



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**SKRIPSI - SK234801**

# **SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK KOLAGEN SIRIP IKAN HIU SEBAGAI AGEN PEREDUKSI**

**KHANSA HUMAIRA**  
**NRP 5004211049**

Dosen Pembimbing  
**Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.**  
NIP. 197301121998022001

Co-Pembimbing  
**Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.**  
NIP. 196210281988031003

**Sarjana Kimia**  
Departemen Kimia  
Fakultas Sains Dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2025

**FINAL PROJECT - SK234801**

# **SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING SHARK FIN COLLAGEN EXTRACT AS A REDUCING AGENT**

**KHANSA HUMAIRA**  
NRP 5004211049

Advisor  
**Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.**  
NIP. 197301121998022001

Co-Advisor  
**Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.**  
NIP. 196210281988031003

**Bachelor of Chemistry**  
Department of Chemistry  
Faculty of Science and Data Analytics  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2025



**SKRIPSI - SK234801**

# **SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK KOLAGEN SIRIP IKAN HIU SEBAGAI AGEN PEREDUKSI**

**KHANSA HUMAIRA**  
**NRP 5004211049**

Dosen Pembimbing  
**Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.**  
NIP. 197301121998022001

Co-Pembimbing  
**Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.**  
NIP. 196210281988031003

**Sarjana Kimia**  
Departemen Kimia  
Fakultas Sains Dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2025



**FINAL PROJECT - SK234801**

# **SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING SHARK FIN COLLAGEN EXTRACT AS A REDUCING AGENT**

**KHANSA HUMAIRA**  
NRP 5004211049

Advisor  
**Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.**  
NIP. 197301121998022001

Co-Advisor  
**Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.**  
NIP. 196210281988031003

**Bachelor of Chemistry**  
Department of Chemistry  
Faculty of Science and Data Analytics  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2025

## LEMBAR PENGESAHAN

### SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK KOLAGEN SIRIP IKAN HIU SEBAGAI AGEN PEREDUKSI

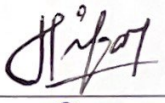
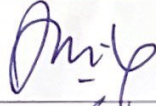
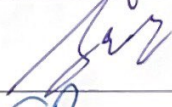
#### SKRIPSI

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

Oleh : KHANSA HUMAIRA  
NRP. 5004211049

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |                                             |               |
|---------------------------------------------|---------------|
| 1. Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.               | Pembimbing    |
| 2. Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto,<br>M.Si.  | Ko-pembimbing |
| 3. Prof. Adi Setyo Purnomo,<br>M.Sc., Ph.D. | Penguji       |
| 4. Wahyu Prasetyo Utomo, M.Si.,<br>Ph.D.    | Penguji       |

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_



## APPROVAL SHEET

### SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING SHARK FIN COLLAGEN EXTRACT AS A REDUCING AGENT

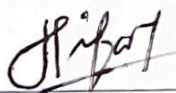
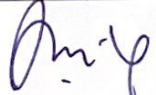
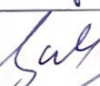
#### FINAL PROJECT

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

By : KHANSA HUMAIRA  
NRP. 5004211049

Approved by Final Project Proposal Examiner Team:

- |                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 1. Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.            | Advisor    |
| 2. Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.  | Co-Advisor |
| 3. Prof. Adi Setyo Purnomo, M.Sc., Ph.D. | Examiner   |
| 4. Wahyu Prasetyo Utomo, M.Si., Ph.D.    | Examiner   |




## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Khansa Humaira / 5004211049  
Departemen : Kimia  
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Afifah Rosyidah, S.Si., M.Si. / 197301121998022001  
Co-Pembimbing / NIP : Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si. / 196210281988031003

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Kolagen Sirip Ikan Hiu sebagai Agen Pereduksi**" 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, 30 Juni 2025

Mengetahui

Dosen Pembimbing

Co-Pembimbing

Mahasiswa



Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.  
NIP. 197301121998022001



Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.  
NIP. 196210281988031003



Khansa Humaira  
NRP. 5004211049

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP: Khansa Humaira / 5004211049  
Department : Chemistry  
Advisor / NIP : Dr. Afifah Rosyidah, S.Si., M.Si. / 197301121998022001  
Co-Advisor / NIP : Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si. / 196210281988031003

hereby declare that the Final Project with the title of “**Synthesis of Silver Nanoparticles Using Shark Fin Collagen Extract as a Reducing Agent**” 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 Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 30 June 2025

Acknowledged

Advisor

Co-Advisor

Student



Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.  
NIP. 197301121998022001



Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.  
NIP. 196210281988031003



Khansa Humaira  
NRP. 5004211049

## SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK KOLAGEN SIRIP IKAN HIU SEBAGAI AGEN PEREDUKSI

Nama Mahasiswa / NRP. : Khansa Humaira / 5004211049  
Departemen : Kimia  
Dosen Pembimbing : Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.  
Dosen Co-Pembimbing : Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.

### Abstrak

Nanoteknologi saat ini mengalami kemajuan yang pesat terutama dalam pemanfaatan bahan material pada ukuran 1-100 nm. Salah satu nanomaterial yang memiliki potensi besar yaitu nanopartikel perak (AgNP) yang dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Namun, metode sintesis AgNP yang menggunakan bahan kimia memiliki potensi untuk menimbulkan masalah bagi lingkungan. Dengan demikian, digunakan metode *bottom-up* secara biologi (*green synthesis*) yang memanfaatkan bahan alam ramah lingkungan dan aman sebagai reduktor. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah mensintesis AgNP menggunakan metode *green synthesis* dengan kolagen sebagai agen pereduksi dan mengetahui variasi massa kolagen terhadap pertumbuhan AgNP. Kolagen memiliki peran sebagai reduktor sekaligus stabilisator dalam sintesis ini. Sintesis dilakukan dengan variasi massa kolagen yaitu 0,005; 0,010; 0,015; 0,020; 0,025 g untuk mengetahui massa optimum yang dapat digunakan untuk sintesis AgNP. Sintesis AgNP memiliki ciri khas berwarna larutan cokelat tua. Keberhasilan sintesis AgNP-Kol ditunjukkan dengan munculnya absorbansi maksimum pada 422 nm yang dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Berdasarkan analisis ini dinyatakan bahwa sintesis AgNP yaitu pada variasi massa 0,025 g (AgNP-Kol 5) menghasilkan lebih banyak  $\text{Ag}^+$  yang tereduksi membentuk  $\text{Ag}^0$  karena hasil absorbansi tertinggi dibandingkan dengan AgNP-Kol 3 dan 4. Analisis FTIR pada AgNP-Kol terdapat gugus fungsi N-H dari Amida A, C=O yang berasal dari Amida 1 serta C-N dari gugus amina. Analisis dilanjutkan menggunakan PSA pada AgNP-Kol 3 dengan ukuran partikel rata-rata 87,61 nm dan AgNP-Kol 5 dengan rata-rata 90,56 nm. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa AgNP dengan massa kolagen rendah maka reduksi berjalan dengan lambat, sedangkan ketika digunakan massa kolagen yang tinggi maka reduksi berjalan lebih cepat dan ruang pertumbuhan AgNP terstabilkan.

**Kata kunci:** *Kolagen; Nanopartikel Perak; Reduksi; Sintesis*

## **SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING SHARK FIN COLLAGEN EXTRACT AS A REDUCING AGENT**

**Student Name / NRP.** : Khansa Humaira / 5004211049  
**Department** : Chemistry  
**Advisor** : Dr. Afifah Rosyidah, M.Si.  
**CO- Advisor** : Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si.

### **Abstract**

Nanotechnology has currently experienced rapid progress, especially in the utilization of materials in the size range of 1-100 nm. One of the nanomaterials that had great potential was silver nanoparticles (AgNP) which could be applied in various fields. However, AgNP synthesis methods that used chemicals had the potential to cause problems for the environment. Therefore, a bottom-up biological method (green synthesis) was used that utilized environmentally friendly and safe natural materials as reducing agents. The main objective of this study was to synthesize AgNP using the green synthesis method with collagen as a reducing agent and to determine the variation of collagen mass on AgNP growth. Collagen played a role as a reducing agent as well as a stabilizer in this synthesis. Synthesis was carried out with variations in collagen mass, namely 0,005; 0,010; 0,015; 0,020; 0,025 g to determine the optimum mass that could be used for AgNP synthesis. AgNP synthesis had a characteristic dark brown solution color. The success of AgNP-Col synthesis was indicated by the appearance of maximum absorption at 422 nm which was carried out using a UV-Vis spectrophotometer. Based on this analysis, it was stated that the synthesis of AgNP, namely at a mass variation of 0,025 g (AgNP-Col 5) produced more  $\text{Ag}^+$  which was reduced to form  $\text{Ag}^0$  because the absorption results were highest compared to AgNP-Col 3 and 4. FTIR analysis of AgNP-Col contained N-H functional groups from Amide A, C=O derived from Amide I and C-N from the amine group. The analysis was continued using PSA on AgNP-Col 3 with an average particle size of 87,61 nm and AgNP-Col 5 with an average of 90,56 nm. The results of this study showed that AgNP with low collagen mass then the reduction proceeded slowly, whereas when a high collagen mass was used the reduction proceeded faster and the AgNP growth space was stabilized.

**Keywords:** *Collagen; Reduction; Silver Nanoparticles; Synthesis*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Kolagen Sirip Ikan Hiu sebagai Agen Pereduksi**” sebagai salah satu syarat kelulusan pada Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tidak akan dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Dr. Afifah Rosyidah, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah banyak memberikan bimbingan serta arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Prof. Dr. Drs. Djoko Hartanto, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Kedua dan Kepala Laboratorium Kimia Material dan Energi yang telah memberikan pengarahan dan fasilitas selama proses pengerjaan penelitian serta penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Wahyu Prasetyo Utomo, M.Si., Ph.D. selaku Kepala Departemen sekaligus Dosen Wali yang telah banyak memberikan bantuan serta arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ayah (Gandy Zudanto), Ibu (Retno Purwati), Adik (Alya Qanita) serta keluarga yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.
5. Ade Irma Rozafia, Nor Farida dan Nur Karimah yang telah membimbing penelitian selama di laboratorium Kimia Material dan Energi dan memberikan masukan selama pengerjaan tugas akhir.
6. Salsabilla Nur Abti, sahabat yang selalu hadir memberikan semangat dan kebersamaan sepanjang perjalanan perkuliahan sejak semester awal hingga proses penyusunan Tugas Akhir.
7. Muhammad Fawwazul Ghaly, teman yang penulis kenal sejak dua tahun lalu. Terima kasih karena pernah menjadi tempat berbagi dalam banyak hal, teman berpetualang yang menghadirkan banyak kenangan serta sempat menjadi bagian dari perjalanan selama masa perkuliahan ini.
8. Rekan-rekan penelitian DJH, Rieke, Rachel, Ibrahim, Binta, serta seluruh teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas kebersamaan, bantuan, serta dukungan yang telah diberikan selama proses penelitian dan penyusunan Tugas Akhir.
9. Serta seluruh Chemmaufer (Kimia 2021) atas kebersamaan dan dukungannya selama ini.

Surabaya, Agustus 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                   | i         |
| APPROVAL SHEET .....                                      | ii        |
| PERNYATAAN ORISINALITAS .....                             | iii       |
| STATEMENT OF ORIGINALITY .....                            | iv        |
| KATA PENGANTAR.....                                       | vii       |
| DAFTAR ISI.....                                           | viii      |
| DAFTAR GAMBAR.....                                        | x         |
| DAFTAR TABEL .....                                        | xi        |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                     | xii       |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                             | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                                  | 1         |
| 1.2 Rumusan Permasalahan .....                            | 2         |
| 1.4 Tujuan .....                                          | 2         |
| 1.5 Manfaat .....                                         | 2         |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                      | <b>3</b>  |
| 2.1 Penelitian Terdahulu .....                            | 3         |
| 2.2 Tinjauan Pustaka .....                                | 3         |
| 2.2.1 Nanopartikel Perak (AgNP).....                      | 3         |
| 2.2.2 Kolagen .....                                       | 4         |
| 2.2.3 Metode Sintesis Nanopartikel Perak .....            | 6         |
| 2.2.4 Mekanisme Terbentuknya Nanopartikel Perak.....      | 8         |
| 2.3 Instrumentasi.....                                    | 9         |
| 2.3.1 Spektrofotometer UV-Vis .....                       | 9         |
| 2.3.2 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....           | 11        |
| 2.3.3 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....      | 13        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                | <b>15</b> |
| 3.1 Metode Penelitian .....                               | 15        |
| 3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....                   | 15        |
| 3.2.1 Peralatan Penelitian.....                           | 15        |
| 3.2.2 Bahan Penelitian .....                              | 15        |
| 3.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian .....                  | 15        |
| 3.3.1 Preparasi Larutan NaOH 0,5 M .....                  | 15        |
| 3.3.2 Preparasi Larutan CH <sub>3</sub> COOH 0,5 M.....   | 15        |
| 3.3.3 Ekstraksi Kolagen dari Sirip Ikan Hiu .....         | 15        |
| 3.3.4 Preparasi Larutan AgNO <sub>3</sub> 7,5 mM.....     | 16        |
| 3.3.5 Sintesis Nanopartikel Perak Kolagen (AgNP-Kol)..... | 16        |
| 3.3.6 Karakterisasi .....                                 | 16        |
| 3.3.6.1 Spektrofotometer UV-Vis .....                     | 16        |

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.6.2 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....                                                     | 16        |
| 3.3.6.3 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....                                                          | 16        |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>                                                                             | <b>19</b> |
| 4.1 Sintesis Nanopartikel Perak-Kolagen (AgNP-Kolagen).....                                                | 19        |
| 4.2 Pengaruh Massa Kolagen Terhadap Pertumbuhan AgNP Berdasarkan Identifikasi Spektrofotometer UV-Vis..... | 21        |
| 4.3 Pengaruh Waktu Simpan Larutan Terhadap Stabilitas AgNP-Kolagen .....                                   | 22        |
| 4.4 Gugus Fungsi Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Kolagen (AgNP-Kol).....                           | 23        |
| 4.5 Analisis Ukuran Partikel pada Permukaan Nanopartikel Perak - Kolagen (AgNP-Kol).....                   | 24        |
| 4.6 Mekanisme Reduksi Nanopartikel Perak - Kolagen (AgNP-Kol).....                                         | 25        |
| <b>BAB V KESIMPULAN .....</b>                                                                              | <b>27</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                                                                                       | 27        |
| 5.2 Saran .....                                                                                            | 27        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                                                 | <b>29</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                                                                       | <b>43</b> |
| <b>BIODATA PENULIS.....</b>                                                                                | <b>53</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Klasifikasi Jenis Ukuran Dimensi Nanomaterial (Tiwari dkk., 2023) .....                                                                                                   | 4  |
| Gambar 2.2 Struktur Kimia Kolagen (Alam dkk., 2022) .....                                                                                                                            | 5  |
| Gambar 2.3 Ilustrasi Metode <i>Top-down</i> dan <i>Bottom-up</i> (Kumari dkk., 2024) .....                                                                                           | 6  |
| Gambar 2.4 Metode Sintesis Nanopartikel Logam (Altammar, 2023).....                                                                                                                  | 8  |
| Gambar 2.5 Mekanisme Sintesis Nanopartikel Perak (Tosun & Özgür, 2024) .....                                                                                                         | 9  |
| Gambar 2.6 Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis (Lusia E, 2017).....                                                                                                                  | 10 |
| Gambar 2.7 Contoh Hasil Analisis Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Rathod dkk., 2016).....                                                                                        | 11 |
| Gambar 2.8 Skema Kerja PSA (Liu dkk., 2021) .....                                                                                                                                    | 12 |
| Gambar 2.9 Contoh Hasil Analisis Particle Size Analysis (PSA) dan Zeta Potensial (Santhanam dkk., 2023).....                                                                         | 12 |
| Gambar 2.10 Skema Kerja FTIR (Faramarzi dkk., 2022).....                                                                                                                             | 14 |
| Gambar 2.11 Contoh Hasil Analisis FTIR pada AgNP-Kol (Mudhafar dkk., 2024).....                                                                                                      | 14 |
| Gambar 4.1 (a) Proses Sintesis Larutan AgNO <sub>3</sub> (b) Proses Sintesis Setelah Penambahan Kolagen (c) Hasil Sintesis AgNP-Kol Setelah Penambahan NaOH .....                    | 19 |
| Gambar 4.2 Variasi Massa Kolagen Terhadap Perak Nitrat dan Penambahan Kolagen Pada Hari Pertama : (a) AgNP-Kol 1 (b) AgNP-Kol 2 (c) AgNP-Kol (d) AgNP-Kol 4 dan (e) AgNP-Kol 5 ..... | 20 |
| Gambar 4.3 Hasil Spektrum UV-Vis AgNP-Kolagen Menggunakan Variasi Massa Kolagen 0,005 ; 0,01 ; 0,015 ; 0,02 dan 0,025 g .....                                                        | 21 |
| Gambar 4.4 Hasil Pengamatan AgNP-Kolagen Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Selama 12 Hari : (a) AgNP-Kol 3 (b) AgNP-Kol 4 (c)AgNP-Kol 5 .....                                      | 23 |
| Gambar 4.5 Gugus Fungsi AgNP-Kolagen 5, 4 dan 3 Hasil Karakterisasi FTIR .....                                                                                                       | 24 |
| Gambar 4.6 Hasil Analisis Ukuran AgNP-Kol Menggunakan Metode PSA (a) AgNP-Kol 3 (b) AgNP-Kol 5 .....                                                                                 | 25 |
| Gambar 4.7 Mekanisme Pembentukan Nanopartikel Perak-Kolagen (AgNP-Kol) .....                                                                                                         | 26 |

## **DAFTAR TABEL**

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Sintesis Nanopartikel Berdasarkan Metodenya .....        | 7  |
| Tabel 2.2 Contoh Hasil Analisis Particle Size Analysis (PSA) dan Zeta Potensial..... | 13 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1 Diagram Alir .....                                                                       | 43 |
| Lampiran 1.1 Diagram Alir Preparasi NaOH untuk Ekstraksi Sirip Ikan Hiu .....                       | 43 |
| Lampiran 1.2 Diagram Alir Preparasi CH <sub>3</sub> COOH untuk Ekstraksi Sirip Ikan Hiu .....       | 43 |
| Lampiran 1.3 Diagram Alir Ekstraksi Sirip Ikan Hiu .....                                            | 44 |
| Lampiran 1.4 Diagram Alir Preparasi AgNO <sub>3</sub> untuk Sintesis Nanopartikel Perak-Kolagen ... | 45 |
| Lampiran 1.5 Diagram Alir Sintesis Nanopartikel Perak - Kolagen .....                               | 45 |
| Lampiran 2 Perhitungan .....                                                                        | 46 |
| Lampiran 2.1 Perhitungan Pengenceran Larutan NaOH 0,5 M .....                                       | 46 |
| Lampiran 2.2 Perhitungan Pengenceran Larutan CH <sub>3</sub> COOH 0,5 M .....                       | 46 |
| Lampiran 2.3 Perhitungan Pengenceran Larutan AgNO <sub>3</sub> 7,5 mM .....                         | 46 |
| Lampiran 3 Database .....                                                                           | 47 |
| Lampiran 3.1 Database FTIR Kolagen .....                                                            | 47 |
| Lampiran 3.2 Database FTIR AgNP-Kol 3 .....                                                         | 48 |
| Lampiran 3.3 Database FTIR AgNP-Kol 4 .....                                                         | 49 |
| Lampiran 3.4 Database FTIR AgNP-Kol 5 .....                                                         | 50 |
| Lampiran 3.5 Database PSA AgNP-Kol 3 .....                                                          | 51 |
| Lampiran 3.6 Database PSA AgNP-Kol 5 .....                                                          | 52 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada beberapa tahun terakhir, bidang nanoteknologi telah mengalami kemajuan besar dalam hal rekayasa, sintesis, dan pemanfaatan bahan material yang memiliki ukuran antara 1-100 nanometer (Hasan, 2015), terutama pada inovasi dalam nanomaterial, khususnya nanopartikel perak (AgNP). Hal ini mendorong kerap dilakukannya penelitian AgNP karena dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti biosensing, elektronika, fotonik, serta perawatan antimikroba (Sati dkk., 2024), sebab AgNP dikenal memiliki karakteristik fisik dan kimia yang unik, diantaranya sifat optik, listrik, termal, konduktivitas listrik yang tinggi (Zhang dkk., 2016) serta memiliki efek antiinflamasi dan antibakteri yang kuat (Urnuksaikh dkk., 2021). Beberapa metode umum yang dapat digunakan untuk menghasilkan AgNP meliputi metode *top-down* dan *bottom-up*. Metode *top-down* merupakan metode yang diawali dengan material berukuran besar dan diperkecil ukurannya sehingga dapat dikontrol secara eksternal yang menggunakan beberapa cara seperti penggilingan, penghancuran serta penghalusan yang termasuk kedalam metode fisika (Kumari dkk., 2023). Adapun kekurangan pada metode ini yaitu dalam proses pengerjaan menghasilkan banyak kontaminasi, suara yang bising, banyak energi yang digunakan pada gesekan maupun pemanasan material serta dapat menimbulkan cacat pada material (Abid dkk., 2022), sementara metode *bottom-up* digunakan untuk menghasilkan partikel yang besar dari suatu atom atau molekul (Harish dkk., 2022) yang dapat dilakukan melalui beberapa cara yaitu *CVD (Chemical Vapor Deposition)*, hidrotermal, *co-precipitation* dan sol-gel (Abid dkk., 2022) dengan berbagai faktor yang mempengaruhi seperti pH, temperatur, ikatan ionik serta kovalen (Indiarto dkk., 2022). Adapun metode *bottom-up* terdiri atas kimia dan biologi. Metode kimia memiliki beberapa kekurangan yaitu dapat menimbulkan limbah yang berpotensi bahaya, memerlukan waktu yang lebih lama dalam melakukan reaksi, serta bahan kimia yang dapat menimbulkan risiko kesehatan (Abid dkk., 2022), sedangkan metode *bottom-up* secara biologi, dikenal sebagai *green synthesis*, yang memanfaatkan sumber daya alam seperti ekstrak tanaman, sehingga reduksi ion logam dapat berlangsung lebih cepat dan dapat diskalakan (Abuzeid dkk., 2023). Oleh karena itu, metode *green synthesis* lebih diminati karena memiliki kelebihan berupa metode yang ramah lingkungan, efisiensi energi, serta limbah yang dihasilkan lebih sedikit (Setiawan dkk., 2024).

