mater. Today Proc.* 42, 2277–2284. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.316>
- Cain, M.K., Zhang, Z., Yuan, K.-H., 2017. Univariate and multivariate skewness and kurtosis for measuring nonnormality: Prevalence, influence and estimation. *Behav. Res. Methods* 49, 1716–1735. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0814-1>

- Campbell, J., Burkitt, S., Dong, N., Zavaleta, C., 2020. Nanoparticle characterization techniques, in: *Nanoparticles for Biomedical Applications*. Elsevier, pp. 129–144. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816662-8.00009-6>
- Chandraker, S.K., Lal, M., Shukla, R., 2019. DNA-binding, antioxidant, H₂O₂ sensing and photocatalytic properties of biogenic silver nanoparticles using *Ageratum conyzoides* L. leaf extract. *RSC Adv.* 9, 23408–23417. <https://doi.org/10.1039/C9RA03590G>
- Chen, Q., Jiang, H., Ye, H., Li, J., Huang, J., 2014. Preparation, Antibacterial, and Antioxidant Activities of Silver/Chitosan Composites. *J. Carbohydr. Chem.* 33, 298–312. <https://doi.org/10.1080/07328303.2014.931962>
- Chowdhury, S., Yusof, F., Faruck, M.O., Sulaiman, N., 2016. Process Optimization of Silver Nanoparticle Synthesis Using Response Surface Methodology. *Procedia Eng.* 148, 992–999. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.552>
- Clogston, J.D., Patri, A.K., 2011. Zeta Potential Measurement, in: McNeil, S.E. (Ed.), *Characterization of Nanoparticles Intended for Drug Delivery*, *Methods in Molecular Biology*. Humana Press, Totowa, NJ, pp. 63–70. https://doi.org/10.1007/978-1-60327-198-1_6
- Devian, Gabriel Denis, 2024. Optimasi Sintesis Perak Nanopartikel Dengan Response Surface Methodology (RSM) dan Aplikasinya Sebagai Antibakteri. ITS.
- Din, 2017. Synthesis, Characterization, and Applications of Copper Nanoparticles. *Anal. Lett.* 50, 50–62. <https://doi.org/10.1080/00032719.2016.1172081>
- Du, J., Hu, Z., Dong, W., Wang, Y., Wu, S., Bai, Y., 2019. Biosynthesis of large-sized silver nanoparticles using *Angelica keiskei* extract and its antibacterial activity and mechanisms investigation. *Microchem. J.* 147, 333–338. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.046>
- Fendler, J.H. (Ed.), 1998. *Nanoparticles and Nanostructured Films: Preparation, Characterization and Applications*, 1st ed. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527612079>
- Ferreira, A.M., Vikulina, A., Loughlin, M., Volodkin, D., 2023. How similar is the antibacterial activity of silver nanoparticles coated with different capping agents? *RSC Adv.* 13, 10542–10555. <https://doi.org/10.1039/D3RA00917C>
- Firdianti, Birgitta, 2024. Optimasi Proses Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Response Surface Methodology (RSM) Untuk Evaluasi Antibakteri. ITS.
- Gallo, A., Bianco, C., Tosco, T., Tiraferri, A., Sethi, R., 2019. Synthesis of eco-compatible bimetallic silver/iron nanoparticles for water remediation and reactivity assessment on bromophenol blue. *J. Clean. Prod.* 211, 1367–1374. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.298>
- Gee, G.W., 2018. 2.4 Particle-Size Analysis, in: Dane, J.H., Clarke Topp, G. (Eds.), *SSSA Book Series*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 255–293. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12>
- Goia, D.V., Matijević, E., 1998. Preparation of monodispersed metal particles. *New J. Chem.* 22, 1203–1215. <https://doi.org/10.1039/a709236i>
- Goldberg, I., Rokem, J.S., 2009. Organic and Fatty Acid Production, Microbial, in: *Encyclopedia of Microbiology*. Elsevier, pp. 421–442. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00156-5>
- Hamidi, D., Besharati Fard, M., Yetilmezsoy, K., Alavi, J., Zarei, H., 2021. Application of *Orchis mascula* tuber starch as a natural coagulant for oily-saline wastewater treatment: Modeling and optimization by multivariate adaptive regression splines method and response surface methodology. *J. Environ. Chem. Eng.* 9, 104745. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104745>