Metode *green synthesis* selalu melibatkan bahan biologis baik dari tanaman maupun hewan yang digunakan sebagai reduktor alami dalam reaksi reduksi yang mengandung senyawa aktif sehingga ion  $\text{Ag}^+$  akan diubah menjadi  $\text{Ag}^0$  (Oktavia dan Sutoyo, 2021). Meskipun menjanjikan, *green synthesis* menggunakan ekstrak tanaman memiliki beberapa tantangan, antara lain keterbatasan skalabilitas produksi, reproduktivitas yang kurang konsisten, stabilitas rendah, serta variasi ukuran partikel dan aglomerasi yang sering terjadi (Shahzadi dkk., 2025; Handoko dkk., 2022). Sebagai contoh, penelitian yang menggunakan ekstrak tanaman daun rami dan ekstrak tanaman daun bidara menghasilkan AgNP dengan ukuran yang tidak homogen serta terjadi aglomerasi (Handoko dkk., 2022; Luthfia dkk., 2024). Sementara itu, sintesis AgNP menggunakan polimer alami seperti kitosan masih membutuhkan tambahan agen pereduksi seperti natrium sitrat agar terjadi pembentukan nanopartikel yang optimal (Safirah dkk., 2025). Adanya keterbatasan ini dapat menghambat proses pembentukan AgNP. Solusi dari masalah ini yaitu membutuhkan bioreduktor alternatif yang memiliki kestabilan lebih baik, berkelanjutan, serta dapat mengatasi terjadinya aglomerasi. Kolagen dapat dijadikan sebagai pereduksi yang potensial dengan memanfaatkan limbah ikan seperti kotoran, daging, kulit, sirip, dan sisik (Jayaprakash dkk., 2024), yang sebagian besar belum dimanfaatkan dengan benar dan dapat menyebabkan pencemaran. Pemanfaatan limbah tidak hanya membantu

mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga membantu nilai ekonomi dari produk sampingan industri perikanan. Sirip ikan hiu adalah sumber kolagen tipe I dan II yang melimpah (Nining, 2020; Chandrasekaran dkk., 2024), menjadikannya alternatif yang menarik untuk diteliti lebih lanjut. Kolagen sebagai bioreduktor memiliki keunggulan seperti biokompatibilitas tinggi (Zheng dkk., 2024), kemampuan terurai secara alami (Rahman dkk., 2021), serta keberlanjutan (Amirrah dkk., 2022) sehingga kolagen dapat berperan dalam berbagai bidang seperti aktivitas antibakteri (Takallu dkk., 2024), penyembuhan luka (Mathew-Steiner dkk., 2021), dan regenerasi jaringan (Nandhini dkk., 2024). Selain berfungsi sebagai reduktor, ia juga berfungsi sebagai stabilisator alami yang mencegah aglomerasi AgNP (Aprilia dkk., 2024). Kehadiran karbonil ( $-C=O$ ), amina ( $-NH_2$ ), hidroksil ( $-OH$ ), dan karboksil ( $-COOH$ ) pada kolagen memungkinkan terjadinya reduksi ion perak menjadi AgNP karena memiliki peran vital pada proses reduksi. Saat  $AgNO_3$  dilarutkan menggunakan aquades, maka akan terjadi disosiasi menjadi  $Ag^+$  dan  $NO_3^-$ . Dalam fenol,  $O^-$  bermuatan negatif atau dalam asam organik,  $COO^-$  yang akan membentuk interaksi elektrostatis dengan ion  $Ag^+$  yang bermuatan positif. Proses donor elektron ini menyebabkan  $Ag^+$  direduksi menjadi  $Ag^0$  dan membentuk AgNP (Mikhailova, 2025; Salthouse dkk., 2024; Masakke dkk., 2015). Meskipun peran kolagen sebagai reduktor telah banyak diteliti, tetapi masih sedikit penelitian yang berfokus mengenai pengaruh variasi jumlah kolagen terhadap pembentukan AgNP. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian sintesis nanopartikel perak (AgNP) menggunakan ekstrak kolagen sebagai reduktor untuk mempelajari pengaruh jumlah kolagen dalam pembentukan nanopartikel perak.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

AgNP dikenal memiliki karakteristik fisik dan kimia yang unik, diantaranya sifat optik, listrik, termal, konduktivitas yang listrik yang tinggi serta memiliki efek antiinflamasi dan antibakteri yang kuat. Sintesis AgNP dapat dilakukan menggunakan metode kimia yang memiliki kekurangan seperti dapat menghasilkan limbah yang berpotensi berbahaya, proses yang lebih lama, dan bahan kimia yang dapat membahayakan kesehatan. Oleh karena itu, metode biologi (*green synthesis*) dipilih untuk melakukan sintesis AgNP karena termasuk metode yang ramah lingkungan, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan.

## 1.3 Batasan Masalah / Ruang Lingkup

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu digunakan *green synthesis* untuk menghasilkan nanopartikel perak dari larutan perak nitrat dan reduktor yang berasal dari ekstrak kolagen dengan variasi massa reduktor 0,005 ; 0,010 ; 0,015 ; 0,020 ; 0,025 g serta sintesis dilakukan selama 1 jam.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mensintesis AgNP dengan metode *green synthesis* menggunakan kolagen dan mengetahui pengaruh jumlah kolagen terhadap pertumbuhan nanopartikel perak dengan menggunakan reduktor variasi massa kolagen pada sintesis nanopartikel perak.

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah memberi informasi mengenai sintesis nanopartikel perak menggunakan reduktor ekstrak kolagen dengan variasi massa reduktor dan hasil karakterisasinya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

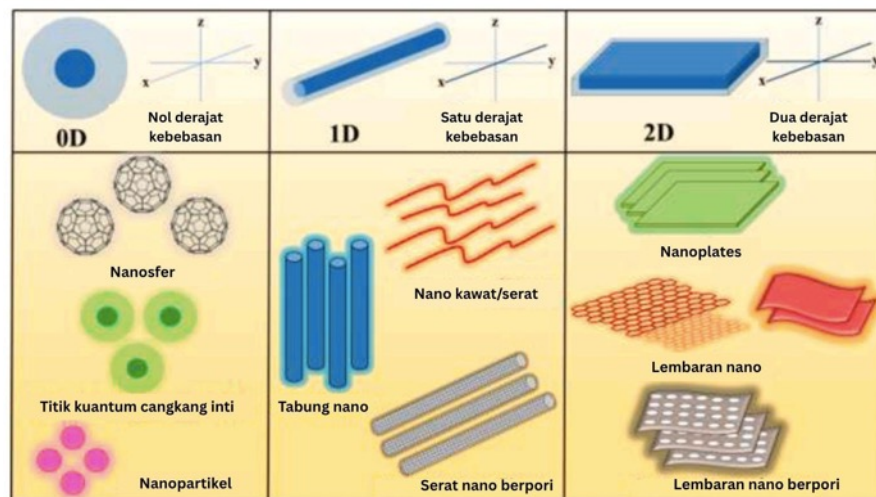
#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Dalam sintesis nanopartikel perak (AgNP), beberapa penelitian telah mempelajari kolagen dengan hasil penelitian menunjukkan kemampuannya sebagai agen pereduksi. Pada penelitian Mudhafar dkk. (2024) berhasil sintesis AgNP dengan hasil berbentuk bulat (*spherical*) dengan ukuran 28 - 42 nm. Penelitian ini dilakukan di Departemen Kimia UPSI di Perak, Malaysia, dan menggunakan ekstrak sisik ikan sebagai sumber kolagen. Kolagen bertindak sebagai agen penstabil, dan ekstrak *M. dubia* bertindak sebagai agen pereduksi. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Vijayakumar dkk. (2024) berhasil melakukan sintesis AgNP dengan hasil berbentuk bulat (*spherical*) dengan ukuran  $\pm 5 - 100$  nm yang menggunakan sumber kolagen berasal dari ikan laut. Selanjutnya, penelitian lainnya dilakukan oleh Mudhafar dkk. (2021) berhasil melakukan sintesis AgNP dengan hasil berbentuk batang (*rod*) dengan ukuran 150 - 430 nm yang menggunakan sumber menggunakan sumber kolagen dari ekstrak sisik ikan di laboratorium Departemen Kimia di UPSI, Perak, Malaysia. Pada penelitian ini dibantu menggunakan daun neem sebagai agen pereduksi. Dilanjutkan penelitian oleh Sinha dkk. (2014) berhasil melakukan sintesis AgNP dengan hasil bulat (*spherical*) dengan ukuran  $\pm 16,5 - 17,47$  nm yang menggunakan sumber kolagen dari sisik ikan *Labeo rohita* yang memiliki peran sebagai penstabil dan pereduksi. Kontribusi penelitian lain yang dilakukan Vadivelu dkk. (2025) yang berhasil mensintesis AgNP bulat dengan ukuran rata-rata 200 nm dari ekstrak sisik ikan *Cyprinus carpio* sebagai agen pereduksi. Sementara itu, Murugan dkk. (2021) yang berhasil mensintesis AgNP menggunakan ekstrak sisik ikan *Sardinella longiceps* yang berperan sebagai agen pereduksi dengan hasil AgNP berbentuk heksagonal serta ukuran pada rentang 25 – 80 nm. Keanekaragaman hasil ini menunjukkan potensi besar kolagen yang menunjukkan betapa pentingnya memilih sumber biomaterial dan kondisi sintesis untuk mengontrol morfologi dan ukuran AgNP.

#### **2.2 Tinjauan Pustaka**

##### **2.2.1 Nanopartikel Perak (AgNP)**

Nanopartikel merupakan aplikasi dari nanoteknologi yang memiliki ukuran antara 1 - 100 nm (Famia & Muldarisnur, 2019), sehingga logam-logam tertentu dapat disintesis dalam ukuran nano, salah satunya perak (Ag). Nanopartikel perak (AgNP) memiliki beberapa sifat, diantaranya sifat biologis dari AgNP yang unggul dalam kemampuannya untuk melakukan aktivitas antivirus, anti jamur, membunuh bakteri serta antiangiogenesis (Wei dkk., 2015), proses ini terjadi dengan cara ion perak yang terlepas dari AgNP secara bertahap akan menyebabkan kerusakan pada DNA dan RNA dari suatu bakteri yang mengakibatkan replikasi bakteri menjadi terhambat (Fernando dkk., 2018). Selain itu, AgNP memiliki luas permukaan yang lebih besar daripada volumenya karena ukuran partikelnya yang kecil, sehingga AgNP dapat melakukan reaksi dengan lebih cepat dan mudah, meningkatkan reaktivitas dan efisiensi reaksi katalitik (Fahim dkk., 2024), termasuk pembentukan hidrogen, degradasi polutan fotokimia, dan reduksi CO<sub>2</sub> elektrokatalitik karena kestabilannya yang tinggi (Nakanishi dkk., 2025). Sifat lain yang dimiliki AgNP yaitu sifat optik atau dikenal dengan LSPR (*Localized Surface Plasmon Resonance*) yang digunakan untuk mengidentifikasi analit secara visual (Sari dkk., 2022). Dalam nanomaterial terdapat dalam beberapa bentuk dimensi yang dapat dilihat pada Gambar 2.1, mulai dari 0D (nol dimensi), 1D (satu dimensi), serta 2D (dua dimensi) berdasarkan skala nanometer nya.



Gambar 2.1 Klasifikasi Jenis Ukuran Dimensi Nanomaterial (Tiwari dkk., 2023)

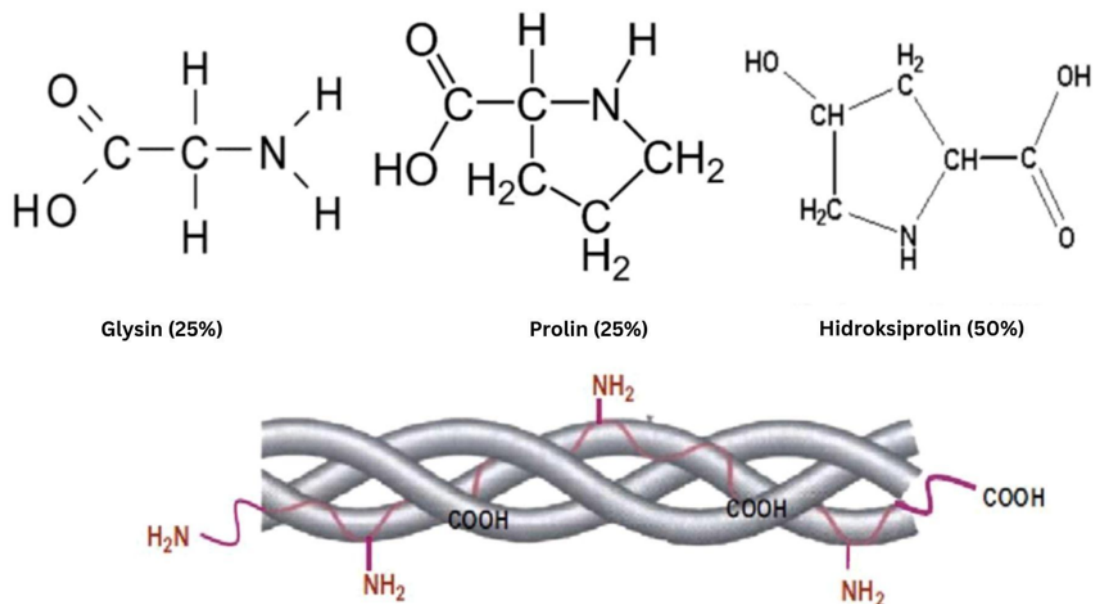
0D memiliki permukaan yang luas dibandingkan volumenya serta memiliki banyak sisi aktif yang dapat bereaksi dengan lingkungan yang cocok untuk aplikasi biomedis seperti *nanomedicine*, kosmetik, bioelektronik, biosensor, dan biochip karena memiliki sifat optik yang stabil, biokompatibel, permeabel seluler, dan dapat memancarkan cahaya dengan berbagai warna tergantung pada cahaya yang mengenainya (Wang dkk., 2020) dengan bentuk yang dapat dihasilkan seperti nanopartikel, *nanocube* (Huang dkk., 2020), nanospheres dan quantum dots (Tiwari dkk., 2023). Pada 1D umumnya memiliki bentuk seperti batang atau jarum (Abraham dkk., 2021) yang dapat menghasilkan bentuk berupa *nanowires*, *nanorods* (Tiwari dkk., 2023), *nanobelts*, *nanoneedles*, *nanotubes* dan *nanofibers*. 1D dapat diaplikasikan pada bidang listrik dan optik karena memiliki efek ukuran kuantum, contohnya apabila diameter nanowire semakin kecil, maka aliran arus listrik yang dihasilkan juga sedikit (Samykan, 2021). Material 2D memiliki khas bentuk lapisan tipis seperti lembaran dengan ketebalan  $<5$  nm (Tawiah dkk., 2023) dengan bentuk *nanosheet* dan *nanopental* (Huang dkk., 2020) yang memiliki sifat khas dan menonjol seperti kekuatan mekanis yang sangat tinggi, luas permukaan yang besar, interaksi antarmuka yang sangat baik, dan sifat optik yang unik serta memungkinkan penerapannya dalam bidang membran, produksi atau penyimpanan energi, rekayasa jaringan, penginderaan (Baig, 2023), serta dirancang agar bersifat antibakteri atau biokompatibel terhadap sel mamalia berdasarkan morfologi, elektronik, dan permukaannya (Santos dkk., 2021). Oleh karena itu, hubungan antara ukuran dan bentuk dimensi AgNP penting untuk menentukan sifatnya dan efektivitas aplikasinya agar morfologi yang tepat dapat mengoptimalkan kinerja AgNP.

## 2.2.2 Kolagen

Kolagen termasuk ke dalam jenis protein yang memiliki peran penting dalam tubuh manusia, bahkan jumlahnya mencapai 30% dari total protein. Kolagen memiliki fungsi besar dalam pembentukan jaringan ikat, seperti kulit, pembuluh darah serta tulang rawan. Sekitar 95% komposisi kulit terdiri dari kolagen tipe I dan III, kolagen ini memiliki tanggung jawab atas ketahanan, kekuatan, daya tahan, dan elastisitas kulit (Lin dkk., 2020). Metode ekstraksi yang tepat dapat dipilih apabila sudah mengetahui memahami komposisi dari kolagen agar ketika melakukan ekstraksi dapat mempertahankan sifat bioaktif dan integritas fungsionalnya. Kolagen dapat dihasilkan dari ekstraksi hewan maupun tumbuhan dengan berbagai cara ekstraksi seperti ekstraksi asam dan ekstraksi enzim, ekstraksi alkali, ekstraksi berbantuan

ultrasonik dan gelombang mikro, dan ekstraksi praperlakuan cairan ionik (Zhang dkk., 2020). Hal ini ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan oleh Laasri dkk. (2023) yang mengekstraksi kolagen dari hewan laut seperti ubur-ubur, bulu babi, hiu, dan moluska dengan metode asam atau *enzymatic*. Penelitian lain juga dilakukan oleh Ata dkk. (2025) yang mengekstraksi kolagen dari tulang rawan tulang dada ayam sehingga menghasilkan serbuk kolagen. Pada penelitian ini dipilih kolagen yang bersumber limbah dari ikan karena ramah lingkungan, biaya yang rendah (Gallo dkk., 2022), mudah diperoleh (Ricardo dkk., 2024), aman, tahan terhadap kerusakan, serta memiliki daya serap rendah dalam cairan tubuh manusia (Chinh dkk., 2019). Limbah ikan terdiri atas bagian ikan yang tidak digunakan secara langsung, seperti tulang, kulit, sirip, kepala, sisik dan jeroan yang mengandung protein cukup tinggi (Atma, 2016). Kolagen yang berasal dari limbah sisa ikan seperti kulit, sisik, sirip dan tulang termasuk ke kolagen tipe 1 yang memiliki struktur fibril dan terdiri atas dua rantai  $\alpha$  yang berbeda (Chinh & Hoang, 2024).

Ciri khas struktur kolagen adalah mereka berbentuk triple helix yang terdiri dari tiga rantai polipeptida (rantai  $\alpha$ ) yang terikat antara satu sama lain dan masing-masing rantai membentuk helix kanan. Pada rantai polipeptida kolagen terdapat pola asam amino Gly-X-Y yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Hal ini menunjukkan bahwa glycine selalu terdapat di posisi ketiga, X seringkali diisi oleh *proline* (Pro) serta Y sering diisi oleh *hydroxyproline* (Hyp). Berdasarkan jumlah rantainya, kolagen dapat terbentuk secara homotrimer (terdiri atas tiga rantai  $\alpha$  yang identik) ataupun heterotrimer (terdiri atas dua atau tiga rantai  $\alpha$  yang berbeda) (Zhang dkk., 2020).



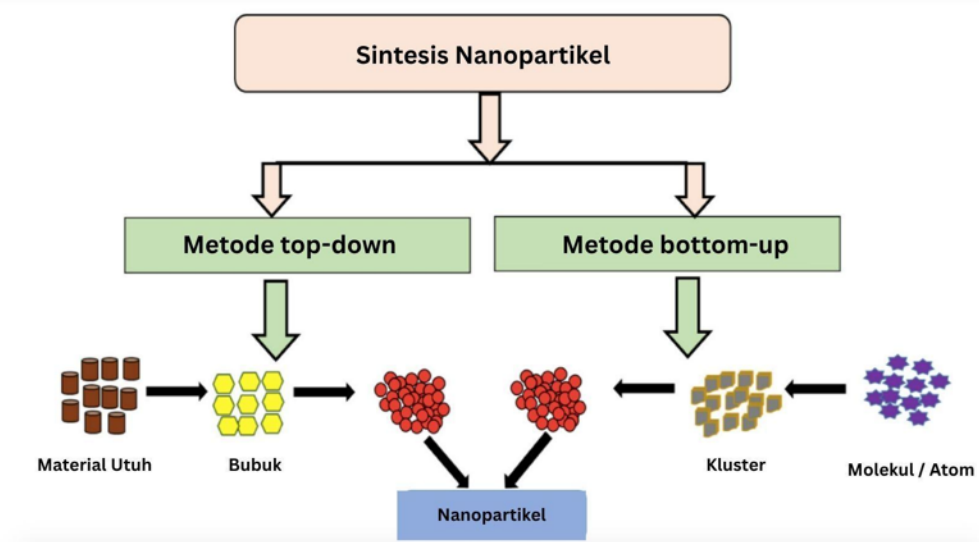
Gambar 2.2 Struktur Kimia Kolagen (Alam dkk., 2022)

Kolagen memiliki banyak manfaat secara biologis, sehingga dapat dimanfaatkan menjadi berbagai bentuk untuk mendukung aktivitas sel yang sering digunakan dalam aplikasi kesehatan dan biomedik. Beberapa contoh aplikasinya yaitu sebagai peningkatan penyembuhan luka, mengurangi pembentukan jaringan parut, meningkatkan penyembuhan kulit, digunakan sebagai komposisi kosmetik, serta suplemen makan (Salvatore dkk., 2020). Di samping manfaat biologis dan terapeutiknya, sifat struktural dan fungsional kolagen juga dapat dimanfaatkan untuk aplikasi kimia, seperti sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel logam. Pada metode ini, ion  $\text{Ag}^+$  direduksi menjadi ion  $\text{Ag}^0$  dengan cara transfer elektron yang

dibantu dengan pereduksi kolagen sehingga akan terbentuk nanopartikel logam tanpa terjadinya aglomerasi (Xu dkk., 2020).

### 2.2.3 Metode Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak telah banyak diteliti karena dapat diterapkan dalam berbagai bidang seperti antibakteri (Nalawati dkk., 2021) dan penyembuhan luka (Toczek dkk., 2022). Dalam proses sintesis ini, reduktor yang umum digunakan seperti  $\text{NaBH}_4$  pada penelitian yang dilakukan oleh Khatoon dkk. (2023), reduktor lainnya yaitu asam askorbat seperti penelitian yang dilakukan oleh Pinheiro dkk. (2024), serta PVP digunakan sebagai stabilisator pada penelitian Velgosova dkk. (2022). Dalam proses untuk membentuk nanopartikel dapat digunakan beberapa metode. Metode yang umum digunakan dalam sintesis nanopartikel yaitu metode *top-down* dan *bottom-up* yang didukung oleh metode fisika, kimia serta biologi (Devatha dkk., 2018). Pada Gambar 2.3 terlihat metode *bottom-up* terdiri dari atom untuk membentuk nanopartikel yang lebih kompleks dengan mengumpulkan molekul menggunakan ikatan kimia untuk membentuk struktur yang lebih besar, sedangkan metode *top-down* kontradiktif dengan metode sebelumnya, yaitu memecah *bulk material* untuk membentuk lapisan tipis serta menghasilkan nanomaterial yang lebih besar dari 100 nanometer (Harish dkk., 2022).



Gambar 2.3 Ilustrasi Metode *Top-down* dan *Bottom-up* (Kumari dkk., 2024)

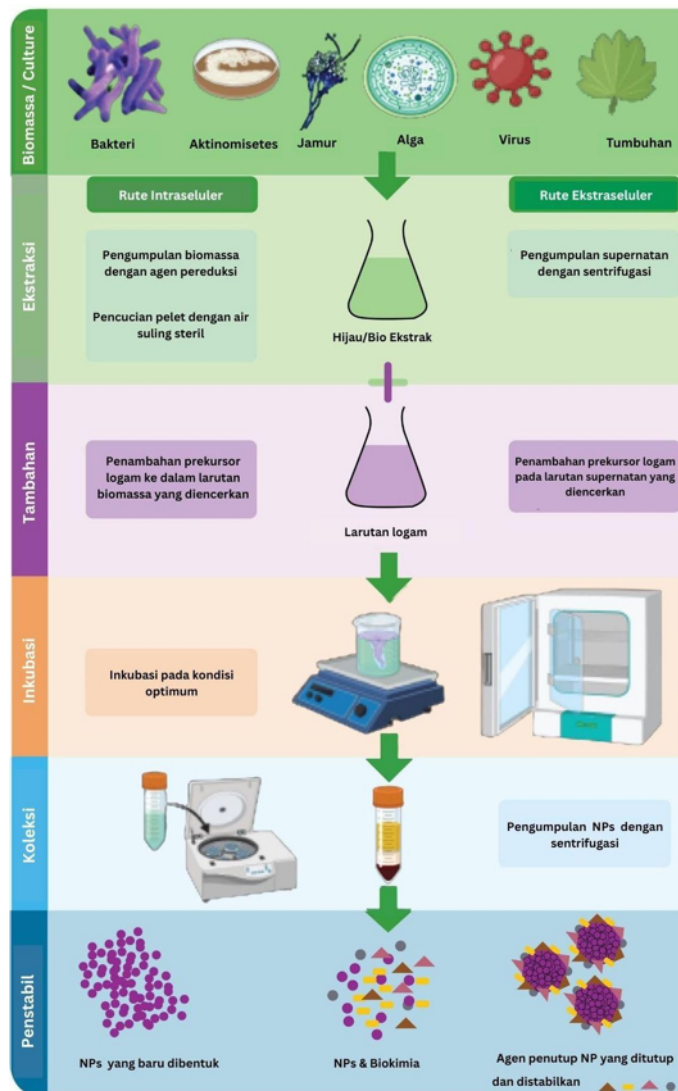
Berdasarkan Tabel 2.1, metode *top-down* dapat dilakukan dalam beberapa cara, seperti *mechanical milling* yang menggunakan bola yang berputar dalam mesin *ball mill* (Virji & Stefaniak, 2014), *nanolithography* yang menggunakan cahaya, ion bermuatan, atau berkas elektron untuk memindahkan pola geometris dari fotomask yang telah dibuat sebelumnya ke lapisan *photoresist* (Yang, 2015), *laser ablation* biasanya digunakan dalam aplikasi medis untuk menyinari area yang ingin disembuhkan dengan menggunakan laser (Shahid dkk., 2022), *sputtering* adalah proses menembak target permukaan menggunakan atom terionisasi agar atom target dapat keluar dan menempel pada substrat untuk membentuk lapisan tipis (How dkk., 2022), serta *thermal decomposition* merupakan proses yang pemecahan material menggunakan suhu yang tinggi (Hafiz dkk., 2022). Disisi lain, metode *bottom-up* juga memiliki beberapa cara, seperti *sol-gel* yang melibatkan empat proses yakni hidrolisis, kondensasi, pertumbuhan

partikel serta pembentukan gel dalam suhu rendah (Kate dkk., 2018), *Chemical Vapour Deposition (CVD)* terjadinya dekomposisi kimia yang disebabkan oleh aktivasi termal di sekitar bagian yang dilapisi, sehingga senyawa akan mengalami pengendapan (Dinata dkk., 2018), *pyrolysis* adalah proses pemanasan tanpa menggunakan oksigen yang mencapai suhu tinggi pada antara 300 - 800°C (Kundariya dkk., 2018), dan *biosynthesis* yaitu menggunakan material ramah lingkungan yang tersedia di alam untuk digunakan sebagai agen pereduksi (Antunes dkk., 2023).

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Sintesis Nanopartikel Berdasarkan Metodenya (Elias & Saravanakumar, 2017)

| Kategori         | Metode                                 | Nanopartikel                            |
|------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Bottom-up</i> | Sol-gel                                | Berbasis karbon, logam dan oksida logam |
|                  | <i>Spinning</i>                        | Polimer organik                         |
|                  | <i>Chemical Vapor Deposition (CVD)</i> | Berbasis karbon dan logam               |
|                  | Pirolisis                              | Berbasis karbon dan oksida logam        |
|                  | Biosintesis                            | Polimer organik dan berbasis logam      |
| <i>Top-down</i>  | <i>Mechanical milling</i>              | Berbasis logam, oksida, dan polimer     |
|                  | Nanolitografi                          | Berbasis logam                          |
|                  | Ablasi laser                           | Berbasis karbon dan oksida logam        |
|                  | <i>Sputtering</i>                      | Berbasis logam                          |
|                  | Dekomposisi termal                     | Berbasis karbon dan oksida logam        |

Terdapat berbagai macam metode untuk melakukan sintesis berdasarkan nanopartikelnya. Namun, pada umumnya sintesis nanopartikel perak menggunakan metode *bottom-up* dengan biosintesis atau *green synthesis*. Metode *bottom-up* dipilih karena memiliki keunggulan dapat merekayasa nanopartikel yang dilakukan sintesis dengan sederhana, selain itu, digunakan bioreduktor yang berasal dari bahan alam karena lebih mudah didapatkan dan tidak menyebabkan limbah berbahaya (Oktavia & Sutoyo, 2021). Keunggulan metode *bottom-up* lainnya saat disintesis memiliki kestabilan yang baik (Fadillah, 2021). Oleh karena itu, bahan alam seperti pada Gambar 2.4 dapat menjadi salah satu alternatif reduktor yang dapat digunakan untuk sintesis nanopartikel yang sedang dilakukan dalam beberapa penelitian.

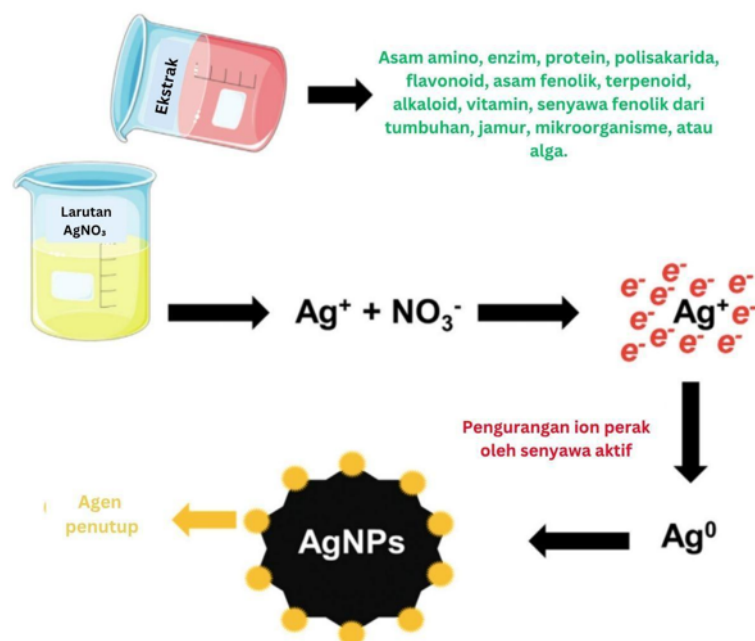


Gambar 2.4 Metode Sintesis Nanopartikel Logam (Altammar, 2023)

#### 2.2.4 Mekanisme Terbentuknya Nanopartikel Perak

Bagian penting dalam proses sintesis AgNP adalah mekanisme yang terjadi antara antara ion  $\text{Ag}^+$  dan agen pereduksi karena menentukan pembentukan nanopartikel dan pertumbuhan ukurannya. Pada studi Purbowati dkk. (2024) penelitian dilakukan menggunakan ekstrak *Quercus Infectoria Gall* (QIG) sebagai reduktor sintesis AgNP. Proses ini menghasilkan gugus kuinon akibat terjadi oksidasi pada gugus fenolik, sehingga Ag direduksi dari  $\text{Ag}^+$  menjadi  $\text{Ag}^0$ . Kemudian, distabilkan menggunakan mekanisme capping untuk menghasilkan AgNP yang stabil. Menurut Fahim dkk. (2024), agen pereduksi aktif yang mengandung senyawa polifenol, saponin, flavonoid, gula, terpena serta alkaloid memiliki kemampuan untuk memberikan elektron dari gugus fungsional seperti hidroksil ( $-\text{OH}$ ) dan karboksil ( $-\text{COOH}$ ) kepada  $\text{Ag}^+$  sehingga dapat tereduksi menjadi  $\text{Ag}^0$ , seperti penelitian yang dilakukan oleh Tamang dkk. (2025) dengan ekstrak *camellia sinensis*, yang menyatakan bahwa polifenol mengionisasi dan mentransfer elektron  $\text{Ag}^+$ . Dalam reaksi ini, ion  $\text{Ag}^+$  memiliki peran sebagai katalis dan gugus hidroksil ( $\text{R-OH}$ ) pada polifenol akan berubah menjadi gugus  $\text{R-O-}$  yang akan mengikat ion  $\text{Ag}^+$  sehingga menghasilkan gugus  $\text{RO-Ag}$ . Ag yang terikat pada  $\text{RO-}$

Ag akan terjadi pemutusan rantai polifenol sehingga dihasilkan  $\text{Ag}^0$  yang akan membentuk AgNP (Fajri dkk., 2022) yang dapat dilihat pada Gambar 2.5. Penelitian lain yang dilakukan oleh Jayapriya dkk. (2019) menggunakan ekstrak *piper longum* yang memiliki gugus fungsi amina (N–H), isosianat tiosianat (N=C=S), dan alkena ( $\text{C}=\text{C}$ ) yang menunjukkan keberadaan senyawa fitokimia seperti antosianin, flavonoid, dan fenolik yang terjadi penurunan intensitas puncak-puncak dan pergeseran pada spektrum AgNP. Hal ini menandakan terjadi reduksi serta penstabilan pada senyawa fitokimia. Reduksi  $\text{Ag}^+$  terjadi dengan proses transformasi tautomerik flavonoid dari bentuk enol ke keto. Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Guzman dkk. (2022), asam askorbat digunakan sebagai reduktor dan asam sitrat sebagai stabilisator. Peregangannya gugus fungsi karbonil ( $\text{C}=\text{O}$ ) pada asam askorbat menandakan bahwa asam askorbat teroksidasi, sehingga elektron dilepas untuk mereduksi Ag. Selain itu, gugus fungsi karboksilat ( $\text{-COOH}$ ) pada asam sitrat memberikan elektron ke ion  $\text{Ag}^+$ , menyebabkan *coating* pada AgNP.



Gambar 2.5 Mekanisme Sintesis Nanopartikel Perak (Tosun & Özgür, 2024)

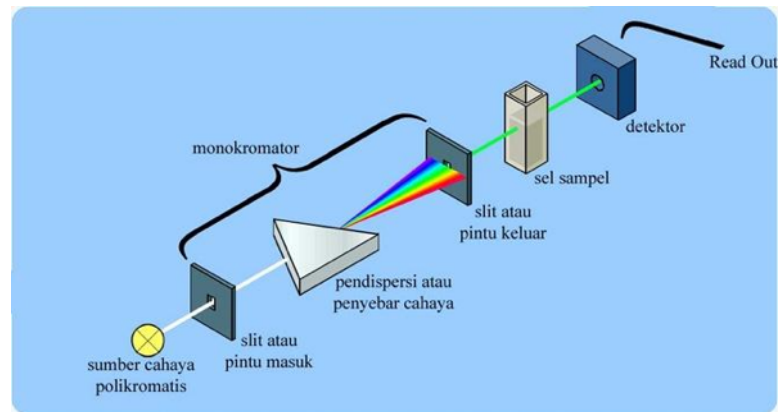
Selain itu, ada beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya AgNP dan kestabilannya seperti suhu, pH, waktu, tekanan, konsentrasi  $\text{AgNO}_3$ , serta lingkungan (Nguyen dkk., 2023). Selanjutnya, larutan sintesis dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan akan muncul puncak serapan maksimum pada rentang panjang gelombang 400 - 500 nm yang menandakan terbentuknya AgNP (Maarebia dkk., 2019).

## 2.3 Instrumentasi

### 2.3.1 Spektrofotometer UV-Vis

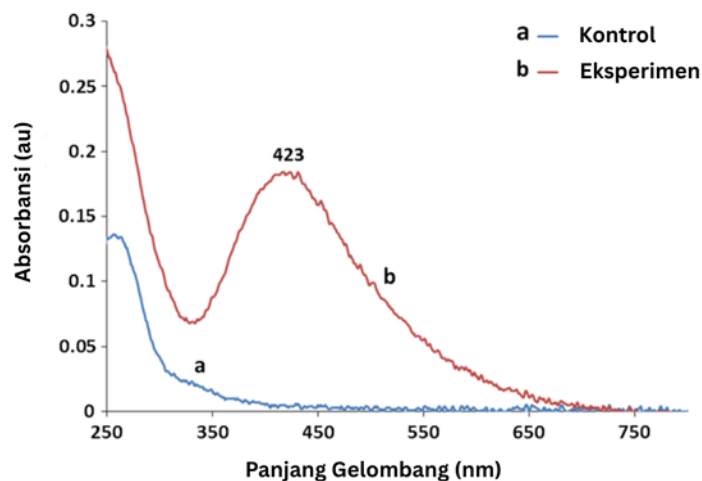
Spektrofotometer UV-Vis merupakan salah satu instrumen yang digunakan untuk mengetahui energi cahaya yang diserap pada rentang panjang gelombang yang telah ditentukan. Spektrofotometer UV-Vis memiliki prinsip yaitu sinar tampak yang melakukan penyerapan untuk sinar ultraviolet oleh molekul. Hal ini akan terjadi eksitasi dari suatu molekul dari tingkat energi yang rendah menuju tingkat energi yang lebih tinggi (Abriyani dkk., 2023). Proses ini dapat terjadi jika menggunakan instrumen spektrofotometer yang terdiri atas beberapa bagian

yang dapat dilihat pada Gambar 2.6, yang memungkinkan detektor untuk membaca dan mencatat sampel (Putri, 2017).



Gambar 2.6 Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis (Lusia, 2017)

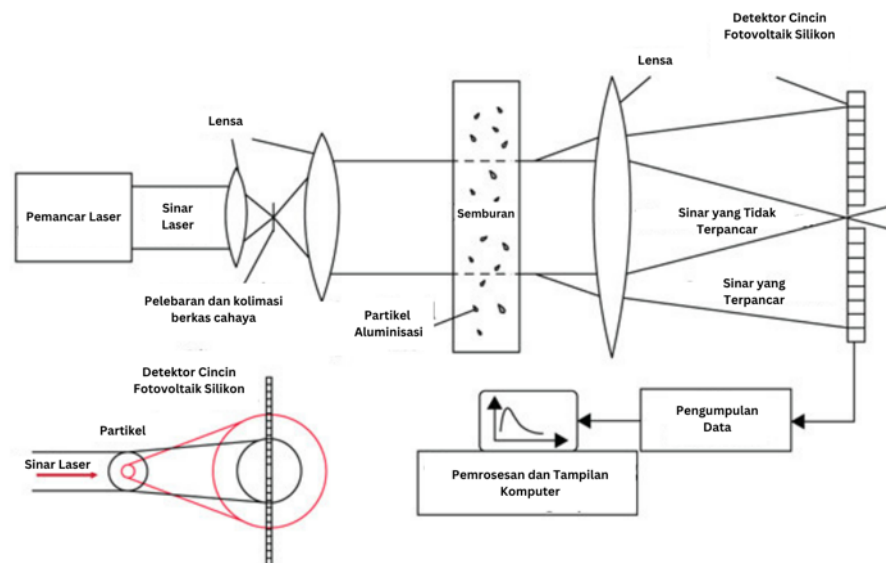
Prinsip kerja dari spektrofotometer Uv-Vis yaitu sinar monokromatik yang dipancarkan akan diteruskan, diserap atau ditransmisikan (Ahriani dkk., 2021). Sinar ultraviolet yang dipancarkan ke sampel berada pada rentang panjang gelombang 100 - 400 nm dan sinar tampak pada rentang panjang gelombang 400 -700 nm. Spektrum cahaya UV dibagi menjadi empat bagian, yaitu UV-A (315 - 400 nm), UV-B (280-315 nm), UV-C (200-280 nm) dan UV-V (100-200 nm). Spektrum UV ini dapat digunakan untuk mensterilkan cairan, mendesinfeksi udara serta membunuh mikroba, sedangkan pada cahaya dengan spektrum tampak dibagi menjadi tiga bagian, yaitu pada cahaya merah tidak memiliki efek antimikroba, sementara cahaya hijau hanya memberikan sedikit efek, dan cahaya ungu-biru ( $405 \pm 10$  nm) memiliki efek antimikroba yang paling kuat, mampu membunuh mikroorganisme seperti bakteri, jamur, spora, dan virus (Akhila dkk., 2021). Sinar ultraviolet tidak hanya membantu dalam sterilisasi dan inaktivasi mikroorganisme, tetapi dapat membantu dalam proses analisis dan sintesis nanopartikel. Selama proses ini, sinar ultraviolet digunakan untuk mengetahui puncak absorbansi secara spesifik dan melihat stabilitas nanopartikel. Dalam penelitian Mudhafar dkk. (2021) sintesis AgNP dengan pengujian UV-Vis dan mendapatkan puncak absorbansi pada 454 nm, penelitian juga dilakukan oleh Mudhafar dkk. (2024) yang menguji AgNP dengan UV-Vis dan mendapatkan puncak absorbansi pada 400 – 450 nm. Selain itu, Rathod dkk. (2016) menyatakan bahwa AgNP dengan ukuran di bawah 100 nm memiliki puncak absorbansi antara 400 dan 450 nm, dengan Gambar 2.7 menunjukkan spektrum yang diperoleh dari pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis.



Gambar 2.7 Contoh Hasil Analisis Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Rathod dkk., 2016)

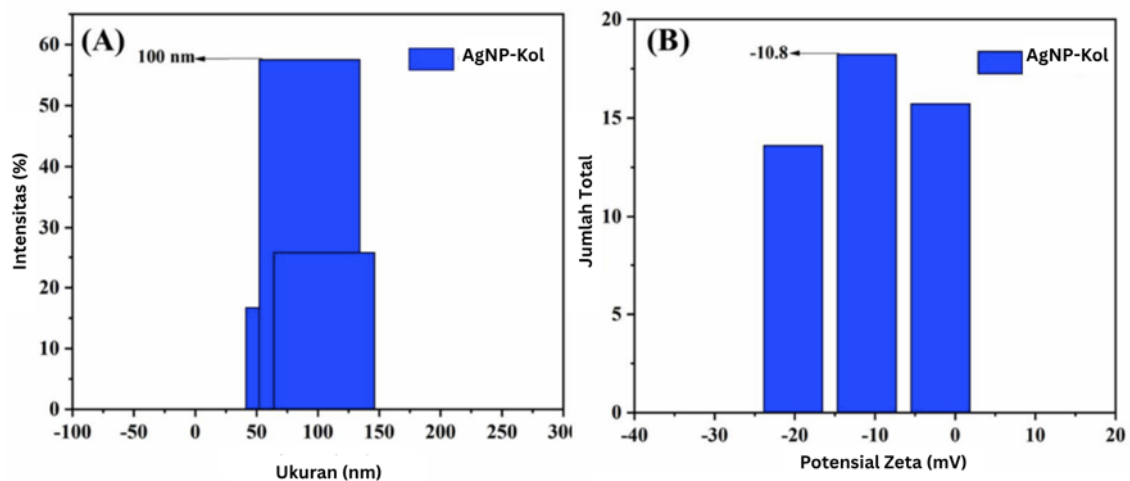
### 2.3.2 Particle Size Analyzer (PSA)

*Particle Size Analyzer* merupakan metode untuk mengukur distribusi dari suatu partikel. Ukuran partikel dapat mengontrol sifat dari aliran dan pepadatan, serta menjadi indikator pada kualitas dan kinerja partikel (Ilangovan dkk., 2021). Suatu partikel dapat diketahui ukurannya menggunakan tiga metode umum PSA yaitu metode *Dynamic Light Scattering* (DLS), metode mikroskopi serta *Laser Diffraction* (LD). Metode mikroskopis memiliki kelebihan karena memberikan data morfologi tentang ukuran beberapa nanopartikel tetapi tidak cocok untuk mengukur sampel polidispersi, sementara keberadaan partikel besar dapat mempengaruhi akurasi ukuran (Hussain dkk., 2020), metode *Dynamic Light Scattering* (DLS) memberikan ukuran hidrodinamik rata-rata nanopartikel dan distribusi nanopartikel dalam masing-masing sampel nano (Thakur dkk., 2023), serta metode *Laser Diffraction* (LD) menggunakan sinar laser untuk menyinari suspensi yang encer dengan cahaya dihamburkan oleh partikel ke arah depan sehingga cocok untuk mengukur partikel yang biasanya berada pada submikron (Hussain dkk., 2020). Metode ini dilakukan pengujian menggunakan instrumen PSA seperti Gambar 2.8, yang terdiri atas *laser transmitter*, *the fourier lens*, *silicon photovoltaic ring detector*, *data acquisition*, dan *processing system*. Partikel yang memiliki ukuran berbeda dalam gumpalan akan membuat *laser beam* menghasilkan sudut hamburan yang berbeda yaitu sudut hamburan partikel kecil lebih besar, sedangkan sudut hamburan partikel besar lebih kecil. Setelah melewati *fourier lens*, *laser beam* ditransmisikan ke *array detector*, sehingga sistem akuisisi dan pemrosesan data memperoleh distribusi ukuran partikel (Liu dkk., 2021).



Gambar 2.8 Skema Kerja PSA (Liu dkk., 2021)

Dalam penelitian Santhanam dkk. (2023) yang melakukan pengujian *Particle Size Analysis* (PSA) dan Zeta Potensial ditemukan bahwa AgNP-Kol memiliki ukuran rata-rata kurang dari 80 nm dengan ukuran persentase tertinggi sebesar 100 nm, sedangkan pada Zeta Potensial didapatkan nilai potensial sebesar -10,8 mV dengan indeks polidispersitas 0,07. Hal ini menyatakan bahwa AgNP-Kol terbentuk dengan monodispersif serta memiliki kestabilan yang baik, seperti yang terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Contoh Hasil Analisis Particle Size Analysis (PSA) dan Zeta Potensial (Santhanam dkk., 2023)

Penelitian lain yang dilakukan oleh Cardoso dkk. (2014) yang terdapat pada Tabel 2.2, didapatkan rata-rata ukuran partikel AgNP-Kol dengan rentang 78,87 – 81,76 nm, untuk zeta potensial pada rentang 19,9 - 31,8 mV pada potensi positif karena pada AgNP-Kol mengandung gugus amino yang bermuatan positif. Pada diameter hidrodinamik AgNP-Kol bernilai direntang 64,34 - 81,76 serta nilai PDI berada pada rentang 0,40 - 0,77. Jika nilai PDI bernilai > 0,5 maka

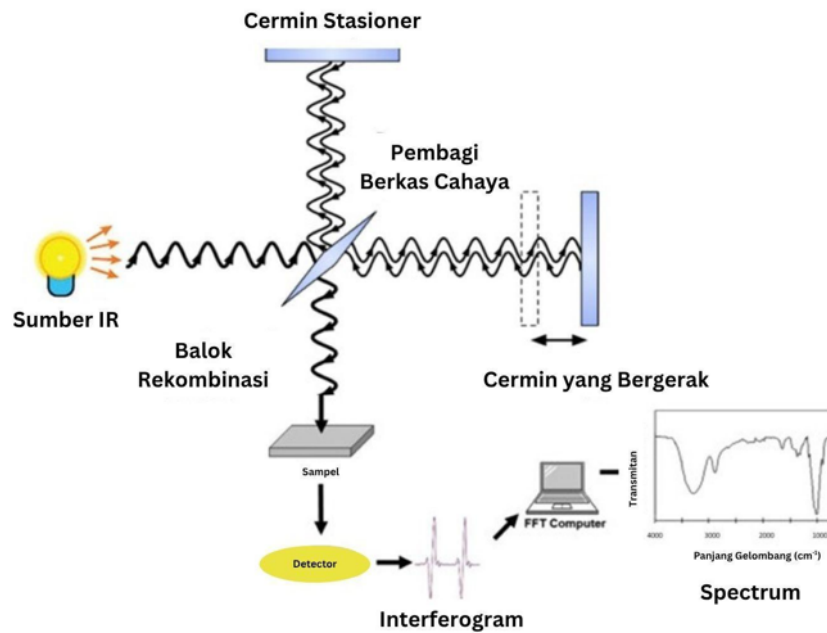
besar kemungkinan untuk terjadi aglomerasi serta variasi distribusi yang tidak seragam (Martins dkk., 2022).