- Hao, B., Xu, D., Wei, Y., Diao, Y., Yang, L., Fan, L., Guo, Y., 2023. Mathematical models application in optimization of hydrothermal liquefaction of biomass. *Fuel Process. Technol.* 243, 107673. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2023.107673>
- Huang, T., Xu, X.-H.N., 2010. Synthesis and characterization of tunable rainbow colored colloidal silver nanoparticles using single-nanoparticle plasmonic microscopy and spectroscopy. *J. Mater. Chem.* 20, 9867. <https://doi.org/10.1039/c0jm01990a>
- Huo, C., Khoshnamvand, M., Liu, P., Yuan, C.-G., Cao, W., 2018. Eco-friendly approach for biosynthesis of silver nanoparticles using *Citrus maxima* peel extract and their characterization, catalytic, antioxidant and antimicrobial characteristics. *Mater. Res. Express* 6, 015010. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aae34c>
- Hur, S.J., Lee, S.Y., Kim, Y.-C., Choi, I., Kim, G.-B., 2014. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chem.* 160, 346–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.112>
- Ibrahim, N., Zubir, S.A., Manaf, A.A., Mustapha, M., 2023. Stability and conductivity of water-based colloidal silver nanoparticles conductive inks for sustainable printed electronics. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 153, 105202. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.105202>
- Ijaz, I., Bukhari, Aysha, Gilani, E., Nazir, A., Zain, H., Saeed, R., Hussain, S., Hussain, T., Bukhari, Awais, Naseer, Y., Aftab, R., 2022. Green synthesis of silver nanoparticles using different plants parts and biological organisms, characterization and antibacterial activity. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 18, 100704. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100704>
- Inkson, B.J., 2016. Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization, in: *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier, pp. 17–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>
- Ismail, R., Tahseen, M., Raad, A., 2019. Surface Plasmon Resonance of Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Applications. *Biochem. Technol. Soc.* 62–64.
- Javed, R., Zia, M., Naz, S., Aisida, S.O., Ain, N.U., Ao, Q., 2020. Role of capping agents in the application of nanoparticles in biomedicine and environmental remediation: recent trends and future prospects. *J. Nanobiotechnology* 18, 172. <https://doi.org/10.1186/s12951-020-00704-4>
- Jebril, S., Khanfir Ben Jenana, R., Dridi, C., 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using *Melia azedarach* leaf extract and their antifungal activities: In vitro and in vivo. *Mater. Chem. Phys.* 248, 122898. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122898>
- Jog, R., Burgess, D.J., 2017. Pharmaceutical Amorphous Nanoparticles. *J. Pharm. Sci.* 106, 39–65. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2016.09.014>
- Julianto, Henry, Farid, M., Rasyida, A., 2017. Ekstraksi Nanoselulosa dengan Metode Hidrolisis Asam sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *J. Tek. ITS* 6.
- Junaidi, A.B., Wahyudi, A., Umaningrum, D., 2015. Sintesis AgNPs Secara Reduksi Kimia Menggunakan Capping Agent Kitosan Dan Pereduksi Glukosa. *Univ. Lambung Mangkurat* 9, 70–80.
- Kafle, B.P., 2020. Introduction to nanomaterials and application of UV–Visible spectroscopy for their characterization, in: *Chemical Analysis and Material Characterization by Spectrophotometry*. Elsevier, pp. 147–198. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814866-2.00006-3>
- Karadag, A., Ozcelik, B., Saner, S., 2009. Review of Methods to Determine Antioxidant Capacities. *Food Anal. Methods* 2, 41–60. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>