Tabel 2.2 Contoh Hasil Analisis *Particle Size Analysis* (PSA) (Cardoso dkk., 2014)

|                 | Diameter (nm) | Potensial Zeta (mv) | Indeks Polidispersitas | [Ag] (mM) |
|-----------------|---------------|---------------------|------------------------|-----------|
| AgNP-Kol (1:1)  | 78,87 ± 12,89 | 31,8 ± 0,62         | 0,60 ± 0,02            | 0,434     |
| AgNP-Kol (1:6)  | 64,34 ± 16,05 | 24,9 ± 0,79         | 0,10 ± 0,05            | 0,645     |
| AgNP-Kol (1:15) | 81,76 ± 18,22 | 19,9 ± 0,4          | 0,77 ± 0,17            | 0,345     |

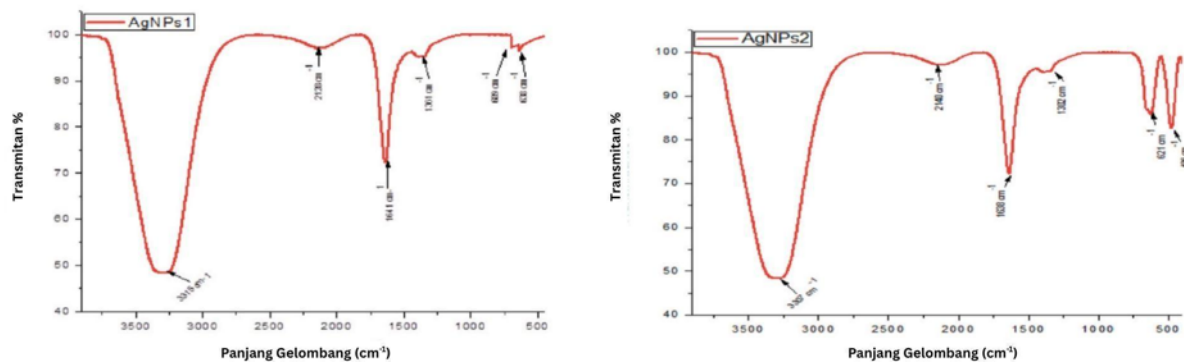
### 2.3.3 *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

*Fourier Transform Infrared* atau biasa dikenal dengan FTIR termasuk salah satu instrumen analitik yang dapat digunakan untuk mengamati vibrasi molekul dan memperkirakan suatu molekul berdasarkan gugus fungsi yang dimilikinya (Nandiyanto dkk., 2022). Vibrasi molekul banyak macamnya, tetapi yang umum terdapat dua tipe yaitu *stretching* merupakan vibrasi dengan yang dapat memanjang atau memendekkan suatu ikatan serta *bending* merupakan vibrasi yang terjadi karena ada perbesaran atau pengecilan sudut ikatan (Kombongkila dkk., 2024). Vibrasi dalam molekul dapat diketahui menggunakan dua metode, yang pertama yaitu metode pengukuran reflektansi dengan cara direfleksikan atau dipantulkan atau dibelokkan agar pola vibrasi dari molekul dapat diketahui, sampel diletakkan di atas plat zinc selenium dan kemudian ditekan dan dikenai sinar laser. Hasilnya, tidak semua gugus fungsi yang mengalami vibrasi dapat dibaca. Oleh karena itu, hanya gugus fungsi dengan intensitas tinggi yang dapat mengalami vibrasi dan menghasilkan peak, sedangkan pada metode transmisi laser secara langsung akan mengenai sampel yang sudah dilakukan preparasi dengan KBr, sehingga akan dihasilkan peak terhadap gugus fungsi pada suatu senyawa (Sulistiyani & Huda, 2018). Prinsip dasar FTIR yaitu pengukuran yang dilakukan oleh molekul untuk melakukan penyerapan radiasi inframerah. Frekuensi cahaya inframerah yang sesuai dengan frekuensi getaran ikatan kimia maka akan diserap oleh setiap molekul (Muchaamba & Stepan, 2024). Cara kerja dari FTIR yaitu cahaya inframerah dengan panjang gelombang tertentu secara kontinu yang ditetapkan pada sampel, dilanjutkan cahaya dengan panjang gelombang spesifik diserap ketika energinya sesuai dengan perbedaan energi antara dua tingkat energi (Gong dkk., 2024) satu sampel akan dilewatkan dan sampel lainnya akan dilewatkan pembanding. Selanjutnya, sampel akan melewati *chopper* secara berurutan. Setelah melewati prisma, berkas jatuh ke detektor, diubah menjadi sinyal listrik dan direkam oleh *recorder*. Scan inframerah khas dibuat pada daerah tengah inframerah yaitu 400 - 4000  $cm^{-1}$  (Sanjiwani dkk., 2020). Instrumen FTIR terdiri atas lima bagian yaitu sumber cahaya *infrared*, interferometer, wadah sampel, detektor, dan komputer seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Skema Kerja FTIR (Famarzi dkk., 2022)

Berdasarkan hasil FTIR pada material AgNP-Kolagen yang telah dilakukan oleh Mudhafar dkk. (2024), muncul puncak serapan pada  $\pm 3000 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan terdapat gugus N-H dari amida A,  $\pm 1600 \text{ cm}^{-1}$  karena terjadi peregangan C=O dari amida I,  $\pm 1300 \text{ cm}^{-1}$  muncul akibat adanya pembengkokan N-H (amida III), sedangkan pada  $\pm 2100 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\pm 600 \text{ cm}^{-1}$  dan  $\pm 400 \text{ cm}^{-1}$  merupakan ciri dari ekstrak tumbuhan yang digunakan pada penelitian. Adapun spektrum hasil FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Contoh Hasil Analisis FTIR pada AgNP-Kol (Mudhafar dkk., 2024)

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini, sintesis AgNP menggunakan logam AgNO<sub>3</sub> dan kolagen sebagai agen pereduksi. AgNP didapatkan dengan melakukan reduksi pada ion Ag sehingga akan dihasilkan Ag yang tidak memiliki muatan (Xu dkk., 2020), sedangkan kolagen juga berfungsi sebagai agen pereduksi dan penstabil AgNP (Ragothaman dkk., 2021). Selain itu, variasi massa yang dihasilkan dari penggunaan kolagen mempengaruhi pembentukan nanopartikel perak (Mudhafar dkk., 2024). Sintesis AgNP-Kol ini mengikuti modifikasi dari penelitian terdahulu Mudhafar dkk. (2024) dan digunakan variasi massa kolagen dalam penelitian ini adalah 0,005, 0,010, 0,015, 0,020, dan 0,025 g. AgNP disintesis pada suhu 70 °C dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Selanjutnya, untuk menentukan variasi optimal, hasil sintesis akan diuji menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, yang selanjutnya akan dianalisis lebih lanjut menggunakan karakterisasi FTIR dan PSA

#### **3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian**

##### **3.2.1 Peralatan Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas beaker 100 mL dan 500 mL, gelas ukur 10 mL dan 100 mL, labu ukur 100 mL dan 250 mL, erlenmeyer 250 mL, botol Schott Duran 500 mL, botol vial 10 mL dan 50 mL, *centrifuge tube* 15 mL, *magnetic stirrer*, kain saring, termometer, pipet tetes, indikator pH universal, tray akrilik, botol semprot, plastik wrap, mortar, alu, kuvet, neraca analitik Fujitsu FS-AR210, *hot plate* Thermo Scientific Cimarec SP88857105, oven FREAS 605, 800 electrical sentrifuge, spektrofotometer UV-Vis Genesys 10S Thermo Scientific, FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)-8400S Shimadzu Europe, dan *Particle Size Analyzer* (PSA).

##### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain perak nitrat (AgNO<sub>3</sub>), kolagen, aquades, natrium hidroksida (NaOH), asam asetat glasial (CH<sub>3</sub>COOH), dan natrium klorida (NaCl).

#### **3.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian**

##### **3.3.1 Preparasi Larutan NaOH 0,5 M**

Pembuatan larutan NaOH 0,5 M dilakukan dengan cara menimbang 2 g NaOH dengan neraca analitik, lalu dimasukkan ke dalam labu 100 mL dan dilarutkan menggunakan aquades. Kemudian, larutan dikocok hingga homogen.

##### **3.3.2 Preparasi Larutan CH<sub>3</sub>COOH 0,5 M**

Pembuatan larutan CH<sub>3</sub>COOH 0,5 M dilakukan dengan cara mengukur 2,9 mL CH<sub>3</sub>COOH menggunakan gelas ukur, lalu dimasukkan ke dalam labu 100 mL dan dilarutkan menggunakan aquades. Kemudian, larutan dikocok hingga homogen.

##### **3.3.3 Ekstraksi Kolagen dari Sirip Ikan Hiu**

Sirip ikan hiu yang sudah kering ditimbang sebanyak 10 g. Sirip ikan hiu dimasukan ke dalam gelas beaker dan di-*treatment* menggunakan NaOH selama semalaman dan diletakkan di dalam kulkas. Kemudian, sirip yang di-*treatment* disaring dan dicuci menggunakan aquades hingga mencapai pH netral. Sirip ikan hiu yang sudah netral ditambahkan ke asam asetat dan di-*treatment* selama 3 hari menggunakan *hotplate stirrer*. Setelah itu, disaring untuk

membedakan filtrat dari endapan. Filtrat yang dihasilkan dicampur dengan 11 g garam dapur dan disimpan dalam kulkas hingga endapan terbentuk. Dilanjutkan dengan proses dekantasi, endapan yang diperoleh dipisahkan, dipindahkan ke tray akrilik dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 50 °C hingga kering menjadi padatan kolagen. Setelah kering, kolagen dihaluskan menggunakan mortar dan alu agar didapatkan kolagen dalam bentuk serbuk halus.

### 3.3.4 Preparasi Larutan AgNO<sub>3</sub> 7,5 mM

Pembuatan larutan AgNO<sub>3</sub> 7,5 mM dilakukan dengan cara menimbang 0,31875 g AgNO<sub>3</sub> dengan neraca analitik, lalu dimasukkan ke dalam labu 250 mL dan dilarutkan menggunakan aquades. Selanjutnya, larutan dikocok hingga homogen.

### 3.3.5 Sintesis Nanopartikel Perak Kolagen (AgNP-Kol)

Sintesis AgNP dilakukan dengan cara menyiapkan 40 mL larutan perak konsentrasi 7,5 mM yang telah dibuat sebelumnya ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian dimasukkan termometer dan *magnetic stirrer*. Suhu diatur hingga 70 °C dan diaduk pada kecepatan 300 rpm. Setelah suhu stabil, kolagen ditambahkan dan ditunggu selama 5 menit agar larutan tercampur dengan homogen. Setelah 5 menit, ditambahkan NaOH 0,1 M hingga mencapai pH 11 dan dibuktikan menggunakan pH universal. Erlenmeyer ditutup rapat menggunakan plastik wrap dan sintesis dilakukan selama 60 menit. Setelah 60 menit, larutan diturunkan dari *hot plate* dan didiamkan dalam suhu ruang. Setelah itu, larutan disentrifugasi pada kecepatan 1000 rpm selama 3 menit, dilakukan pemisahan antara larutan dan padatan yang didapatkan. Dalam sintesis AgNP yang masing-masing diberi label AgNP-Kol 1, AgNP-Kol 2, AgNP-Kol 3, AgNP-Kol 4, dan AgNP-Kol 5.

### 3.3.6 Karakterisasi

#### 3.3.6.1 Spektrofotometer UV-Vis

Analisis spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk menentukan panjang gelombang maksimum dari AgNP dengan berbagai variasi massa reduktor. Pada analisis ini digunakan aquades sebagai blanko dan larutan sampel dicuplik sebanyak 2 ml dan dilarutkan pada labu 10 ml untuk dicek absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kemudian dilakukan pengulangan dengan metode yang sama untuk variasi lainnya. Hasil dari analisis yaitu didapatkan data antara panjang gelombang dengan absorbansi. Analisis spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Material dan Energi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

#### 3.3.6.2 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Analisis FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan gugus fungsi yang terdapat dari AgNP dengan berbagai variasi massa reduktor. Pada FTIR diperlukan preparasi sampel dari masing-masing variasi AgNP untuk dicampurkan dengan KBr dengan perbandingan 1 : 99 yang akan digerus hingga menjadi campuran yang homogen. Setelah itu, dimasukkan campuran ke cetakan pelet dan ditekan menggunakan penekan hidrolik sehingga dihasilkan sampel pelet AgNP-KBr. Sampel pelet selanjutnya diletakkan pada *pellet holder* untuk dilakukan karakterisasi dan diidentifikasi gugus fungsinya menggunakan sinar *infrared* menggunakan *FTIR Spectrophotometer* pada rentang panjang gelombang 400 hingga 4000 cm<sup>-1</sup>. Analisis FTIR dilakukan di Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

#### 3.3.6.3 Particle Size Analyzer (PSA)

Analisis PSA dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel serta nilai potensial zeta dari AgNP-Kol. PSA dilakukan pada Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Air (TAKI),

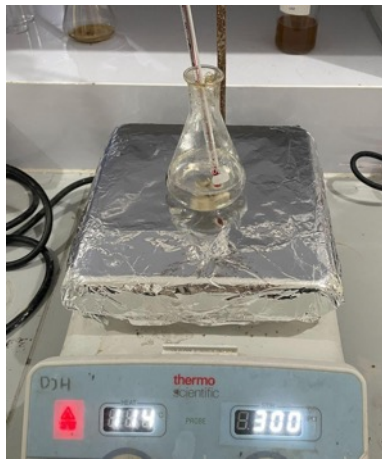
Departemen Teknik Kimia ITS. Analisis dilakukan dengan cara mencuplik 2 ml sampel AgNP-Kol dan ditambahkan 8 ml aquades. Selanjutnya, sampel dilakukan analisis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

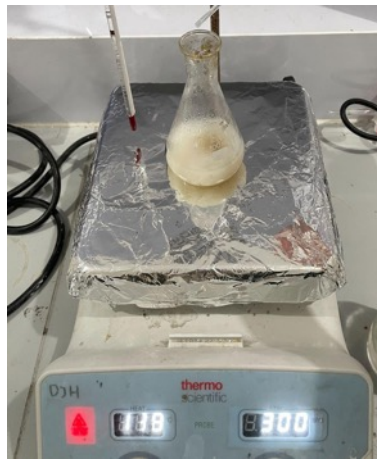
## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Sintesis Nanopartikel Perak-Kolagen (AgNP-Kolagen)

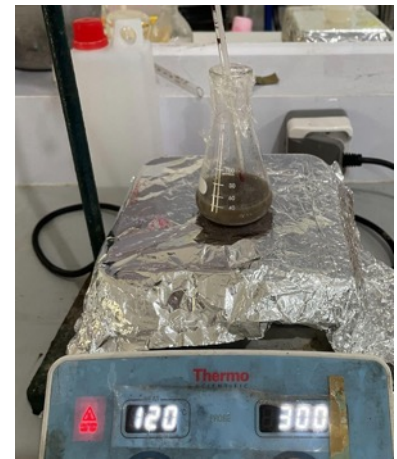
AgNP-Kolagen dilakukan sintesis dengan prekursor garam perak yaitu perak nitrat atau  $\text{AgNO}_3$ . Perak nitrat dibuat pada konsentrasi 7,5 mM pada labu ukur 250 mL. Kemudian, 0,31875 g perak nitrat ditimbang dan dilarutkan dengan aquades dalam labu ukur 250 mL yang didapatkan larutan jernih tidak berwarna. Setelah itu, diukur volume sebanyak 40 ml menggunakan gelas ukur dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Larutan  $\text{AgNO}_3$  dipanaskan menggunakan *hot plate* seperti pada Gambar 4.1.a hingga mencapai suhu stabil 70 °C dan pada kecepatan 300 rpm. Selanjutnya, ditambahkan kolagen sesuai variasi massa yang telah ditentukan dan ditunggu 5 menit hingga larutan homogen seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.b. Kemudian, NaOH dilakukan penambahan tetes demi tetes hingga mencapai pH 11 hingga berubah menjadi larutan coklat seperti Gambar 4.3.c dan sintesis dilakukan selama 1 jam.



(a)



(b)

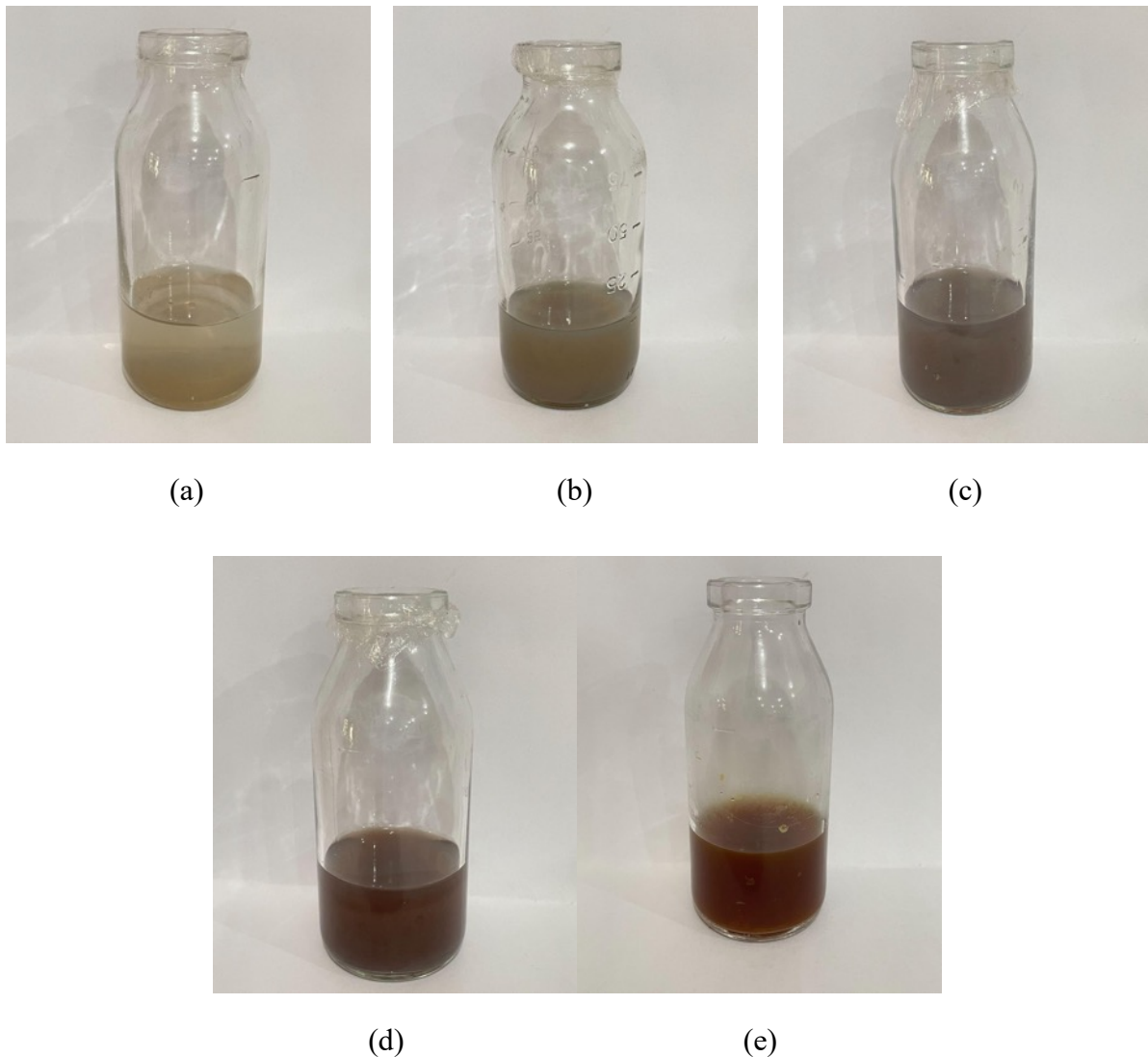


(c)

Gambar 4.1 (a) Proses Sintesis Larutan  $\text{AgNO}_3$  (b) Proses Sintesis Setelah Penambahan Kolagen (c) Hasil Sintesis AgNP-Kol Setelah Penambahan NaOH

Senyawa perak nitrat memiliki sifat sangat larut dalam air, dimana setelah dilarutkan dengan air dapat menghasilkan kation perak bebas ( $\text{Ag}^+$ ) dan anion nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Walker & Parsons, 2014) dan aquades sebagai memiliki sifat pelarut polar (Unawahi dkk., 2022). Gaya ion-dipol akan terbentuk antara ion  $\text{Ag}^+$  dan  $\text{NO}_3^-$ , dan senyawa polar aquades ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (Rantih dkk., 2019). Kolagen yang termasuk ke dalam protein polimer alami maka dapat melakukan pembentukan nanopartikel tanpa memerlukan bahan tambahan (Miao dkk., 2022), sehingga kolagen pada penelitian ini memiliki peran sebagai reduktor dan stabilisator. Reduktor yang memiliki gugus fungsi -OH (Purbowati dkk., 2023) dan  $-\text{NH}_2$  memiliki berperan dalam reduksi Ag, sehingga  $\text{Ag}^+$  dapat diubah menjadi AgNP (Cheng Li dkk., 2016). Selanjutnya, digunakan pH basa karena dapat meningkatkan reaktivitas reduksi antara Ag dengan ekstrak reduktor karena terjadi perubahan muatan listrik yang menyebabkan pereduksi menjadi lebih aktif (Quraataayun dkk., 2022). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sulistiorini dkk. (2024), pengujian dilakukan pada berbagai pH yaitu pH asam pada pH 5 yang menunjukkan bahwa tidak ada pembentukan pada nanopartikel perak. Selanjutnya, dilakukan pengujian pada pH basa yaitu pH 10, 11, dan 12 yang menunjukkan pembentukan nanopartikel pada panjang gelombang 410 nm. Namun, pada pH 11 absorbansi yang terbentuk jauh lebih tinggi

dibandingkan pH 10 dan 12, sehingga pH 11 dianggap pH optimal pada sintesis nanopartikel perak. Selain pH, waktu sintesis juga merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi pembentukan nanopartikel perak seperti penelitian yang dilakukan oleh Savvidou dkk. (2023) yang menggunakan alga *H. pluvialis* dengan menggunakan variabel waktu yaitu 15 menit, 60 menit, 180 menit, 6 jam dan 24 jam serta Venkatesham dkk. (2024) yang menggunakan kitosan untuk sintesis nanopartikel dengan menggunakan variabel waktu yaitu 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit. Akan tetapi, tidak ada perubahan yang signifikan sintesis nanopartikel perak serta didapatkan nilai absorbansi pada waktu 60 menit, sehingga 60 menit dianggap sebagai waktu optimum untuk sintesis nanopartikel perak.