- Karimifard, S., Alavi Moghaddam, M.R., 2018. Application of response surface methodology in physicochemical removal of dyes from wastewater: A critical review. *Sci. Total Environ.* 640–641, 772–797. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.355>
- Khan, A.U., Yuan, Q., Khan, Z.U.H., Ahmad, A., Khan, F.U., Tahir, K., Shakeel, M., Ullah, S., 2018. An eco-benign synthesis of AgNPs using aqueous extract of Longan fruit peel: Antiproliferative response against human breast cancer cell line MCF-7, antioxidant and photocatalytic deprivation of methylene blue. *J. Photochem. Photobiol. B* 183, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.05.007>
- Khatoon, U.T., Velidandi, A., Nageswara Rao, G.V.S., 2023. Sodium borohydride mediated synthesis of nano-sized silver particles: Their characterization, anti-microbial and cytotoxicity studies. *Mater. Chem. Phys.* 294, 126997. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126997>
- Khodashenas, B., Ghorbani, H.R., 2019. Synthesis of silver nanoparticles with different shapes. *Arab. J. Chem.* 12, 1823–1838. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.12.014>
- Kinnear, C., Moore, T.L., Rodriguez-Lorenzo, L., Rothen-Rutishauser, B., Petri-Fink, A., 2017. Form Follows Function: Nanoparticle Shape and Its Implications for Nanomedicine. *Chem. Rev.* 117, 11476–11521. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00194>
- Kumar, M., Devi, P., Kumar, A., 2017. Structural analysis of PVP capped silver nanoparticles synthesized at room temperature for optical, electrical and gas sensing properties. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 28, 5014–5020. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-6157-y>
- Lalegani, Z., Seyyed Ebrahimi, S.A., 2020. Optimization of synthesis for shape and sizecontrolled silver nanoparticles using response surface methodology. *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* 595, 124647. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124647>
- Larasati Anindy, A., 2018. Particle size analyser: beberapa penggunaan instrumen hamburan cahaya. *Pus. Penelit. Nanosains Dan Nanoteknologi Inst. Teknol. Bdg.*
- Lee, S.H., Jun, B.-H., 2019. Silver Nanoparticles: Synthesis and Application for Nanomedicine. *Int. J. Mol. Sci.* 20, 865. <https://doi.org/10.3390/ijms20040865>
- Link, S., El-Sayed, M.A., 2003. Optical Properties and Ultrafast Dynamics of Metallic Nanocrystals. *Annu. Rev. Phys. Chem.* 54, 331–366. <https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.54.011002.103759>
- Lungu, M., Neculae, A., Bunoiu, M., Biris, C. (Eds.), 2015. *Nanoparticles' Promises and Risks: Characterization, Manipulation, and Potential Hazards to Humanity and the Environment.* Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11728-7>
- Maitulung, I., Wilmar, M., N. Pareta, D., Yessie K, L., 2022. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Akar Manukan (*Rhinacanthus nasutus* (L) Kurz). *The Tropical Journal of Biopharmaceutical* 127–134.
- Maria, C., 2012. Application of FTIR Spectroscopy in Environmental Studies, in: Akhyar Farrukh, M. (Ed.), *Advanced Aspects of Spectroscopy.* InTech. <https://doi.org/10.5772/48331>
- Markus, J., Wang, D., Kim, Y.-J., Ahn, S., Mathiyalagan, R., Wang, C., Yang, D.C., 2017. Biosynthesis, Characterization, and Bioactivities Evaluation of Silver and Gold Nanoparticles Mediated by the Roots of Chinese Herbal *Angelica pubescens* Maxim. *Nanoscale Res. Lett.* 12, 46. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-1833-2>
- Mehmood, T., Ahmed, A., Ahmad, A., Ahmad, M.S., Sandhu, M.A., 2018. Optimization of mixed surfactants-based β -carotene nanoemulsions using response surface methodology: An ultrasonic homogenization approach. *Food Chem.* 253, 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.136>