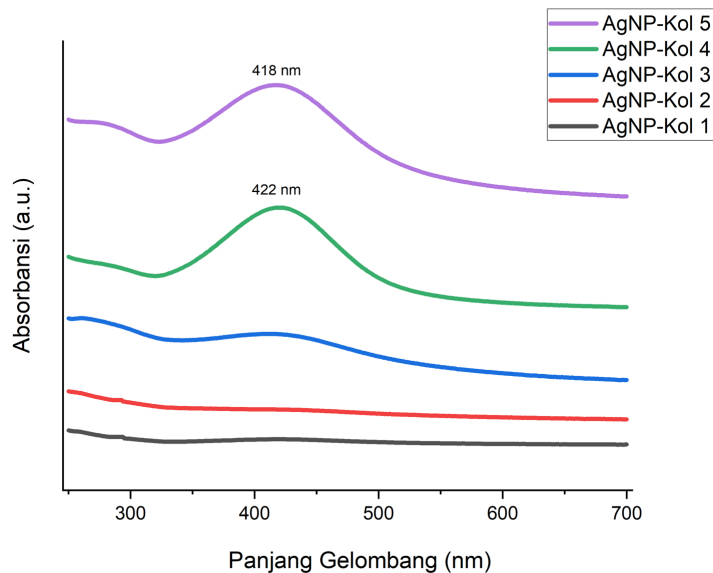
Gambar 4.2 Variasi Massa Kolagen Terhadap Perak Nitrat dan Penambahan Kolagen Pada Hari Pertama : (a) AgNP-Kol 1 (b) AgNP-Kol 2 (c) AgNP-Kol 4 dan (e) AgNP-Kol 5

Hasil sintesis dengan variasi massa yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.2, yang menunjukkan keberhasilan pembentukan AgNP menggunakan metode sintesis yang menghasilkan perubahan warna yaitu warna coklat yang merupakan ciri khas AgNP (Lestari dkk., 2022). Penggunaan massa reduktor mempengaruhi pembentukan AgNP, peningkatan

massa reduktor menyebabkan semakin banyak ion  $\text{Ag}^+$  yang tereduksi maka menyebabkan warna larutan AgNP menjadi lebih pekat (Kosimaningrum dkk., 2020), jumlah AgNP yang terbentuk semakin banyak (Tapa., dkk 2019) serta terjadi peningkatan konsentrasi larutan AgNP (Kosimaningrum dkk., 2020). Namun, apabila reduktor yang digunakan terlalu banyak maka ruang untuk pertumbuhan AgNP akan lebih sedikit (Szczyglewska dkk., 2023), sedangkan jika reduktor yang digunakan terlalu sedikit maka reduksi akan berjalan lambat (Prasetyaningtyas dkk., 2020) yang mempengaruhi ukuran dari masing-masing AgNP-Kol (Ristian dkk., 2014). Terlihat belum terbentuk warna coklat yang sempurna pada AgNP-Kol karena reduktor membutuhkan lebih banyak waktu untuk menstabilkan proses pembentukan AgNP-Kol (Ariyanta, 2016), sehingga AgNP-Kolagen dilakukan pengamatan selama 12 hari untuk diamati kestabilannya.

#### 4.2 Pengaruh Massa Kolagen Terhadap Pertumbuhan AgNP Berdasarkan Identifikasi Spektrofotometer UV-Vis

Sintesis AgNP dipengaruhi oleh massa variasi massa kolagen, hal ini menghasilkan masing-masing perubahan warna yang berbeda, sehingga dilakukan pengamatan pertumbuhan AgNP menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis untuk memperkirakan ukuran dan bentuk nanopartikel yang terbentuk pada rentang panjang gelombang 400 - 500 nm (Melkamu & Bitew, 2021). Dua jenis pergeseran dapat diamati selama pengujian spektrofotometer UV-Vis. Pergeseran merah menunjukkan pergeseran panjang gelombang yang lebih besar pada 424 - 437 nm (Sagar dkk., 2024), sedangkan pergeseran biru menunjukkan pergeseran panjang gelombang yang lebih kecil (Aziz dkk., 2021) pada rentang 410 - 426 nm (Sagar dkk., 2024), yang menunjukkan bahwa nanopartikel memiliki ukuran yang kecil (Parmar & Sanyal, 2022). Hasil spektrum UV-Vis dengan variasi massa kolagen ditunjukkan pada Gambar 4.3.



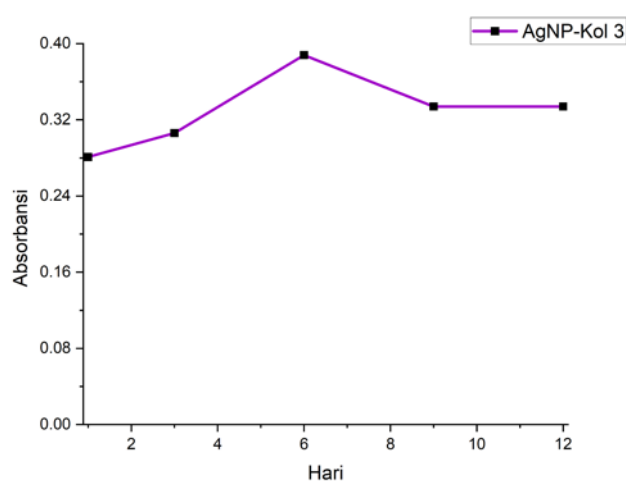
Gambar 4.3 Hasil Spektrum UV-Vis AgNP-Kolagen Menggunakan Variasi Massa Kolagen 0,005 ; 0,01 ; 0,015 ; 0,02 dan 0,025 g

Pada hasil spektrum UV-Vis nanopartikel AgNP-Kolagen setelah 24 jam yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 terlihat bahwa variasi massa kolagen yang menunjukkan terdapat pengaruh pembentukan dan pertumbuhan AgNP yang diamati melalui puncak yang muncul pada rentang 400 - 500 nm. Pada massa AgNP-Kol 1 dan 2 tidak muncul puncak pada rentang

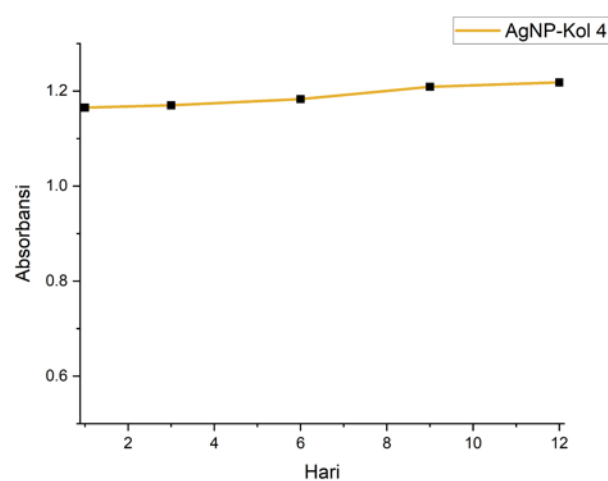
400-500 nm, yang menunjukkan bahwa nanopartikel belum terbentuk. Hal ini disebabkan karena jumlah reduktor yang sangat sedikit, sehingga kolagen tidak dapat mereduksi ion Ag secara sempurna dan proses reduksi tidak dapat berjalan dengan baik yang menyebabkan reduksi logam tidak dapat terbentuk dengan sempurna (Apriyani, 2016) atau membutuhkan waktu lebih lama untuk membentuk AgNP-Kolagen (Badi'ah dkk., 2019). Namun, dengan massa reduktor 0,015, 0,020 dan 0,025 g, puncak serapan muncul pada rentang panjang gelombang 400 - 500 nm yang menunjukkan bahwa AgNP berhasil dibentuk, seperti yang penelitian yang dilakukan oleh Ravi dkk. (2024) yang berhasil membentuk AgNP yang berasal dari reduksi  $\text{Ag}^+$  dan memiliki serapan puncak maksimum pada 420 nm. Akan tetapi, agregasi nanopartikel dapat terjadi dengan meningkatkan jumlah reduktor dari keadaan ideal karena laju nukleasi yang tinggi. Peningkatan massa reduktor dapat menyebabkan penurunan ukuran AgNP (Naderi-Samani dkk., 2023). Berdasarkan hasil pengamatan, dapat diketahui bahwa terdapat korelasi langsung antara massa dan nilai absorbansi AgNP-Kolagen, massa yang lebih besar menghasilkan nilai absorbansi yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa terdapat lebih banyak nanopartikel dalam larutan (Prasetiowati, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa massa optimum kolagen dalam pembentukan AgNP terjadi pada 0,025 g.

### 4.3 Pengaruh Waktu Simpan Larutan Terhadap Stabilitas AgNP-Kolagen

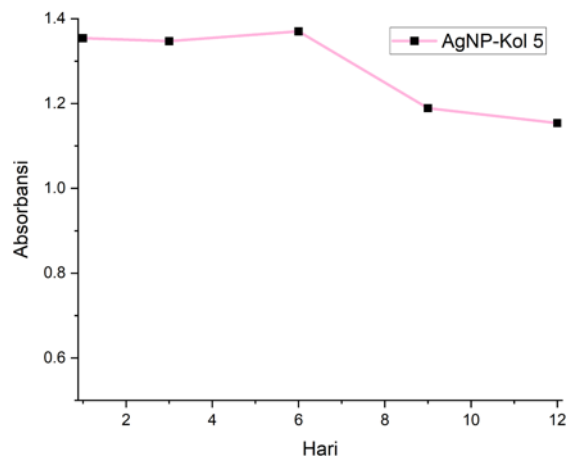
AgNP-Kolagen diamati pertumbuhannya selama 12 hari menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Larutan dilakukan penyimpanan dalam vial rapat yang diletakkan dalam loker. Pengujian dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Larutan dicuplik sebanyak 2 ml dan dilarutkan dengan aquades dalam labu ukur 10 ml. Kemudian, larutan dimasukkan ke kuvet dan diukur nilai absorbansinya pada panjang gelombang 200 - 800 nm. Terbentuknya AgNP-Kolagen ditandai apabila terdapat absorbansi maksimum pada rentang panjang gelombang 400 - 500 nm (Indah dkk., 2020). Pada Gambar 4.4 menunjukkan perubahan absorbansi pada rentang waktu yang diamati selama 12 hari. Perubahan yang terjadi terhadap puncak serapannya digunakan untuk menganalisis kestabilan AgNP-Kolagen berdasarkan waktu penyimpanan larutan, apabila puncak absorbansi bergeser ke panjang gelombang yang lebih besar, itu menunjukkan AgNP memiliki kestabilan yang rendah karena terjadi aglomerasi (Wahyudi dkk., 2011). Lamanya waktu penyimpanan AgNP mempengaruhi nilai absorbansi yang akan terus meningkat, ini menunjukkan bertambahnya jumlah nanopartikel seiring berjalannya waktu (Prasetyaningtyas dkk., 2020).



(a)



(b)



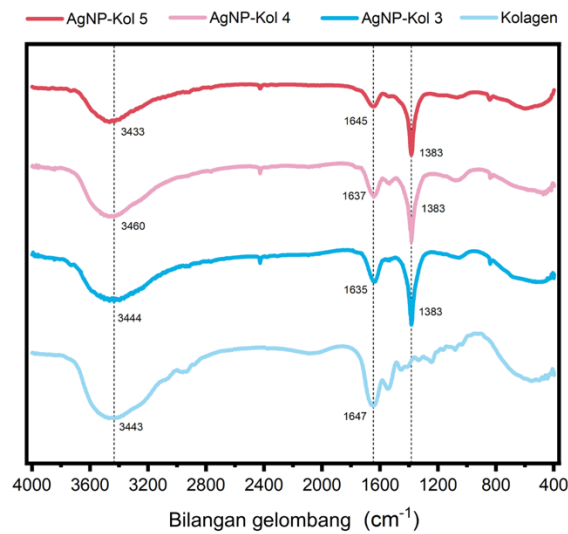
(c)

Gambar 4.4 Hasil Pengamatan AgNP-Kolagen Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (a) AgNP-Kol 3 (b) AgNP-Kol 4 (c) AgNP-Kol 5

Stabilitas AgNP-Kol dipengaruhi oleh waktu penyimpanan yang dapat mengurangi kestabilan dan menyebabkan agregasi sehingga dihasilkan ukuran partikel yang lebih besar (Andini dkk., 2023), serta gaya antar partikel terjadi sehingga antar partikel dapat berinteraksi satu sama lain dan membentuk cluster yang dapat bertambah ukuran secara kontinu (Rengga dkk., 2017). Pada pertumbuhan AgNP-Kol 3 dan 5 berhenti di hari ke-9 karena mengalami penurunan nilai absorbansi dan blueshift. AgNP-Kol 3 menggunakan sedikit pereduksi sehingga  $\text{Ag}^+$  yang tereduksi sedikit, sedangkan AgNP-Kol 5 menggunakan pereduksi lebih banyak, sehingga ion tambahan terbentuk pada larutan yang menyebabkan aglomerasi (Cardoso dkk., 2014) serta peningkatan jumlah AgNP-Kol hanya terjadi sementara sebab terjadi ketidakstabilan dan penggumpalan pada AgNP-Kol (Chugh dkk., 2021). Menurut Izak-Nau dkk. (2015), kondisi penyimpanan juga mempengaruhi karena jika dilakukan penyimpanan pada suhu ruang baik dalam kondisi gelap maupun terang membuat AgNP menjadi kurang stabil sehingga terjadi perubahan ukuran serta aglomerasi AgNP.

#### 4.4 Gugus Fungsi Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Kolagen (AgNP-Kol)

AgNP-Kol 3, 4 dan 5 yang telah berhasil disintesis maka dilakukan analisis FTIR pada rentang  $400\text{ cm}^{-1}$  hingga  $4000\text{ cm}^{-1}$ . Ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dalam AgNP-Kol, memastikan bahwa kolagen berikatan dengan AgNP serta untuk membandingkan dengan gugus fungsi yang dimiliki kolagen. Hasil FTIR dari kolagen, AgNP-Kol 3, 4 dan 5 ditunjukkan pada Gambar 4.5.

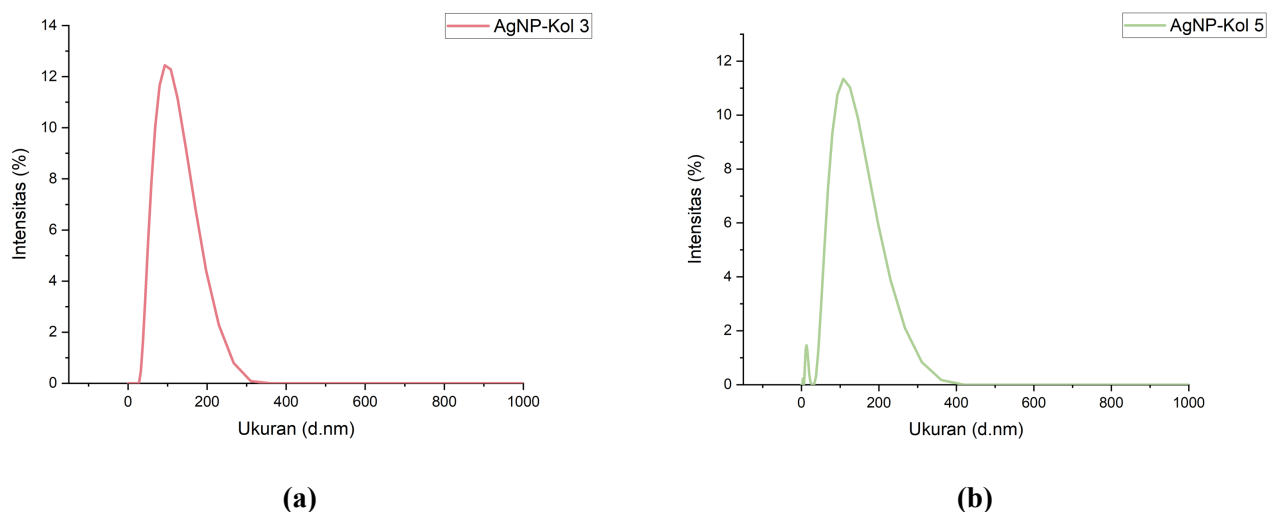


Gambar 4.5 Gugus Fungsi AgNP-Kolagen 5, 4 dan 3 Hasil Karakterisasi FTIR

Berdasarkan Gambar 4.5 hasil spektrum FTIR, terlihat kolagen memiliki 2 puncak utama yaitu pada  $3443\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan ikatan N-H dari Amida A yang terjadi vibrasi elongasi serta merupakan karakteristik ikatan hidrogen antarmolekul (Alves dkk., 2017) dan puncak  $1647\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan C=O (karbonil) Amida I yang berasal dari tulang punggung polipeptida serta memiliki getaran elongasi (Lahmar dkk., 2022). Selanjutnya pada AgNP memiliki tiga puncak utama yaitu, pada pita  $3433 - 3460\text{ cm}^{-1}$  yang terjadi peregangan antara ikatan N-H (Amida A) yang merupakan ciri dari protein kolagen (Sripriya & Kumar, 2015). Interaksi yang terjadi antara gugus amino dan amida dapat menyebabkan sedikit pergeseran yang terkait dengan puncak tersebut (Costa-Fernandes dkk., 2022). Puncak lain terlihat pada  $1636 - 1645\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan terjadi peregangan C=O (Amida I) (Mudhafar dkk., 2024) dengan ikatan peptida yang terdapat pada protein kolagen (Suryani dkk., 2024). Puncak tajam muncul pada puncak  $1383\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan bahwa telah terjadi pelapisan nanopartikel sehingga terjadi perubahan pada C-N dari gugus amina (Budhathoki, 2024).

#### 4.5 Analisis Ukuran Partikel pada Permukaan Nanopartikel Perak - Kolagen (AgNP-Kol)

*Particle Size Analyzer* (PSA) merupakan salah satu analisis yang digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran sampel (Ilangovan dkk., 2021) yang berada pada rentang ukuran untuk nanopartikel (Daskar dkk., 2024). Dalam penelitian ini, digunakan metode Dynamic Light Scattering (DLS) dengan prinsip kerja yaitu intensitas cahaya yang terhambur diukur terjadi interaksi dengan sampel yang berbentuk cairan (Hasibuan dkk., 2025), sehingga didapatkan hasil analisis PSA yang terdapat pada Gambar 4.6. analisis PSA dilakukan pada AgNP-Kol 3 dan AgNP-Kol 5 karena pada AgNP-Kol 3 mulai terjadi pertumbuhan partikel dan pada AgNP-Kol 5 berdasarkan hasil spektrofotometer UV-Vis menunjukkan absorbansi tertinggi.

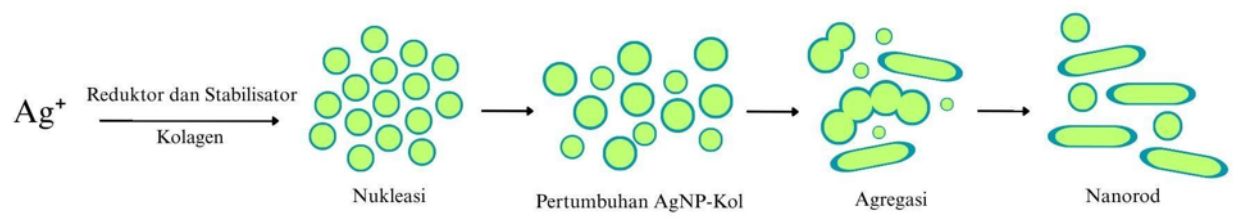


Gambar 4.6 Hasil Analisis Ukuran AgNP-Kol Menggunakan Metode PSA (a) AgNP-Kol 3 (b) AgNP-Kol 5

Analisis PSA telah dilakukan pada AgNP-Kol 3 dengan rentang ukuran rata-rata ukuran partikel 87,61 nm dan AgNP-Kol 5 dengan rata-rata ukuran partikel 90,56 nm. Dalam AgNP-Kol 3 dan AgNP-Kol 5, teramati terjadi peningkatan ukuran partikel dari 87,61 nm menjadi 90,56 nm. Kenaikan ini disebabkan karena peningkatan jumlah agen pereduksi yang digunakan, yaitu dari 0,015 g menjadi 0,025 g. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak agen pereduksi yang digunakan, semakin besar ukuran partikel yang terbentuk. Hal ini disebabkan terjadi peningkatan jumlah reduktor yang menyebabkan ion  $\text{Ag}^+$  lebih banyak tereduksi menjadi AgNP ( $\text{Ag}^0$ ) (Kassem Agha dkk., 2024) sehingga mencegah pertumbuhan nukleasi dan ukuran nanopartikel dapat ditingkatkan (Zong dkk., 2014). Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak jumlah agen pereduksi maka semakin banyak partikel yang mengalami pertumbuhan.

#### 4.6 Mekanisme Reduksi Nanopartikel Perak - Kolagen (AgNP-Kol)

Salah satu fase penting dalam sintesis berbasis *bottom-up* adalah proses reduksi ion perak ( $\text{Ag}^+$ ) menjadi nanopartikel perak ( $\text{Ag}^0$ ) yang menggunakan pereduksi alami sebagai agen reduksi dan penstabil seperti kolagen. Salah satu ciri proses reduksi telah terjadi dapat dilihat secara visual yaitu ketika larutan mengalami perubahan warna menjadi coklat tua (Santhanam dkk., 2023) serta munculnya pita serapan pada panjang gelombang maksimum sekitar 400 nm juga menandakan telah terjadi reduksi Ag (Pérez-Marroquín dkk., 2022). Hal ini dapat terjadi karena kolagen terdiri atas sejumlah asam amino (Tong dkk., 2025) yang terdapat gugus fungsi amina ( $-\text{NH}_2$ ), karboksilat ( $-\text{COOH}$ ) dan hidroksil ( $-\text{OH}$ ) (Chen dkk., 2025) yang berperan untuk mereduksi  $\text{Ag}^+$  menjadi  $\text{Ag}^0$  (Xu dkk., 2020). Dengan tahap awal berupa reduksi ion menjadi atom, yaitu  $\text{Ag}^+_{(aq)} + e^- \rightarrow \text{Ag}_{(s)}$  (Nguyen dkk., 2023). Adapun kemampuan kolagen sebagai donor elektron serta pada gugus hidroksil dapat melakukan pembentukan kompleks perantara asam amino-perak yang kemudian dilakukan ulang agar dapat membentuk AgNP (Farida dkk., 2025). AgNP dapat diperoleh melalui proses nukleasi, dimana konsentrasi Ag dalam larutan secara cepat melewati titik saat Ag dapat membentuk kristal sendiri sehingga terjadi nukleasi dan presipitasi yang menyebabkan pembentukan inti (Nguyen dkk., 2023). Inti yang sudah terbentuk akan mengalami proses pertumbuhan secara urut pada proses reduksi ion  $\text{Ag}^+$ , sehingga akan terjadi penumpukan di inti dan terbentuklah AgNP (Rajeshkumar & Bharath, 2017). Oleh karena itu, mekanisme reduksi AgNP-Kol dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Mekanisme Pembentukan Nanopartikel Perak-Kolagen (AgNP-Kol)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan sintesis nanopartikel perak menggunakan kolagen (AgNP-Kol) yang memiliki peran sebagai reduktor sekaligus stabilisator. Gugus fungsi amina (-NH<sub>2</sub>), karboksilat (-COOH) dan hidroksil (-OH) yang terdapat pada kolagen memiliki peran untuk mereduksi Ag<sup>+</sup> menjadi Ag<sup>0</sup>, sehingga dapat terbentuk AgNP-Kol. Keberhasilan AgNP-Kol didukung dengan perubahan visual larutan yang terjadi, diawali dengan larutan tak berwarna menjadi larutan berwarna coklat. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menunjukkan terbentuknya AgNP-Kol pada panjang gelombang 418 - 422 nm pada AgNP-Kol 3 (0,015 g), AgNP-Kol 4 (0,020 g) dan AgNP-Kol 5 (0,025 g). AgNP mulai terbentuk pada massa kolagen 0,015 g dan pada 0,025 g terjadi pembentukan AgNP yang paling banyak diantara variasi lainnya dengan absorbansi 1,353. Rata-rata ukuran AgNP-Kol diketahui melalui analisis PSA yaitu AgNP-Kol 3 (87,61 nm) dan AgNP-Kol 5 (90,56 nm).