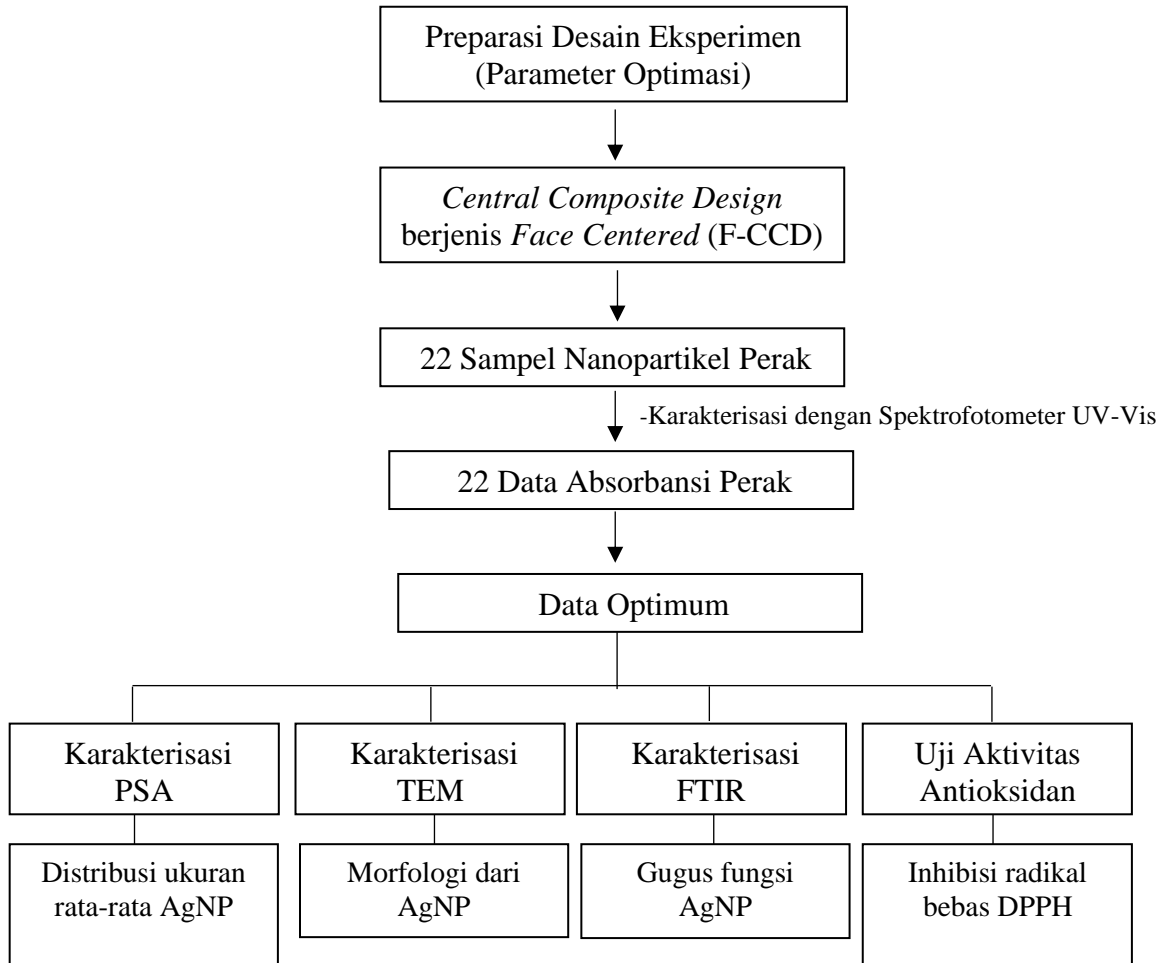
- Mendieta-Jiménez, A.L., Carpio-Martínez, P., Cortés-Guzmán, F., Gómez-Espinosa, R.M., 2018. Design of growing points for silver nanoparticles on polypropylene membranes. *Chem. Phys. Lett.* 693, 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2018.01.013>
- Murphy, A., Galon, R., K. Jaiswal, A., Jaiswal, S., 2020. An Investigation on Effect of Capping Agent on Silver Nanoparticles Antibacterial Activity. *J. Food Chem. Nanotechnol.* 6, 189–196. <https://doi.org/10.17756/jfcn.2020-0101>
- Nair, G.M., Sajini, T., Mathew, B., 2022. Advanced green approaches for metal and metal oxide nanoparticles synthesis and their environmental applications. *Talanta Open* 5, 100080. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2021.100080>
- Najah Ahmed, A., Binti Othman, F., Abdulmohsin Afan, H., Khaleel Ibrahim, R., Ming Fai, C., Shabbir Hossain, M., Ehteram, M., Elshafie, A., 2019. Machine learning methods for better water quality prediction. *J. Hydrol.* 578, 124084. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124084>
- Nazari, L., Yuan, Z., Ray, M.B., Xu, C. (Charles), 2017. Co-conversion of waste activated sludge and sawdust through hydrothermal liquefaction: Optimization of reaction parameters using response surface methodology. *Appl. Energy* 203, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.009>
- Nguyen, T.H.A., Nguyen, V.-C., Phan, T.N.H., Le, V.T., Vasseghian, Y., Trubitsyn, M.A., Nguyen, A.-T., Chau, T.P., Doan, V.-D., 2022. Novel biogenic silver and gold nanoparticles for multifunctional applications: Green synthesis, catalytic and antibacterial activity, and colorimetric detection of Fe (III) ions. *Chemosphere* 287, 132271. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132271>
- Ni'mah, Y.L., Baktir, A., Santosaningsih, D., Suprpto, S., 2023. The Influence of Tartaric Acid in the Silver Nanoparticle Synthesis Using Response Surface Methodology. *J. Renew. Mater.* 0, 1–10. <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.045514>
- Niska, K., Knap, N., Kędzia, A., Jaskiewicz, M., Kamysz, W., Inkielewicz-Stepniak, I., 2016. Capping Agent-Dependent Toxicity and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles: An *In Vitro* Study. Concerns about Potential Application in Dental Practice. *Int. J. Med. Sci.* 13, 772–782. <https://doi.org/10.7150/ijms.16011>
- Niu, Z., Li, Y., 2014. Removal and Utilization of Capping Agents in Nanocatalysis. *Chem. Mater.* 26, 72–83. <https://doi.org/10.1021/cm4022479>
- Oktavia, I.N., Sutoyo, S., 2021. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Tumbuhan Sebagai Bahan Antioksidan. *Univ. Negeri Surabaya* 10.
- Pareek, V., Bhargava, A., Gupta, R., Jain, N., Panwar, J., 2017. Synthesis and Applications of Noble Metal Nanoparticles: A Review. *Adv. Sci. Eng. Med.* 9, 527–544. <https://doi.org/10.1166/ asem.2017.2027>
- Phan, 2019. What Does Nanoparticle Stability Mean? *J. Phys. Chem. C* 123, 16495–16507. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b00913>
- Pratiwi, R.A., 2022. How to Read and Interpret UV-VIS Spectrophotometric Results in Determining the Structure of Chemical Compounds. *Indones. J. Educ. Res. Technol.* 2, 1–20. <https://doi.org/10.17509/ijert.v2i1.35171>
- Pryshchepa, O., Pomastowski, P., Buszewski, B., 2020. Silver nanoparticles: Synthesis, investigation techniques, and properties. *Adv. Colloid Interface Sci.* 284, 102246. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102246>
- Quintero-Quiroz, C., Acevedo, N., Zapata-Giraldo, J., Botero, L.E., Quintero, J., Zárate-Triviño, D., Saldarriaga, J., Pérez, V.Z., 2019. Optimization of silver nanoparticle synthesis by chemical reduction and evaluation of its antimicrobial and toxic activity. *Biomater. Res.* 23, 27. <https://doi.org/10.1186/s40824-019-0173-y>