#### **5.2 Saran**

Pada penelitian ini AgNP-Kol dapat dilanjutkan dengan menambahkan parameter lain pada sintesis, seperti melakukan pengujian stabilitas AgNP-Kol dalam berbagai kondisi penyimpanan (seperti pH, suhu, cahaya, dan waktu) yang dapat menunjukkan ketahanan nanopartikel terhadap aglomerasi. Selain itu, AgNP-Kol disarankan untuk digunakan dalam aplikasi seperti antimikroba, sensor, atau material komposit.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Abid, N., Khan, A. M., Shujait, S., Chaudhary, K., Ikram, M., Imran, M., Haider, J., Khan, M., Khan, Q., & Maqbool, M. (2022). Synthesis of nanomaterials using various top-down and bottom-up approaches, influencing factors, advantages, and disadvantages: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 300, 102597. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102597>
- Abriyani, E., Sephia, R. A., Srifitriani, E., Lustianah, T., & Azzahra, S. K. (2023). Analisis Kadar Kafein Kopi, Teh, Dan Coklat Menggunakan Metode Spektrofotometri Uv-Vis. *Journal of Comprehensive Science*, 2(1), 7–15. <https://doi.org/10.59188/jcs.v2i1.178>
- Abuzeid, H. M., Julien, C. M., Zhu, L., & Hashem, A. M. (2023). Green Synthesis of Nanoparticles and Their Energy Storage, Environmental, and Biomedical Applications. *Crystals*, 13(11), 1576. <https://doi.org/10.3390/cryst13111576>
- Ahriani, A., Zelviani, S., Hernawati, H., & Fitriyanti, F. (2022). Analisis nilai absorbansi untuk menentukan kadar flavonoid daun jarak merah (*Jatropha gossypifolia* L.) menggunakan spektrofotometer UV-Vis. *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 8(2), 147–155. <https://doi.org/10.24252/jft.v8i2.23379>
- Akhila, P. P., Sunooj, K. V., Aaliya, B., Navaf, M., Sudheesh, C., Sabu, S., Sasidharan, A., Mir, S. A., George, J., & Khaneghah, A. M. (2021). Application of electromagnetic radiations for decontamination of fungi and mycotoxins in food products: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.013>
- Alam, M. R., Shahid, M. A., Alimuzzaman, S., & Khan, A. N. (2022). Sources, extractions and applications of bio-maker collagen—A review. *Biomedical Engineering Advances*, 4, 100064. <https://doi.org/10.1016/j.bea.2022.100064>
- Al-dolaimy, F., Saraswat, S. K., Hussein, B. A., Hussein, U. A., Saeed, S. M., Kareem, A. T., Abdulwahid, A. S., Mizal, T. L., Muzammil, K., Alawadi, A. H., Alsalamy, A., Hussin, F., & Kzarb, M. H. (2024). A review of recent advancement in covalent organic framework (COFs) synthesis and characterization with a focus on their applications in antibacterial activity. *Micron*, 179, 103595. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2024.103595>
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2), 205. <https://doi.org/10.3390/min12020205>
- Altammar, K. A. (2023). A review on nanoparticles: characteristics, synthesis, applications, and challenges. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1155622. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1155622>
- Alves, A., Marques, A., Martins, E., Silva, T., & Reis, R. (2017). Cosmetic potential of marine fish skin collagen. *Cosmetics*, 4(4), Article 39. <https://doi.org/10.3390/cosmetics4040039>
- Amalia, A., Pratiwi, A., Ramadani, D., & Pratiwi, S. (2024). Karakterisasi dan Pengaruh Komposisi Kitosan terhadap Stabilitas Ukuran Nanopartikel Ekstrak Bawang Dayak (*Eleutherine americana* Merr.) menggunakan Metode Gelasi Ionik. *Jurnal Medika Planta*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.35311/jmpi.v10i1.487>
- Amirrah, I. N., Lokanathan, Y., Zulkiflee, I., Wee, M. F. M. R., Motta, A., & Fauzi, M. B. (2022). A Comprehensive Review on Collagen Type I Development of Biomaterials for Tissue Engineering: From Biosynthesis to Bioscaffold. *Biomedicines*, 10(9), 2307. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10092307>

- Andini, S., Yulianita, Y., & Febriani, E. N. K. (2023). Formulasi sediaan nanoemulgel ekstrak buah lada hitam (*Piper nigrum* L.) dengan variasi konsentrasi Tween 80 dan PEG 400. *Journal of Pharmaceutical and Health Research*, 8(3), 263–272.
- Antunes Filho, S., dos Santos, M. S., dos Santos, O. A. L., Backx, B. P., Soran, M.-L., Oprea, O., Lung, I., Stegarescu, A., & Bououdina, M. (2023). Biosynthesis of Nanoparticles Using Plant Extracts and Essential Oils. *Molecules*, 28(7), 3060. <https://doi.org/10.3390/molecules28073060>
- Aprilia, S., Shofiyatun, S., Fitriyah, I. J., & Erlangga, S. Y. (2024). Green synthesis nanopartikel perak-gelatin dengan ekstrak limbah kulit Manihot esculenta untuk aplikasi Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS). *International Journal of Science, Technology and Applications*, 2(1), 47–56. <https://doi.org/10.70115/ijsta.v2i1.224>
- Apriyani, N. (2016). Pengaruh waktu ekstraksi dan volume ekstrak daun sirih (*Piper betle* L.) pada fotoreduksi ion Ag(I) dalam limbah fotografi. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 1(1), 6–10.
- Ariyanta, H. A. (2016). Preparasi nanopartikel perak dengan metode reduksi dan aplikasinya sebagai antibakteri penyebab luka infeksi. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 10(1), 36–42. <https://doi.org/10.30597/mkmi.v10i1.477>
- Ata, O., Bozdogan, N., Mataraci, C. E., Kumcuoglu, S., Kaya Bayram, S., & Tavman, S. (2025). Extraction and characterization of valuable compounds from chicken sternal cartilage: Type II collagen and chondroitin sulfate. *Food Chemistry*, 462, 141023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141023>
- Azam, M. A., & Mupit, M. (2022). Carbon nanomaterial-based sensor: Synthesis and characterization. In *Carbon Nanomaterials-Based Sensors: Emerging Research Trends in Devices and Applications* (pp. 15–28). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91174-0.00015-9>
- Aziz, D. F., Suhartana, S., & Sriyanti, S. (2021). Aplikasi ligan NH<sub>3</sub> dan fenantrolin pada pembentukan kompleks kobalt sebagai atom pusat: Alternatif dekoncentrasi kobalt dalam air limbah. *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 1(2), 56–61. <https://doi.org/10.14710/gjec.2021.12878>
- Badi'ah, H. I., Seede, F., Supriyanto, G., & Zaidan, A. H. (2019). Synthesis of silver nanoparticles and the development in analysis method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 217(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/217/1/012005>
- Baig, N. (2023). Two-dimensional nanomaterials: A critical review of recent progress, properties, applications, and future directions. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 165, 107362. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2022.107362>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- Bruna, T., Maldonado-Bravo, F., Jara, P., & Caro, N. (2021). Silver Nanoparticles and Their Antibacterial Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 7202. <https://doi.org/10.3390/ijms22137202>
- Budhathoki, S., Chaudhary, N., Guragain, B., Baral, D., Adhikari, J., & Chaudhar, N. K. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles from *Brassaiopsis hainla* extract for the evaluation of antibacterial and anticorrosion properties. *Heliyon*, 10(15), e35642. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35642>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. G., & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-ray diffraction: Instrumentation and applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>

- Burlec, A. F., Corciova, A., Boev, M., Batir-Marin, D., Mircea, C., Cioanca, O., Danila, G., Danila, M., Bucur, A. F., & Hancianu, M. (2023). Current Overview of Metal Nanoparticles' Synthesis, Characterization, and Biomedical Applications, with a Focus on Silver and Gold Nanoparticles. *Pharmaceuticals*, 16(10), 1410. <https://doi.org/10.3390/ph16101410>
- Cardoso, V. S., Quelemes, P. V., Amorin, A., Abreu, F. R., Alves, C. N., & de Souza, A. G. (2014). Collagen-based silver nanoparticles for biological applications: Synthesis and characterization. *Journal of Nanobiotechnology*, 12, 36. <https://doi.org/10.1186/s12951-014-0036-6>
- Chandrasekaran, Y., Jagadeeswari, S., Manickam Dakshinamoorthi, B., Sri, D. R., & Sharma, B. K. (2024). Scaling new depths: Innovations in fish collagen extraction and biomedical frontiers explored. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 21(2), 475–490. <https://doi.org/10.13005/bbra/3240>
- Chen, J., Huang, H., Wu, Z., Ye, X., Tang, Y., Zhou, J., & Shi, B. (2025). Innovative sulfhydryl and ZIF-7-NH<sub>2</sub> functionalized leather collagen fibers for selective and efficient removal of Hg(II). *Process Safety and Environmental Protection*, 198, 107233. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107233>
- Chinh, D. V., Luong, T. N., Hoang, T. A., Nguyen, V. B., Nguyen, P. M., Pham, Q. P., Tran, N. M., & Vo, D. V. N. (2019). Characterization of Collagen Derived From Tropical Freshwater Carp Fish Scale Wastes and Its Amino Acid Sequence. *Journal of Food Quality*, 2019, 1–11. <https://doi.org/10.1177/1934578X19866288>
- Chinh, D. V., & Hoang, T. A. (2024). Review: Fish collagen: Extraction, characterization and application in wound healing and drug delivery. *Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/19438>
- Choi, J. S., Jung, H. C., Baek, Y. J., Kim, B. Y., Lee, M. W., Kim, H. D., & Kim, S. W. (2021). Antibacterial Activity of Green-Synthesized Silver Nanoparticles Using *Areca catechu* Extract against Antibiotic-Resistant Bacteria. *Nanomaterials*, 11(1), 205. <https://doi.org/10.3390/nano11010205>
- Chugh, D., Viswamalya, V. S., & Das, B. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles with algae and the importance of capping agents in the process. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 126. <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00228-w>
- Costa-Fernandez, J. M., Redondo-Fernandez, G., Fernandez-Arguelles, M. T., & Soldado, A. B. (2022). Analytical tools for the characterization and quantification of metal nanoclusters. In *Luminescent Metal Nanoclusters: Synthesis, Characterization, and Applications* (pp. 57–88). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88657-4.00010-7>
- Daskar, M. S., Rosdiana, A., & Herawati, E. (2022). Formulasi Dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Daun Senggani (*Melastoma malabathricum* L.) Pada Berbagai Variasi Komposisi Kitosan Dengan Metode Gelasi Ionik. *Jurnal Farmasi Aisyiyah*, 4(2), 159–168.
- Daskar, A., Utami, P. I., Astuti, I. Y., & Antoni, F. (2024). Formulasi dan karakterisasi nanopartikel ekstrak daun senggani (*Melastoma malabathricum* L.) pada berbagai variasi komposisi kitosan dengan metode gelasi ionik. *Jurnal Farmasi*, 3(2).
- Devatha, C. P., & Thalla, A. K. (2018). Green Synthesis of Nanomaterials. In *Synthesis of Inorganic Nanomaterials: Advances and Key Technologies* (pp. 169–184). Micro and Nano Technologies. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101975-7.00007-5>
- Dewi, I. C., Falaise, C., Hellio, C., Bourgougnon, N., & Mouget, J.-L. (2018). Anticancer, Antiviral, Antibacterial, and Antifungal Properties in Microalgae. In *Microalgae in*

- Health and Disease Prevention* (pp. 235–261). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00012-8>
- Dinata, A. A., Rosyadi, A. M., Hamid, S., & Zainul, R. (2018, October). A Review CHEMICAL VAPOR DEPOSITION: PROCESS AND APPLICATION. OSF. <https://doi.org/10.31227/osf.io/yfeau>
- Elias, K. S., Sarip, M., Rosly, N. S., Hamidon, M. N., & Rahman, S. A. A. (2017). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(3), 032019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032019>
- Fadillah, I. (2020). Kajian Literatur Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Reduktor Kimia dan Biologi serta Uji Aktivitas Antibakteri. *Journal Riset Farmasi*, 1(2), 141–152. <https://doi.org/10.29313/jrf.v1i2.569>
- Fahim, M., Shahzaib, A., Nishat, N., & Inam, A. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles: A review of plant-based methods, influencing factors, and biomedical applications. *JCIS Open*, 13, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jciso.2024.100125>
- Fajri, N., Putri, L. F. A., Prasetyo, M. R., Azizah, N., Pratama, Y., & Susanto, N. C. A. (2022). Potensi batang pisang (*Musa paradisiaca*) sebagai bioreduktor dalam green sintesis Ag nanopartikel. *Jurnal Penelitian Sains*, 24(1), 33–37. <https://doi.org/10.56064/jps.v24i1.668>
- Famia, A. M., & Muldarisnur. (2019). Pengaruh Temperatur Sintesis Hidrotermal Terhadap Diameter Nanopartikel Seng Oksida. *Jurnal Fisika Unand*, 8(2), 127–130.
- Faramarzi, B., Moggio, M., Diano, N., Portaccio, M., & Lepore, M. (2023). A brief review of FT-IR spectroscopy studies of sphingolipids in human cells. *Biophysica*, 3(1), 158–180. <https://doi.org/10.3390/biophysica3010011>
- Farida, N., Purbowati, R., Karimah, N., Rozafia, A. I., Utomo, W. P., Susilo, I., Chung, H. Y., Rosyidah, A., Soeprijanto, A., & Hartanto, D. (2025). Marine collagen-driven synthesis of one-dimensional silver nanoparticles. *Materials Letters*, 397, 138822. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2025.138822>
- Fernando, S., Gunasekara, T., & Holton, J. (2018). Antimicrobial nanoparticles: Applications and mechanisms of action. *Sri Lankan Journal of Infectious Diseases*, 8(1), 2–12. <https://doi.org/10.4038/sljid.v8i1.8167>
- Gallo, N., Sannino, A., & Madaghiele, M. (2022). Aquaponics-Derived Tilapia Skin Collagen for Biomaterials Development. *Polymers*, 14(9), 1865. <https://doi.org/10.3390/polym14091865>
- Gong, Y., Chen, X., & Wu, W. (2024). Application of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy in sample preparation: Material characterization and mechanism investigation. *Advances in Sample Preparation*, 11, 100122. <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2024.100122>
- Guzmán, K., Kumar, B., Grijalva, M., Debut, A., & Cumbal, L. (2022). Ascorbic acid-assisted green synthesis of silver nanoparticles: pH and stability study. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107202>
- Hafiz, M., Hassanein, A., Talhami, M., AL-Ejji, M., Hassan, M. K., & Hawari, A. H. (2022). Magnetic nanoparticles draw solution for forward osmosis: Current status and future challenges in wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6), 108955. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108955>
- Handoko, V., Yusradinan, A., Nursyahid, A., Wandira, A., & Wulandari, A. P. (2022). Green synthesis nanopartikel perak dengan bioreduktor ekstrak daun rami (*Boehmeria nivea*) melalui iradiasi microwave. *Chimica et Natura Acta*, 10(1), 15–21. <https://doi.org/10.24198/cna.v10.n1.35755>

- Hasan, S. (2015). A review on nanoparticles: their synthesis and types. *Research Journal of Recent Sciences*, 4(ISC-4), 2502–2507
- Hasibuan, F. M. S., Dalimunthe, G. I., Lubis, M. S., & Rani, Z. (2025). The preparation of nanoextract from kasturi orange peel (*Citrus microcarpa*) and its formulation as toothpaste. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 8(1), 32–41. <https://doi.org/10.36490/journal-jps.com>
- Hayat, M. A., Chen, Y., Bevilacqua, M., Li, L., & Yang, Y. (2022). Characteristics and potential applications of nano-enhanced phase change materials: A critical review on recent developments. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 50, 101799. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101799>
- Huang, Y.-J., Chen, H.-T., Ann, S.-B., & Lee, C.-P. (2020). Structural engineering on Pt-free electrocatalysts for dye-sensitized solar cells. In M. Aliofkhazraei (Ed.), *Nanostructures*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85307>
- How, Y. Y., Numan, A., Mustafa, M. N., Walvekar, R., Khalid, M., & Mubarak, N. M. (2022). A review on the binder-free electrode fabrication for electrochemical energy storage devices. *Journal of Energy Storage*, 51, 104324. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104324>
- Hussain, R., Noyan, M. A., Woyessa, G., Marín, R. R. R., Martinez, P. A., Mahdi, F. M., Finazzi, V., Hazlehurst, T. A., Hunter, T. N., Coll, T., Stintz, M., Muller, F., Chalkias, G., & Pruneri, V. (2020). An ultra-compact particle size analyser using a CMOS image sensor and machine learning. *Light: Science & Applications*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41377-020-0255-6>
- Ilangovan, R., Subha, V., Ravindran, R. S. E., Kirubanandan, S., & Renganathan, S. (2021). Nanomaterials: Synthesis, physicochemical characterization, and biopharmaceutical applications. In *Nanoscale Processing* (pp. 33–70). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820569-3.00002-5>
- Indah, Asri, M., Auliah, N., & Ashari, A. T. (2020). Sintesis nanopartikel perak dengan air rebusan daun pegagan (*Centella asiatica* L.) dan uji aktivitas dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Farmasi Media*, 3(2), 71–77.
- Indiarto, R., Indriana, L. P. A., Andoyo, R., Subroto, E., & Nurhadi, B. (2022). Bottom-up nanoparticle synthesis: A review of techniques, polyphenol-based core materials, and their properties. *European Food Research and Technology*, 248(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03867-y>
- Izak-Nau, E., Huk, A., Reidy, B., Uggerud, H., Vadset, M., Eiden, S., Voetz, M., Himly, M., Duschl, A., Dusinska, M., & Lynch, I. (2016). Impact of storage conditions and storage time on silver nanoparticles' physicochemical properties and implications for their biological effects. *RSC Advances*, 6(6), 4482–4492. <https://doi.org/10.1039/C5RA10187E>
- Jayaprakash, S., Abdul Razeen, Z. M., Kumar, R. N., He, J., Milky, M. G., Renuka, R., & Sanskrithi, M. V. (2024). Enriched characteristics of poultry collagen over other sources of collagen and its extraction methods: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 273(Part 1), 133004. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133004>
- Jayapriya, M., Dharumadurai, D., Arulmozhi, M., & Sureshkumar, K. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles using *Piper longum* catkin extract irradiated by sunlight: antibacterial and catalytic activity. *Research on Chemical Intermediates*, 45(23), 5645–5662. <https://doi.org/10.1007/s11164-019-03812-5>
- Ji, H., Zhou, S., Fu, Y., Wang, Y., Mi, J., Lu, T., Wang, X., & Lü, C. (2020). Size-controllable preparation and antibacterial mechanism of thermo-responsive copolymer-stabilized

- silver nanoparticles with high antimicrobial activity. *Materials Science and Engineering: C*, 110, 110735. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110735>
- Kadeřábková, N., Mahmood, A. J. S., & Mavridou, D. A. I. (2024). Antibiotic susceptibility testing using minimum inhibitory concentration (MIC) assays. *npj Antimicrobials and Resistance*, 2, Article 37. <https://doi.org/10.1038/s44259-024-00051-6>
- Kassem Agha, M., Maatouk, B., Mhanna, R., & El-Dakdouki, M. H. (2024). Catalytic degradation efficacy of silver nanoparticles fabricated using *Actinidia deliciosa* peel extract. *Journal of Nanomaterials*, 2024(1), 8813109. <https://doi.org/10.1155/2024/8813109>
- Kate, R. S., Khalate, S. A., & Deokate, R. J. (2018). Overview of nanostructured metal oxides and pure nickel oxide (NiO) electrodes for supercapacitors: A review. *Journal of Alloys and Compounds*, 734, 89–111. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.10.262>
- Khan, S., Rukayadi, Y., Jaafar, A. H., & Ahmad, N. H. (2023). Antibacterial potential of silver nanoparticles (SP-AgNPs) synthesized from *Syzygium polyanthum* (Wight) Walp. against selected foodborne pathogens. *Heliyon*, 9(12), e22771. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22771>
- Khatoun, U. T., Velidandi, A., & Rao, G. V. S. N. (2023). Sodium borohydride mediated synthesis of nano-sized silver particles: Their characterization, anti-microbial and cytotoxicity studies. *Materials Chemistry and Physics*, 294, 126997. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126997>
- Kombongkila, O., Taunaumang, H., & Tumimomor, F. (2024). Analisis struktur film tipis disperse orange-3 hasil FTIR. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 5(1), 45–50.
- Kosimaningrum, W. E., Pitaloka, A. B., Hidayat, A. S., Aisyah, W., Ramadhan, S., & Rosyid, M. A. (2020). Sintesis nanopartikel perak melalui reduksi spontan menggunakan reduktor alami ekstrak kulit lemon serta karakterisasinya sebagai antifungi dan antibakteri. *Jurnal Integrasi Proses*, 9(2), 34–43.
- Kumari, S., Raturi, S., Kulshrestha, S., Chauhan, K., Dhingra, S., András, K., Thu, K., Khargotra, R., & Singh, T. (2023). A comprehensive review on various techniques used for synthesizing nanoparticles. *Journal of Materials Research and Technology*, 26, 8663–8687. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.291>
- Kundariya, N., Mohanty, S. S., Varjani, S., Ngo, H. H., Wong, J. W. C., Taherzadeh, M. J., Chang, J.-S., Ng, H. Y., Kim, S.-H., & Bui, X.-T. (2021). A review on integrated approaches for municipal solid waste for environmental and economical relevance: Monitoring tools, technologies, and strategic innovations. *Bioresource Technology*, 342, 125982. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125982>
- Kustomo. (2020). Uji karakterisasi dan mapping magnetit nanopartikel terlapis asam humat dengan Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3).
- Laasri, I., Bakkali, M., Mejias, L., & Laglaoui, A. (2023). Marine collagen: Unveiling the blue resource-extraction techniques and multifaceted applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(Part 6), 127253. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127253>
- Lahmar, A., Rejeb, M., Fairouz, S., Ghedira, H., Mzoughi, Z., Majdoub, H., & Chekir-Ghedira, L. (2022). Design of 3D hybrid plant extract/marine and bovine collagen matrixes as potential dermal scaffolds for skin wound healing. *The Scientific World Journal*, 2022, Article ID 8788061, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2022/8788061>
- Lestari, G. A. D., Ratnasari, P. M. D., & Sibarani, J. (2022). Aplikasi antibakteri nanopartikel perak (NPAg) hasil biosintesis dengan ekstrak air daun kemangi: Application of antibacterial from silver nanoparticles (AgNPs) biosynthesis with basil leaf extract.