- Rajar, K., Sirajuddin, Balouch, A., Bhangar, M.I., Shah, M.T., Shaikh, T., Siddiqui, S., 2018. Succinic acid functionalized silver nanoparticles (Suc-Ag NPs) for colorimetric sensing of melamine. *Appl. Surf. Sci.* 435, 1080–1086. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.11.208>
- Rajeshkumar, S., Bharath, L.V., 2017. Mechanism of plant-mediated synthesis of silver nanoparticles – A review on biomolecules involved, characterisation and antibacterial activity. *Chem. Biol. Interact.* 273, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.06.019>
- Rajkuberan, C., Sudha, K., Sathishkumar, G., Sivaramakrishnan, S., 2015. Antibacterial and cytotoxic potential of silver nanoparticles synthesized using latex of *Calotropis gigantea* L. *Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc.* 136, 924–930. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.09.115>
- Raturandang, ridel, Royke Wenas, donny, Bujung, cyrke, 2022. Analisis Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas Di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya* 3, 28–33.
- Ravindran, A., Dhas, S.P., Chandrasekaran, N., Mukherjee, A., 2013. Differential interaction of silver nanoparticles with cysteine. *J. Exp. Nanosci.* 8, 589–595. <https://doi.org/10.1080/17458080.2011.577100>
- Riaz Ahmed, K.B., Nagy, A.M., Brown, R.P., Zhang, Q., Malghan, S.G., Goering, P.L., 2017. Silver nanoparticles: Significance of physicochemical properties and assay interference on the interpretation of in vitro cytotoxicity studies. *Toxicol. In Vitro* 38, 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.10.012>
- Samari, F., Parkhari, P., Eftekhari, E., Mohseni, F., Yousefinejad, S., 2019. Antioxidant, cytotoxic and catalytic degradation efficiency of controllable phyto-synthesised silver nanoparticles with high stability using *Cordia myxa* extract. *J. Exp. Nanosci.* 14, 141–159. <https://doi.org/10.1080/17458080.2019.1687883>
- Sarsam, S.M., 2019. Reinforcing the Decision-making Process in Chemometrics: Feature Selection and Algorithm Optimization, in: *Proceedings of the 2019 8th International Conference on Software and Computer Applications*. Presented at the ICSCA '19: 2019 8th International Conference on Software and Computer Applications, ACM, Penang Malaysia, pp. 11–16. <https://doi.org/10.1145/3316615.3316644>
- Sarvalkar, P.D., Mandavkar, R.R., Nimbalkar, M.S., Sharma, K.K., Patil, P.S., Kamble, G.S., Prasad, N.R., 2021. Bio-mimetic synthesis of catalytically active nano-silver using *Bos taurus* (A-2) urine. *Sci. Rep.* 11, 16934. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96335-2>
- Sathishkumar, M., Sneha, K., Yun, Y.-S., 2010. Immobilization of silver nanoparticles synthesized using *Curcuma longa* tuber powder and extract on cotton cloth for bactericidal activity. *Bioresour. Technol.* 101, 7958–7965. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.051>
- Sayed, F.A.-Z., Eissa, N.G., Shen, Y., Hunstad, D.A., Wooley, K.L., Elsabahy, M., 2022. Morphologic design of nanostructures for enhanced antimicrobial activity. *J. Nanobiotechnology* 20, 536. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01733-x>
- Shankar, S., 2015. Amino acid mediated synthesis of silver nanoparticles and preparation of antimicrobial agar/silver nanoparticles composite films. *Carbohydr. Polym.* 130, 353–363. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.018>
- Shekunov, B.Y., Chattopadhyay, P., Tong, H.H.Y., Chow, A.H.L., 2007. Particle Size Analysis in Pharmaceuticals: Principles, Methods and Applications. *Pharm. Res.* 24, 203–227. <https://doi.org/10.1007/s11095-006-9146-7>
- Shieh, C.-J., Chang, C.-Y., Chen, C.-S., 2004. Improving the texture of fried food, in: *Texture in Food*. Elsevier, pp. 501–523. <https://doi.org/10.1533/978185538362.3.501>
- Shim, H., 2024. Spectrophotometry.

- Shitu, I.G., Talib, Z.A., Chi, J.L.Y., Kechick, M.M.A., Baqiah, H., 2020. Influence of tartaric acid concentration on structural and optical properties of CuSe nanoparticles synthesized via microwave assisted method. *Results Phys.* 17, 103041. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103041>
- Shukor, M.S., 2014. Statistical Diagnosis Test of the Growth Kinetics Model for the Algae *Dunaliella tertiolecta*. *hibicuspublisher* 2, 70–74.
- Silva, L.I.M., Pérez-Gramatges, A., Larrude, D.G., Almeida, J.M.S., Aucélio, R.Q., Da Silva, A.R., 2021. Gold nanoparticles produced using NaBH₄ in absence and in the presence of one-tail or two-tail cationic surfactants: Characteristics and optical responses induced by aminoglycosides. *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* 614, 126174. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126174>
- Sreelekha, E., George, B., Shyam, A., Sajina, N., Mathew, B., 2021. A Comparative Study on the Synthesis, Characterization, and Antioxidant Activity of Green and Chemically Synthesized Silver Nanoparticles. *BioNanoScience* 11, 489–496. <https://doi.org/10.1007/s12668-021-00824-7>
- Tang, C.Y., Yang, Z., 2017. Transmission Electron Microscopy (TEM), in: *Membrane Characterization*. Elsevier, pp. 145–159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00008-5>
- Titus, D., James Jebaseelan Samuel, E., Roopan, S.M., 2019. Nanoparticle characterization techniques, in: *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. Elsevier, pp. 303–319. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00012-5>
- Tomaszewska, E., Soliwoda, K., Kadziola, K., Tkacz-Szczesna, B., Celichowski, G., Cichomski, M., Szmaja, W., Grobelny, J., 2013. Detection Limits of DLS and UV-Vis Spectroscopy in Characterization of Polydisperse Nanoparticles *Colloids. J. Nanomater.* 2013, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2013/313081>
- Vu, X.H., Duong, T.T.T., Pham, T.T.H., Trinh, D.K., Nguyen, X.H., Dang, V.-S., 2018. Synthesis and study of silver nanoparticles for antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* 9, 025019. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aac58f>
- Wagner, J.R., Mount, E.M., Giles, H.F., 2014. Design of Experiments, in: *Extrusion*. Elsevier, pp. 291–308. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-3481-2.00025-9>
- Wang, W., Cheng, Y., Tan, G., 2018. Design Optimization of SBS-Modified Asphalt Mixture Reinforced with Eco-Friendly Basalt Fiber Based on Response Surface Methodology. *Materials* 11, 1311. <https://doi.org/10.3390/ma11081311>

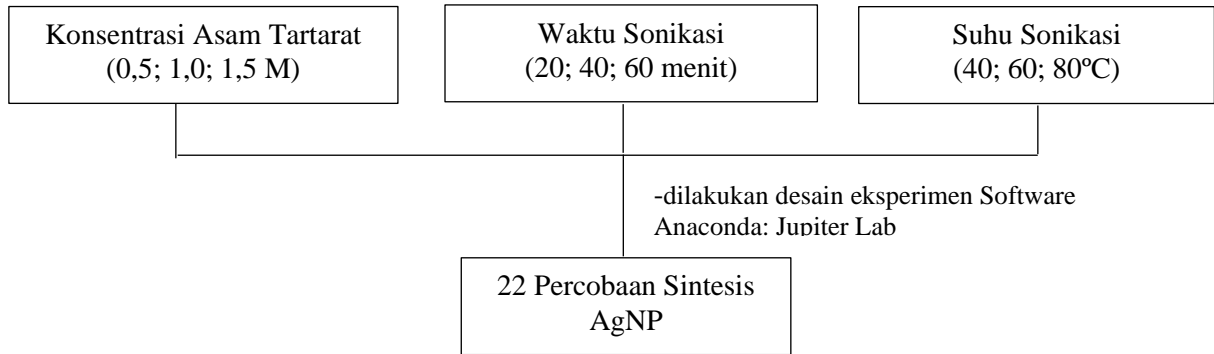
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian

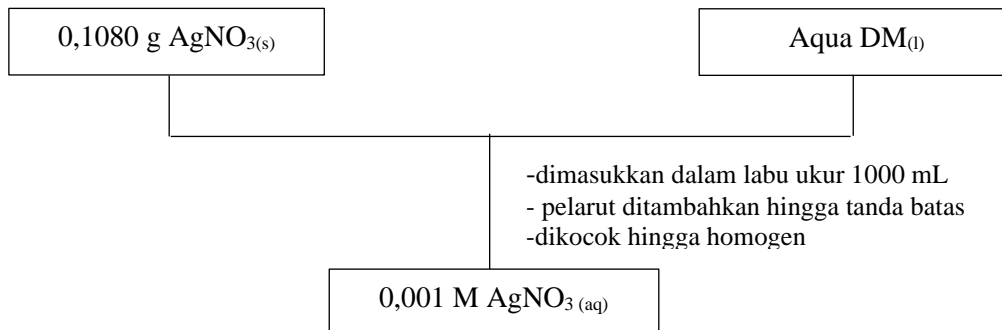


Lampiran 2. Diagram Alir Penelitian

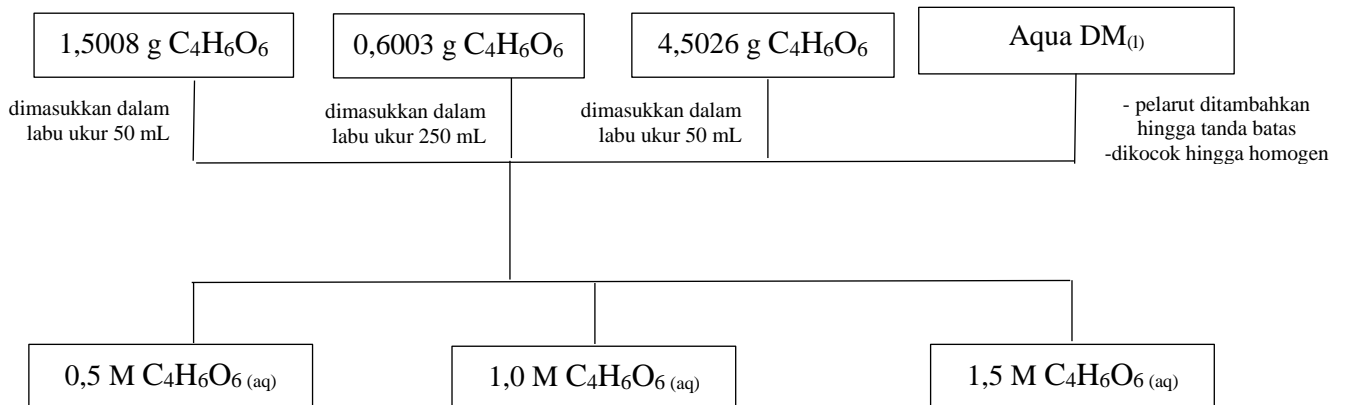
2.1 Desain Eksperimen



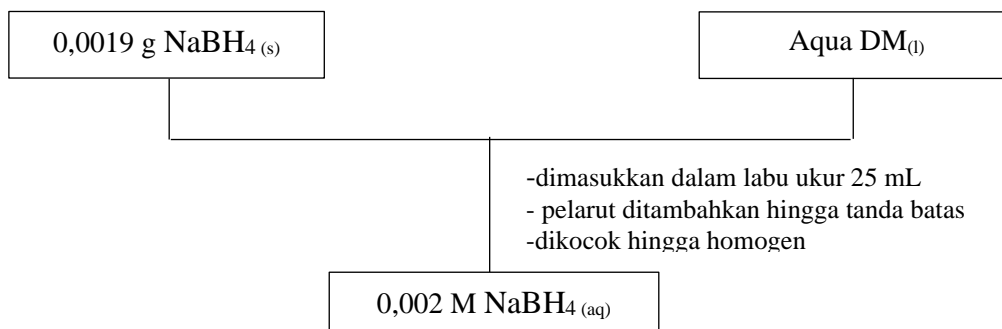
2.2 Pembuatan Larutan Perak Nitrat (AgNO_3) 0,001 M