- Lin, P., Hua, N., Hsu, Y. C., Kan, K. W., Chen, J. H., Lin, Y. H., Lin, Y. H., & Kuan, C. M. (2020). Oral Collagen Drink for Antiaging: Antioxidation, Facilitation of the Increase of Collagen Synthesis, and Improvement of Protein Folding and DNA Repair in Human Skin Fibroblasts. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*.  
<https://doi.org/10.1155/2020/8031795>
- Liu, M., Liu, Z., Li, S., Yu, W., Cao, J., & Wan, N. (2021). Study on Size Distribution and Flow Characteristics of Condensed Products in Solid Rocket Motor. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2021, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/5481436>
- Liu, Y. S., Chang, Y. C., & Chen, H. H. (2018). Silver nanoparticle biosynthesis by using phenolic acids in rice husk extract as reducing agents and dispersants. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(2), 649–656. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.07.005>
- Luthfia, C. D. M., Miswanda, D., Nasution, H. M., & Lubis, M. S. (2024). Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun bidara (*Ziziphus spina-christi*) dan uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. *OBAT: Jurnal Riset Ilmu Farmasi dan Kesehatan*, 2(1), 139–149. <https://doi.org/10.61132/obat.v2i1.168>
- Maarebia, R. Z., Wahab, A. W., & Taba, P. (2019). Synthesis and characterization of silver nanoparticles using water extract of Sarang Semut (*Myrmecodia pendans*) for blood glucose sensors. *Jurnal Akta Kimia Indonesia (Indonesia Chimica Acta)*, 12(1), 29. <https://doi.org/10.20956/ica.v12i1.5881>
- Mardiyah, U., Jamil, S. N. A., & Sandra, L. (2022). Karakterisasi mikrostruktur dan komposisi unsur gelatin ikan kurisi (*Nemipterus bathybius*) menggunakan Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). *Journal of Fisheries and Marine Research*, 6(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2022.006.02.3>
- Martins, P. C., Latorres, J. M., & Martins, V. G. (2022). Impact of starch nanocrystals on the physicochemical, thermal and structural characteristics of starch-based films. *LWT*, 156, 113041. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113041>
- Masakke, Y., Sulfikar, & Rasyid, M. (2015). Biosintesis partikel-nano perak menggunakan ekstrak metanol daun manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 4(1). <https://doi.org/10.35580/sainsmat4i12862015>
- Mathew-Steiner, S. S., Roy, S., & Sen, C. K. (2021). Collagen in Wound Healing. *Bioengineering*, 8(5), 63. <https://doi.org/10.3390/bioengineering8050063>
- Melkamu, W. W., & Bitew, L. T. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using *Hagenia abyssinica* (Bruce) J.F. Gmel plant leaf extract and their antibacterial and anti-oxidant activities. *Heliyon*, 7(11), e08459. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08459>
- Mikhailova, E. O. (2025). Green silver nanoparticles: An antibacterial mechanism. *Antibiotics*, 14(1), 5. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14010005>
- Muchaamba, F., & Stephan, R. (2024). A comprehensive methodology for microbial strain typing using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. *Methods and Protocols*, 7(3), 48. <https://doi.org/10.3390/mps7030048>
- Mudhafar, M., Zainol, I., Alsailawi, H. A., & Jaafar, C. N. A. (2021). Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Neem and Collagen of Fish Scales as a Reducing and Stabilizer Agents. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 14(5), 899–903. <https://doi.org/10.54319/jjbs/140503>
- Mudhafar, M., Zainol, I., Ameer, A. A. J., Hassan, M. Z., et al. (2024). The effect of fish collagen on the silver nanoparticles sizes and shapes using modified microwave-assisted green synthesis method and their antibacterial activities. *Heliyon*, 10(12), e32837. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32837>

- Murugan, K., Subramaniam, J., Rajaganesh, R., & others. (2021). Efficacy and side effects of bio-fabricated sardine fish scale silver nanoparticles against malarial vector *Anopheles stephensi*. *Scientific Reports*, 11, 19567. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98899-5>
- Muthukumaran, T. (2016). *Investigation of multiferroic and photocatalytic properties of Li doped BiFeO<sub>3</sub> nanoparticles prepared by ultrasonication* (Master's thesis). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23988.76166>
- Naderi-Samani, E., Razavi, R. S., Nekouee, K., & Naderi-Samani, H. (2023). Synthesis of silver nanoparticles for use in conductive inks by chemical reduction method. *Heliyon*, 9(10), e20548. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20548>
- Nakanishi, M., Chan, K., & Zinchenko, A. (2025). Upcycling of waste PET fibers and fabrics via surface engineering: Surface aminolysis-assisted functionalization with catalytic nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 511, 161839. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.161839>
- Nalawati, A. N., Suyatma, N. E., & Wardhana, D. I. (2021). Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) dengan Bioreduktor Ekstrak Biji Jarak Pagar dan Kajian Aktivitas Antibakterinya. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 32(2), 98–108. <https://doi.org/10.6066/jtip.2021.32.2.98>
- Nandhini, J., Karthikeyan, E., Elizabeth Rani, E., Karthikha, V. S., Sakthi Sanjana, D., Jeevitha, H., Rajeshkumar, S., Venugopal, V., & Priyadharshan, A. (2024). Advancing engineered approaches for sustainable wound regeneration and repair: Harnessing the potential of green synthesized silver nanoparticles. *Engineered Regeneration*, 5(3), 306–325. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2024.06.004>
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2023). Interpretation of Fourier Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic Thermal Decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.17509/ijost.v8i1.53297>
- Nining, N. (2020). Pemanfaatan kolagen laut dalam sistem penghantaran obat. *Majalah Farmasetika*, 5(5), 245–256. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v5i5.28866>
- Nguyen, N. P. U., Dang, N. T., Doan, L., & Nguyen, T. T. H. (2023). Synthesis of Silver Nanoparticles: From Conventional to 'Modern' Methods—A Review. *Processes*, 11(9), 2617. <https://doi.org/10.3390/pr11092617>
- Nurhayati, L. S., Yahdiyani, N., & Hidayatulloh, A. (2020). Perbandingan pengujian aktivitas antibakteri starter yogurt dengan metode difusi sumuran dan metode difusi cakram. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 1(2), 41–46. <https://doi.org/10.24198/jthp.v1i2.27537>
- Oktavia, I. N., & Sutoyo, S. (2021). Sintesis nanopartikel perak menggunakan bioreduktor ekstrak tumbuhan sebagai bahan antioksidan. *UNESA Journal of Chemistry*, 10(1), 37. <https://doi.org/10.1234/unesa.chem.2021.037>
- Osés, S. M., Pascual-Maté, A., de la Fuente, D., de Pablo, A., Fernández-Muiño, M. A., & Sancho, M. T. (2016). Comparison of methods to determine antibacterial activity of honeys against *Staphylococcus aureus*. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 78(1), 29–33. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2015.12.005>
- Parmar, M., & Sanyal, M. (2022). Extensive study on plant mediated green synthesis of metal nanoparticles and their application for degradation of cationic and anionic dyes. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17, 100624. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100624>
- Pérez-Marroquín, X. A., Aguirre-Cruz, G., Campos-Lozada, G., Callejas-Quijada, G., León-López, A., Campos-Montiel, R. G., García-Hernández, L., Méndez-Albores, A., Vázquez-Durán, A., & Aguirre-Álvarez, G. (2022). Green synthesis of silver

- nanoparticles for preparation of gelatin films with antimicrobial activity. *Polymers*, 14(17), 3453. <https://doi.org/10.3390/polym14173453>
- Prasad, A. R., Williams, L., Garvasis, J., Shamsheera, K. O., Basheer, S. M., Kuruvilla, M., & Joseph, A. (2021). Applications of phytogenic ZnO nanoparticles: A review on recent advancements. *Journal of Molecular Liquids*, 331, 115805. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115805>
- Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., & Wardani, S. (2018). Sintesis nanopartikel perak dengan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) sebagai antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 108–114.
- Prasetyaningtyas, T., Prasetya, A. T., & Widiarti, N. (2020). Sintesis nanopartikel perak termodifikasi kitosan dengan bioreduktor ekstrak daun kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan uji aktivitasnya sebagai antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(1), 58–65.
- Prinanda, R., & Wulandari, S. (2022). Aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun jeruk purut (*Cytrus hystrix*) terhadap bakteri *Salmonella typhi*. *Edunaturalia: Jurnal Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam*, 3(2), 162–169. <https://doi.org/10.26418/edunaturalia.v3i2.59475>
- Prusty, J. S. (2022). Antifungal discovery from plant sources. In *Phytoconstituents and Antifungals: Developments in Applied Microbiology and Biotechnology* (pp. 15–33). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91792-6.00007-8>
- Pinheiro, L. D. S. M., Sangoi, G. G., Vizzotto, B. S., Ruiz, Y. P. M., Galembeck, A., Pavoski, G., Espinosa, D. C. R., Machado, A. K., & da Silva, W. L. (2024). Silver nanoparticles from ascorbic acid: Biosynthesis, characterization, in vitro safety profile, antimicrobial activity, and phytotoxicity. *Materials Chemistry and Physics*, 325, 129715. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.129715>
- Purbowati, R., Kirana, O. S. S., Rozafia, A. I., Utomo, W. P., Rosyidah, A., Taufikurohmah, T., Syahrani, A., & Hartanto, D. (2024). Green synthesis of one-dimensional silver nanoparticles using *Quercus infectoria* gall extract. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100728. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100728>
- Putri, L. E. (2018). Penentuan Konsentrasi Senyawa Berwarna KMnO<sub>4</sub> Dengan Metoda Spektroskopi UV Visible. *Natural Science: Jurnal Penelitian Bidang IPA dan Pendidikan IPA*, 3(1), 22–32. <https://doi.org/10.15548/nsc.v3i1.423>
- Qu, L., & Ran, S.-Y. (2025). On the influence of capping agents in DNA-templated silver nanoparticle (AgNP) formation kinetics: A single-molecule approach. *International Journal of Biological Macromolecules*, 303, 140565. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140565>
- Ragothaman, M., Villalan, A. K., Dhanasekaran, A., & Palanisamy, T. (2021). Bio-hybrid hydrogel comprising collagen-capped silver nanoparticles and melatonin for accelerated tissue regeneration in skin defects. *Materials Science and Engineering: C*, 128, 112328. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112328>
- Rahayuningsih, S. R., Patimah, S. S., Mayanti, T., & Rustama, M. M. (2023). Aktivitas Antibakteri Ekstrak n-Heksana Daun Mangrove (*Rhizospora stylosa* Griff) Terhadap Bakteri Patogen Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Marine Research*, 12(1), 1–6. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.35657>
- Rahman, V. R., Bratadiredja, M. A., & Saptarini, N. M. (2021). Potensi kolagen sebagai bahan aktif sediaan farmasi. *Majalah Farmasetika*, 6(3), 253–286. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i3.33621>
- Rajeshkumar, S., & Bharath, L. V. (2017). Mechanism of plant-mediated synthesis of silver nanoparticles – A review on biomolecules involved, characterisation and antibacterial

- activity. *Chemico-Biological Interactions*, 273, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.06.019>
- Rani, S. R. A. (2022). Studi analisis data difraksi sinar-x pada material zircon pasir alam melalui metode Rietveld. *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 9(1), 16–22. <https://doi.org/10.24252/jft.v9i1.25470>
- Rantih, N. K., Mulyani, S., & Widhiyanti, T. (2019). An analyses of multiple representation about intermolecular forces. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(4), 042029. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/4/042029>
- Rathod, D., Golinska, P., Wypij, M., Dahm, H., & Rai, M. (2016). A new report of *Nocardiosis valliformis* strain OT1 from alkaline Lonar crater of India and its use in synthesis of silver nanoparticles with special reference to evaluation of antibacterial activity and cytotoxicity. *Medical Microbiology and Immunology*, 205(5), 435–447. <https://doi.org/10.1007/s00430-016-0462-1>
- Ravi, A. K., Muthukrishnan, S., Gunasankaran, G., Arumugam, V. A., Shanmugam, V., Sakthivel, K. M., Pushpam, M. A., & Kaliyaperumal, A. (2024). Biosynthesis of chitosan encapsulated silver-nanoparticles using *Probiotic-Lactobacillus plantarum* strain and its in vitro anticancer assessment on HeLa cells. *Medicine in Microecology*, 22, 100117. <https://doi.org/10.1016/j.medmic.2024.100117>
- Rengga, W. D. P., Putri, K. D., & Pratiwi, H. K. (2017). Synthesis of silver nanoparticles from silver nitrate solution using green tea extract (*Camelia sinensis*) as bioreductor. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 6(1), 32–38. <https://doi.org/10.15294/jbat.v6i1.6628>
- Ricardo, S. B., dkk. (2024). Potensi kolagen ikan terhadap penyembuhan soket pasca pencabutan gigi. *Dentino Jurnal Kedokteran Gigi*, 9(1), 1–7.
- Ristian, I., Wahyuni, S., & Supardi, K. I. (2014). Kajian pengaruh konsentrasi perak nitrat terhadap ukuran partikel pada sintesis nanopartikel perak. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(1), 1–6.
- Roy, S., Aastha, Deo, K. A., Dey, K., Gaharwar, A. K., & Jaiswal, A. (2023). Nanobio Interface Between Proteins and 2D Nanomaterials. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(30), 35753–35787. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c04582>
- Saini, B. S., & Kaur, R. (2021). X-ray diffraction. In *Handbook of Modern Coating Technologies: Advanced Characterization Methods* (pp. 85–141). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63239-5.00003-2>
- Safira, V. R. N., Perkasa, M. B., Fitrilawati, F., & Syakir, N. (2024). Perbandingan Pendekatan Fungsi Gauss dan Fungsi Lorentz pada Dekomposisi Pola XRD Oksida Grafena dan Oksida Grafena Tereduksi. *Jurnal Material dan Energi*, 12(1). <https://doi.org/10.24198/jme.v12i01.43250>
- Safirah, A., Rismawati, A., Alauhdin, M., & Wardani, S. (2025). Synthesis and characterization of silver nanoparticles-chitosan beads as antibacterial agents. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 28(1), 47–52. <https://doi.org/10.14710/jksa.28.1.47-52>
- Salthouse, D., Goulding, P. D., Reay, S. L., Jackson, E. L., Xu, C., Ahmed, R., Mearns-Spragg, A., Novakovic, K., Hilken, C. M. U., & Ferreira, A. M. (2024). Aminereactive crosslinking enhances type 0 collagen hydrogel properties for regenerative medicine. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1391728. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1391728>
- Salvatore, L., Gallo, N., Natali, M. L., Campa, L., Lunetti, P., Madaghiele, M., Blasi, F. S., Corallo, A., Capobianco, L., & Sannino, A. (2020). Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bio-resources for healthcare. *Materials Science and Engineering: C*, 113, 110963. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110963>

- Samykan, M. (2021). Progress in one-dimensional nanostructures. *Materials Characterization*, 179, 111373. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2021.111373>
- Sanjiwani, N. M. S., Paramitha, D. A. I., Wibawa, A. A. C., Ariawan, I. M. D., Megawati, F., Dewi, N. W. T., Mariati, N. P. A. M., & Sudiarsa, I. W. (2020). Pembuatan hair tonic berbahan dasar lidah buaya dan analisis dengan Fourier Transform Infrared. *Widyadari*, 21(1), 249–262.
- Santhanam, A., Sekar, V., & Kavitha, N. S. (2023). Facile synthesis and characterization of eco-friendly collagen based silver nanoparticles and its biological activities. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 11(4), 4214–4221. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.51252>
- Santos, J., Moschetta, M., Rodrigues, J., Alpuim, P., & Capasso, A. (2021). Interactions Between 2D Materials and Living Matter: A Review on Graphene and Hexagonal Boron Nitride Coatings. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 612669. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.612669>
- Sari, R., Arif, M. S., & Yusuf, B. (2022). Analisis dan karakterisasi nanopartikel perak (AgNPs) untuk mendeteksi kloramfenikol dengan metode kolorimetri [Analysis and characterization silver nanoparticles (AgNPs) for chloramphenicol detection with colorimetry method]. *Jurnal Atomik*, 7(2), 20–25.
- Sati, A., Ranade, T. N., Mali, S. N., Ahmad Yasin, H., & Pratap, A. (2025). Silver nanoparticles (AgNPs): Comprehensive insights into bio/synthesis, key influencing factors, multifaceted applications, and toxicity—A 2024 update. *ACS Omega*, 10(8), 7549–7582. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c11045>
- Savvidou, M. G., Kontari, E., Kalantzi, S., & Mamma, D. (2023). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using the Cell-Free Supernatant of *Haematococcus pluvialis* Culture. *Materials*, 17(1), 187. <https://doi.org/10.3390/ma17010187>
- Selvamani, V. (2019). Stability Studies on Nanomaterials Used in Drugs. In *Characterization and Biology of Nanomaterials for Drug Delivery: Nanoscience and Nanotechnology in Drug Delivery* (pp. 425–444). Micro and Nano Technologies. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814031-4.00015-5>
- Setiawan, M. P., Hindryawati, N., & Aziz, A. (2024). MINI REVIEW: SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL ZnO DAN APLIKASINYA SEBAGAI FOTOKATALIS. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL KIMIA* (Vol. 2, No. 2, pp. 84–90).
- Shahid, M., Sagadevan, S., Ahmed, W., Zhan, Y., & Opaprakasit, P. (2022). Metal oxides for optoelectronic and photonic applications: A general introduction. In *Metal Oxides for Optoelectronics and Optics-Based Medical Applications* (pp. 3–31). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85824-3.00006-3>
- Shahzadi, S., Fatima, S., Qurat ul ain, Shafiq, Z., & Janjua, M. R. S. A. (2025). A review on green synthesis of silver nanoparticles (SNPs) using plant extracts: A multifaceted approach in photocatalysis, environmental remediation, and biomedicine. *RSC Advances*, 15(5), 3858–3903. <https://doi.org/10.1039/d4ra07519f>
- Singhvi, G., Banerjee, S., & Khosa, A. (2018). Lyotropic liquid crystal nanoparticles: A novel improved lipidic drug delivery system. In *Organic Materials as Smart Nanocarriers for Drug Delivery* (pp. 471–517). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813663-8.00011-7>
- Sinha, T., Ahmaruzzaman, M., Sil, A. K., & Bhattacharjee, A. (2014). Biomimetic synthesis of silver nanoparticles using the fish scales of *Labeo rohita* and their application as catalysts for the reduction of aromatic nitro compounds. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular*

- Souza, I. D. L., Saez, V., & Mansur, C. R. E. (2023). Lipid nanoparticles containing coenzyme Q10 for topical applications: An overview of their characterization. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 230, 113491. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2023.113491>
- Sripriya, R., & Kumar, R. (2015). A novel enzymatic method for preparation and characterization of collagen film from swim bladder of fish Rohu (*Labeo rohita*). *Food and Nutrition Sciences*, 6(15), 1599–1606. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.615151>
- Sulistiyani, M., & Huda, N. (2018). Perbandingan metode transmisi dan reflektansi pada pengukuran polistirena menggunakan instrumentasi spektroskopi Fourier Transform Infra Red. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 195–198. <https://doi.org/10.15294/ijcs.v7i2.24158>
- Sulistiorini, M., Gusrizal, G., & Sapar, A. (2024). Synthesis and characterization of silver nanoparticles using bioreductant Andong leaf extract (*Cordyline fruticosa* (L) A. Chev.). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 27(5), 243–249. <https://doi.org/10.14710/jksa.27.5.243-249>
- Suryani, A. I., Pringgenies, D., & Setyati, W. A. (2024). Potensi antioksidan dan karakterisasi pada kolagen teripang (*Stichopus horrens*). *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(3), 499–506. <https://doi.org/10.14710/jkt.v27i3.23892>
- Sykes, J. E., & Rankin, S. C. (2014). Isolation and Identification of Aerobic and Anaerobic Bacteria. In *Canine and Feline Infectious Diseases* (pp. 17–28). <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-0795-3.00003-X>
- Szczyglewska, P., Feliczak-Guzik, A., & Nowak, I. (2023). Nanotechnology—General Aspects: A Chemical Reduction Approach to the Synthesis of Nanoparticles. *Molecules*, 28(13), 4932. <https://doi.org/10.3390/molecules28134932>
- Takallu, S., Kakian, F., Bazargani, A., Khorshidi, H., & Mirzaei, E. (2024). Development of antibacterial collagen membranes with optimal silver nanoparticle content for periodontal regeneration. *Scientific Reports*, 14, 7262. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-30089-6>
- Tamang, R., Mehata, A. K., Singh, V., Muthu, M. S., & Koch, B. (2025). Sustainable synthesis of *Camellia sinensis*-mediated silver nanoparticles (CsAgNP) and their anticancer mechanisms in breast cancer cells. *Biomaterials Advances*, 166, 214072. <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2024.214072>
- Tapa, F. L., Suryanto, E., & Momuat, L. I. (2019). Biosintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak empelur batang sagu baruk (*Arenga microcarpha*) dan aktivitas antioksidannya. *Chemistry Progress*, 9(1).
- Tawiah, B., Frimpong, C., & Seidu, R. K. (2023). Tribology of hybrid nanofiller/polymer nanocomposites. In *Tribology of Polymers, Polymer Composites, and Polymer Nanocomposites* (pp. 265–296). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90748-4.00008-X>
- Thakur, P., Sonawane, S. S., & Gongloves, C. (2023). Synthesis and characterization of nanofluids. In *Nanofluid Applications for Advanced Thermal Solutions* (pp. 21–41). <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15239-9.00002-3>
- Tiwari, M., Bangruwa, N., & Mishra, D. (2023). 0D, 1D, and 2D magnetic nanostructures: Classification and their applications in modern biosensors. *Talanta Open*, 8, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2023.100257>
- Toczek, J., Sadłocha, M., Major, K., & Stojko, R. (2022). Benefit of Silver and Gold Nanoparticles in Wound Healing Process after Endometrial Cancer Protocol. *Biomedicines*, 10(3), 679. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10030679>