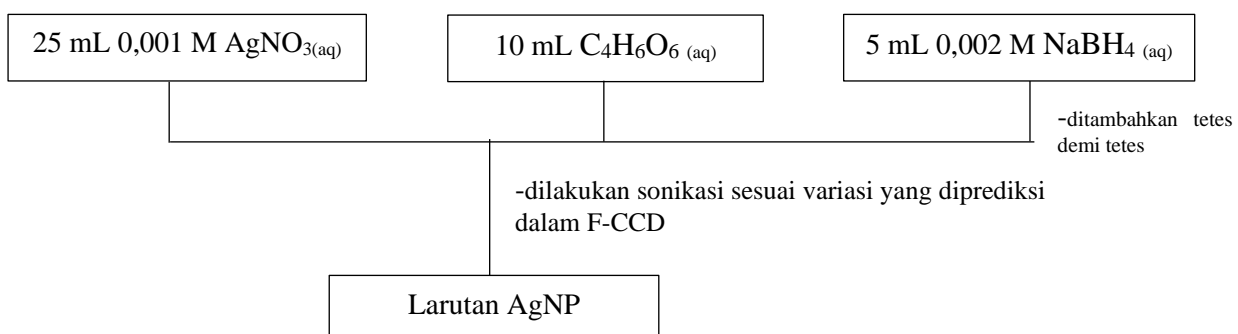
2.3 Pembuatan Larutan Asam Tartarat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) dengan variasi 0,5; 1,0; dan 1,5 M







2.4 Pembuatan Larutan NaBH_4 0,002 M


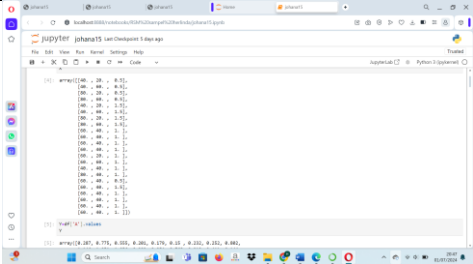


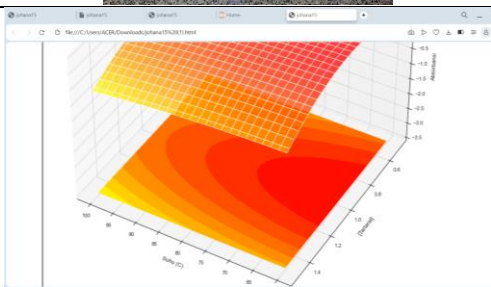


2.5 Sintesis Nanopartikel Perak



Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian

DOKUMENTASI	KETERANGAN
	Preparasi pembuatan larutan AgNO_3 0,001 M.
	Preparasi pembuatan larutan Asam Tartarat 0,5 M
	Preparasi pembuatan larutan Asam Tartarat 1,0 M
	Preparasi pembuatan larutan Asam Tartarat 1,5 M

	<p>Preparasi pembuatan larutan NaBH_4 0,002 M</p>
	<p>Proses pengerjaan desain F-CCD menggunakan Bahasa Python, Software Anaconda: Jupiter Lab.</p>
	<p>Dilakukan sonikasi untuk 22 kode sampel</p>
	<p>Pengujian dengan spektrofotometer UV-Vis</p>
	<p>Visualisasi plot 3D dengan metode RSM</p>

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Herlinda Ayu Wulandari. Penulis dilahirkan di Jombang, 18 Maret 2002, merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 1 Talunkidul, SMPN 1 Sumobito dan SMAN Mojoagung. Setelah lulus dari SMA tahun 2020, Penulis mengikuti seleksi mandiri dan diterima di Departemen Kimia FSAD-ITS pada tahun 2020 dan terdaftar dengan NRP 5004201101. di Departemen Kimia ini. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh Departemen Kimia dan aktif sebagai Asisten Praktikum. Kegiatan tersebut diantaranya Pelatihan Sistem Manajemen Laboratorium iso/iec 17025:2017 serta terlibat dalam beberapa kegiatan yaitu sebagai Staff Ahli Data Center dalam Chemistry Week 14, Sekretaris Benzene Magazine Vol. 4, serta menjadi asisten praktikum Metode Pemisahan dan Pemurnian. Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. Miwon Indonesia yang terletak di Gresik dan ditempatkan di Laboratorium Quality Control selama satu bulan. Penulis juga pernah melakukan magang di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dengan penempatan di Laboratorium Pengujian Mikrobiologi dan Fisika selama kurang lebih 3 bulan. Penulis mengambil bidang penelitian nanopartikel pada Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik dibawah bimbingan Bapak Suprpto., M.Si., Ph.D. serta Ibu Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D. Segala kritik dan saran bagi penulis terhadap naskah tugas akhir ini dapat disampaikan melalui surat elektronik (email) dengan alamat herlindawulandari.205004@student.its.ac.id