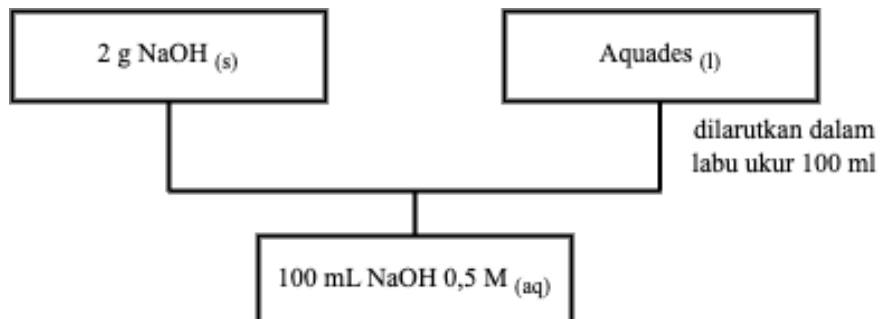
- Tong, M., Zhang, X., Zhong, J., Xie, Q., & Xiong, S. (2025). Sources and types of collagens used in the cosmetic industry. *Journal of Dermatologic Science and Cosmetic Technology*, 2(1), 100068. <https://doi.org/10.1016/j.jdsct.2025.100068>
- Tosun, N. G., & Özgür, A. (2024). Synthesis methods and characterization parameters of silver nanoparticles. In *Silver Nanoparticles for Drug Delivery* (pp. 39–65). <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15343-3.00005-X>
- Urnukhsaikhan, E., Bold, B. E., Gunbileg, A., et al. (2021). Antibacterial activity and characteristics of silver nanoparticles biosynthesized from *Carduus crispus*. *Scientific Reports*, 11, 21047. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00520-2>
- Unawahi, S., Widyasanti, A., & Rahimah, S. (2022). Ekstraksi antosianin bunga telang (*Clitoria ternatea* Linn) dengan metode ultrasonik menggunakan pelarut aquades dan asam asetat. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.01>
- Vijayakumar, S., Chen, J., González-Sánchez, Z. I., Tungare, K., Bhori, M., Shakila, H., Sruthi, K. S., Divya, M., Durán-Lara, E. F., Thandapani, G., & Anbu, P. (2024). Biomedical and ecosafety assessment of marine fish collagen capped silver nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 260(Part 1), 129324. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129324>
- Vadivelu, B., Meyyazhagan, A., Palanisamy, S., Arumugam, V. A., Kamyab, H., Balasubramanian, B., Chelliapan, S., & Yadav, K. K. (2020). Synthesis of silver nanoparticles from fish scale extract of *Cyprinus carpio* and its decolorization activity of textile dyes. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 8(3), 870–874.
- Vidya Sagar, P. S. R., Ramadevi, D., Basavaiah, K., & Botsa, S. M. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous leaf extract of *Saussurea obvallata* for efficient catalytic reduction of nitrophenol, antioxidant, and antibacterial activity. *Water Science and Engineering*, 17(3), 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.09.004>
- Velgosova, O., Mačák, L., Čižmarová, E., & Mára, V. (2022). Influence of Reagents on the Synthesis Process and Shape of Silver Nanoparticles. *Materials*, 15(19), 6829. <https://doi.org/10.3390/ma15196829>
- Venkatesham, M., Ayodhya, D., & Veerabhadram, G. (2014). A novel green one-step synthesis of silver nanoparticles using chitosan: catalytic activity and antimicrobial studies. *Applied Nanoscience*, 4(1), 113–119. <https://doi.org/10.1007/s13204-012-0180-y>
- Virji, M. A., & Stefaniak, A. B. (2014). A Review of Engineered Nanomaterial Manufacturing Processes and Associated Exposures. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering: Comprehensive Materials Processing* (Vol. 8, pp. 103–125). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00811-6>
- Wahyudi, T., Rosyidi, A., & Natajaya, L. (2011). Sintesis nanopartikel perak dan uji aktivitasnya terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. *Arena Tekstil*, 26(1). <https://doi.org/10.31266/at.v26i1.1442>
- Walker, M., & Parsons, D. (2014). The biological fate of silver ions following the use of silver-containing wound care products—A review. *International Wound Journal*, 11(5), 496–504. <https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2012.01115.x>
- Wang, Z., Hu, T., Liang, R., & Wei, M. (2020). Application of Zero-Dimensional Nanomaterials in Biosensing. *Frontiers in Chemistry*, 8, 320. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00320>
- Wei, L., Lu, J., Xu, H., Patel, A., Chen, Z. S., & Chen, G. (2015). Silver nanoparticles: synthesis, properties, and therapeutic applications. *Drug Discovery Today*, 20(5), 595–601. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2014.11.014>

- Xu, L., Wang, Y.-Y., Huang, J., Chen, C.-Y., Wang, Z.-X., Xie, H. (2020). Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. *Theranostics*, 10(20), 8996–9031. <https://doi.org/10.7150/thno.45413>
- Yang, L. (2015). Fundamentals of nanotechnology and orthopedic materials. In *Nanotechnology-Enhanced Orthopedic Materials: Fabrications, Applications and Future Trends* (pp. 1–25). Woodhead Publishing Series in Biomaterials. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-844-3.00001-X>
- Zhang, X.-F., Liu, Z.-G., Shen, W., & Gurunathan, S. (2016). Silver nanoparticles: Synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(9), 1534. <https://doi.org/10.3390/ijms17091534>
- Zhang, X., Xu, S., Shen, L., et al. (2020). Factors affecting thermal stability of collagen from the aspects of extraction, processing and modification. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2, 19. <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00033-0>
- Zheng, L., Tseomashko, N., Voronova, A., Vasil'kov, A., Hu, X., & Wang, X. (2024). Recent advances of collagen composite biomaterials for biomedical engineering: Antibacterial functionalization and 3D-printed architecturalization. *Collagen and Leather*, 6, Article 22. <https://doi.org/10.1186/s43552-024-00063-4>
- Zong, R., Wang, X., Shi, S., & Zhu, Y. (2014). Kinetically controlled seed-mediated growth of narrow dispersed silver nanoparticles up to 120 nm: secondary nucleation, size focusing, and Ostwald ripening. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16(9), 4256–4263. <https://doi.org/10.1039/C3CP54846E>

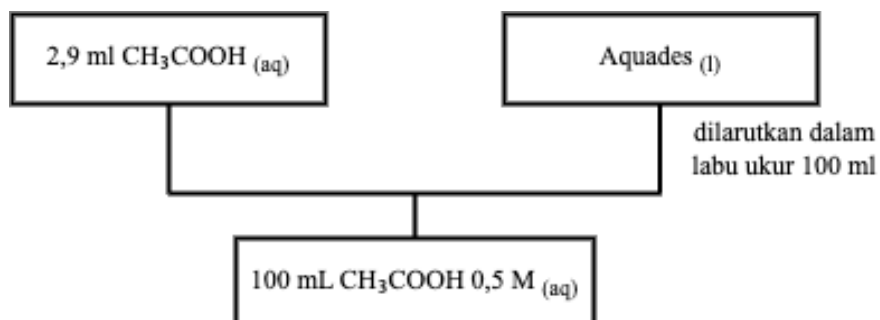
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Diagram Alir

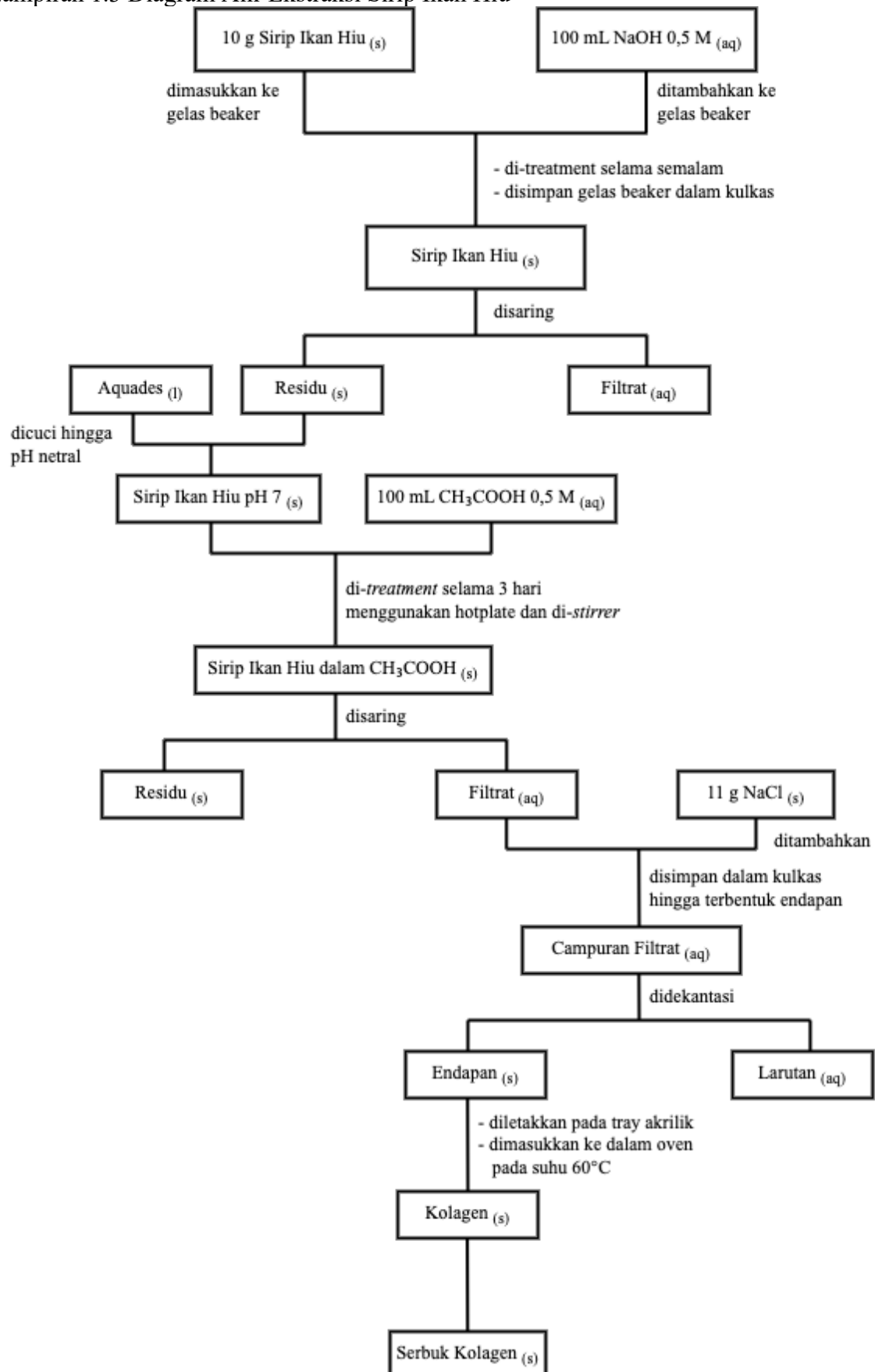
#### Lampiran 1.1 Diagram Alir Preparasi NaOH untuk Ekstraksi Sirip Ikan Hiu



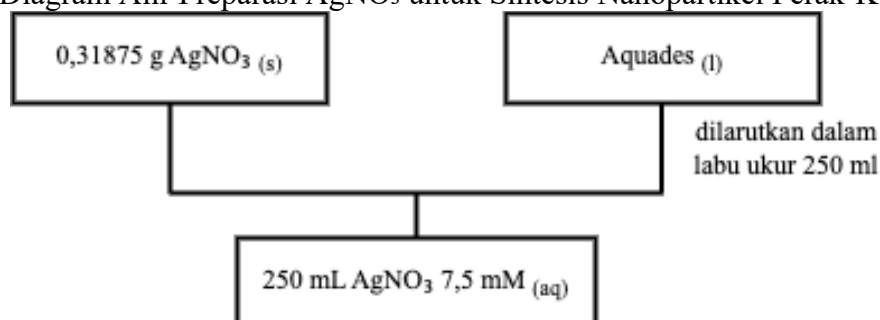
#### Lampiran 1.2 Diagram Alir Preparasi CH<sub>3</sub>COOH untuk Ekstraksi Sirip Ikan Hiu



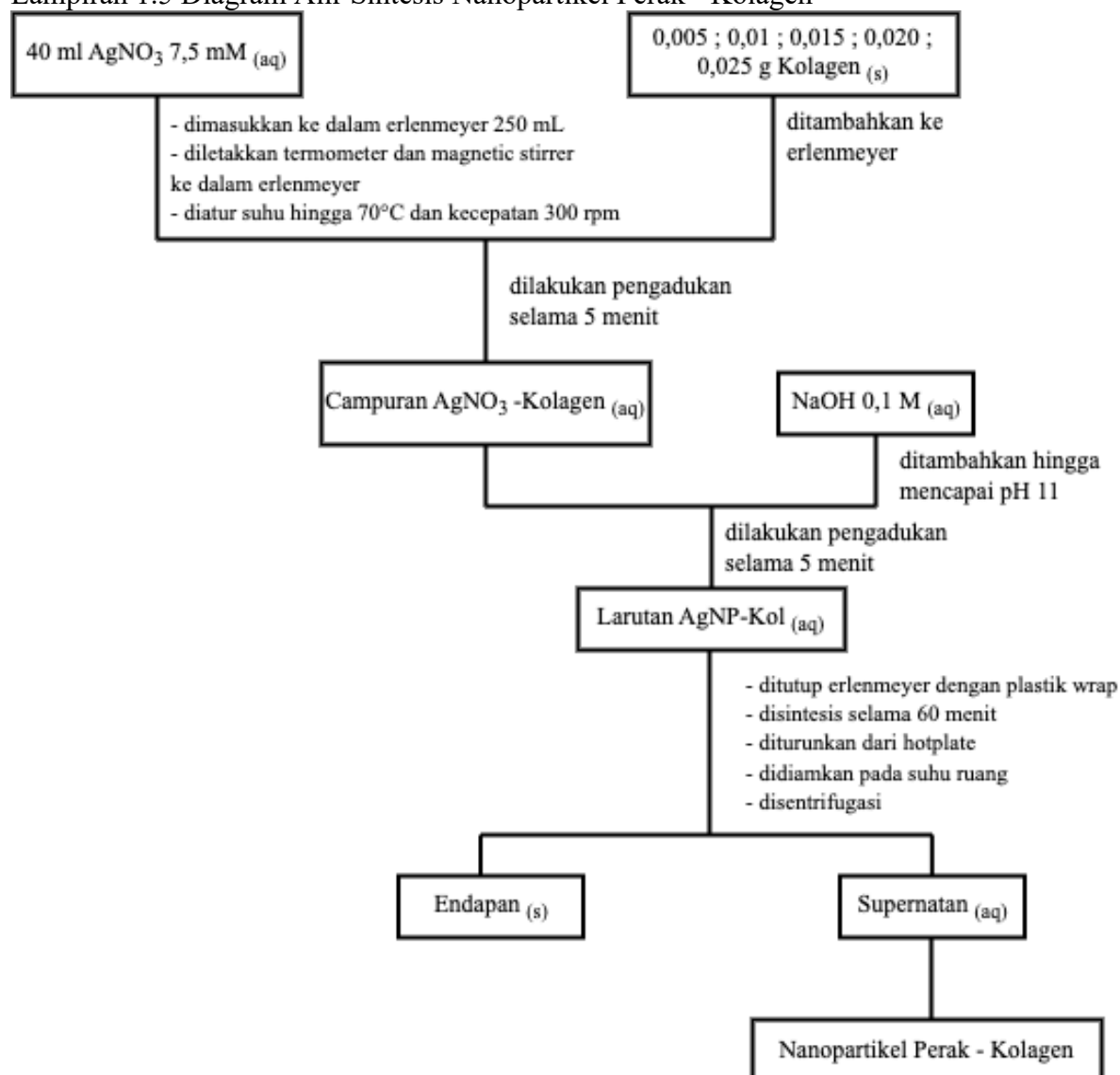
Lampiran 1.3 Diagram Alir Ekstraksi Sirip Ikan Hiu



Lampiran 1.4 Diagram Alir Preparasi  $\text{AgNO}_3$  untuk Sintesis Nanopartikel Perak-Kolagen



Lampiran 1.5 Diagram Alir Sintesis Nanopartikel Perak - Kolagen



## Lampiran 2. Perhitungan

### Lampiran 2.1 Perhitungan Pengenceran Larutan NaOH 0,5 M

Larutan NaOH 0,5 M sebanyak 100 mL

$$\begin{aligned}0,5 M &= \frac{m}{Mr NaOH} \times \frac{1000}{v} \\0,5 M &= \frac{m}{40} \times \frac{1000}{100} \\0,5 M &= \frac{1000 m}{4000} \\m &= 2 \text{ gram}\end{aligned}$$

### Lampiran 2.2 Perhitungan Pengenceran Larutan CH<sub>3</sub>COOH 0,5 M

Larutan CH<sub>3</sub>COOH 100%

$$\begin{aligned}M &= \frac{\% \times \rho \times 10}{Mr} \\M &= \frac{100 \times 1,049 \times 10}{60,05} \\M &= 17,46 M\end{aligned}$$

Larutan CH<sub>3</sub>COOH 0,5 M sebanyak 100 mL

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\17,46 \times V_1 &= 0,5 M \times 100 \\V_1 &= \frac{500}{17,46} \\V_1 &= 28,6 \text{ mL}\end{aligned}$$

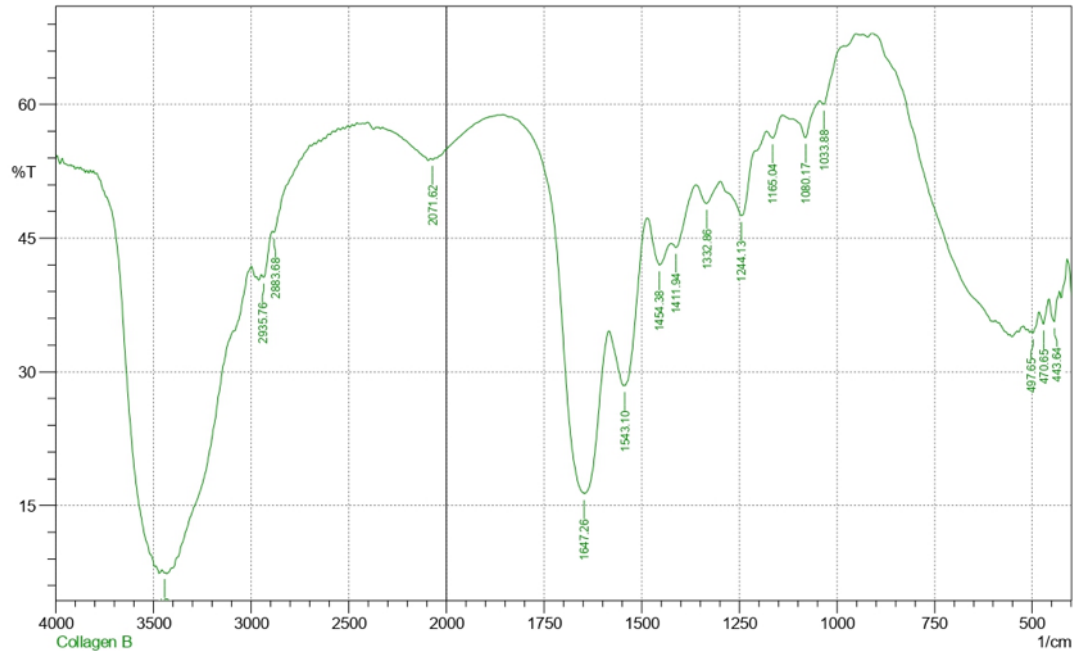
### Lampiran 2.3 Perhitungan Pengenceran Larutan AgNO<sub>3</sub> 7,5 mM

Larutan AgNO<sub>3</sub> 7,5 mM sebanyak 250 mL

$$\begin{aligned}0,0075 M &= \frac{m}{Mr AgNO_3} \times \frac{1000}{v} \\0,0075 &= \frac{m}{170} \times \frac{1000}{250} \\0,0075 &= \frac{1000 m}{42500} \\m &= 0,31875 \text{ g}\end{aligned}$$

Lampiran 3. Database  
Lampiran 3.1 Database FTIR Kolagen

SHIMADZU

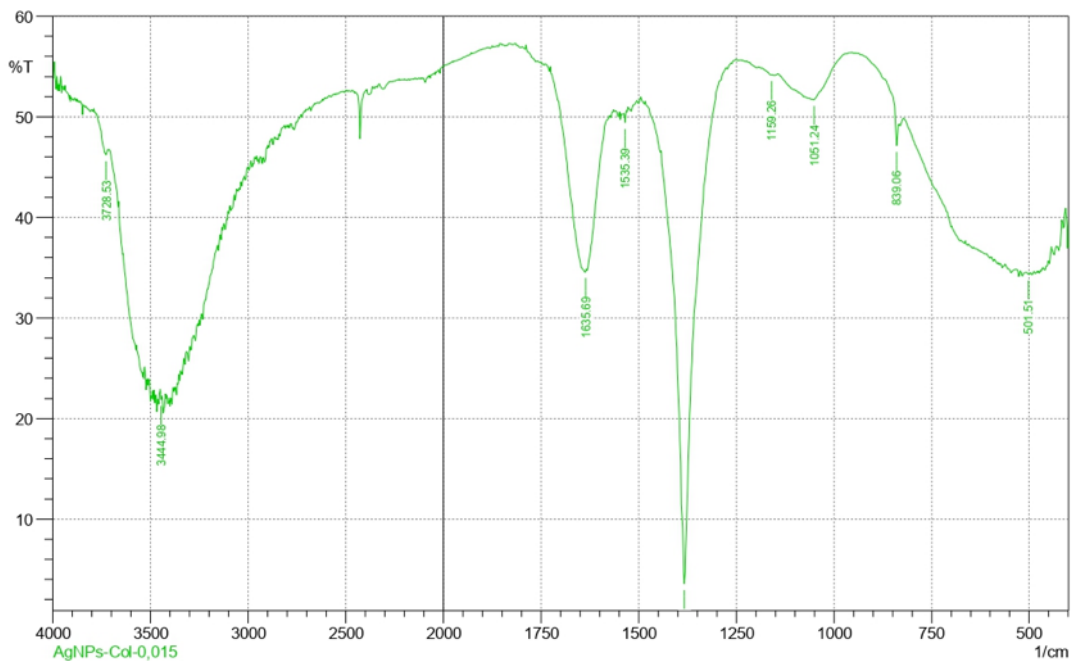


|    | Peak    | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area    | Corr. Area |
|----|---------|-----------|-----------------|----------|----------|---------|------------|
| 1  | 443.64  | 35.65     | 2.985           | 457.14   | 430.14   | 11.61   | 0.456      |
| 2  | 470.65  | 35.362    | 2.039           | 482.22   | 457.14   | 10.985  | 0.289      |
| 3  | 497.65  | 34.366    | 0.659           | 501.51   | 482.22   | 8.738   | 0.098      |
| 4  | 1033.88 | 60.022    | 1.329           | 1043.52  | 981.8    | 12.238  | 0.024      |
| 5  | 1080.17 | 56.264    | 3.055           | 1112.96  | 1043.52  | 16.299  | 0.574      |
| 6  | 1165.04 | 56.233    | 1.449           | 1180.47  | 1139.97  | 9.834   | 0.218      |
| 7  | 1244.13 | 47.504    | 6.453           | 1298.14  | 1180.47  | 33.948  | 2.569      |
| 8  | 1332.86 | 48.916    | 2.241           | 1361.79  | 1298.14  | 19.13   | 0.611      |
| 9  | 1411.94 | 43.951    | 1.665           | 1423.51  | 1361.79  | 20.234  | 0.413      |
| 10 | 1454.38 | 41.996    | 3.772           | 1485.24  | 1425.44  | 21.466  | 1.157      |
| 11 | 1543.1  | 28.463    | 11.428          | 1583.61  | 1487.17  | 44.806  | 6.993      |
| 12 | 1647.26 | 16.354    | 23.712          | 1855.58  | 1585.54  | 118.332 | 28.881     |
| 13 | 2071.62 | 53.822    | 0.134           | 2081.26  | 2058.11  | 6.214   | 0.013      |
| 14 | 2883.68 | 45.642    | 0.505           | 2891.39  | 2698.5   | 56.008  | -1.47      |
| 15 | 2935.76 | 40.602    | 1.303           | 2947.33  | 2891.39  | 20.692  | 0.337      |
| 16 | 3443.05 | 7.459     | 0.043           | 3456.55  | 3441.12  | 17.295  | 0.044      |

Comment;  
Collagen B

Date/Time; 9/6/2024 1:47:01 PM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

Lampiran 3.2 Database FTIR AgNP-Kol 3

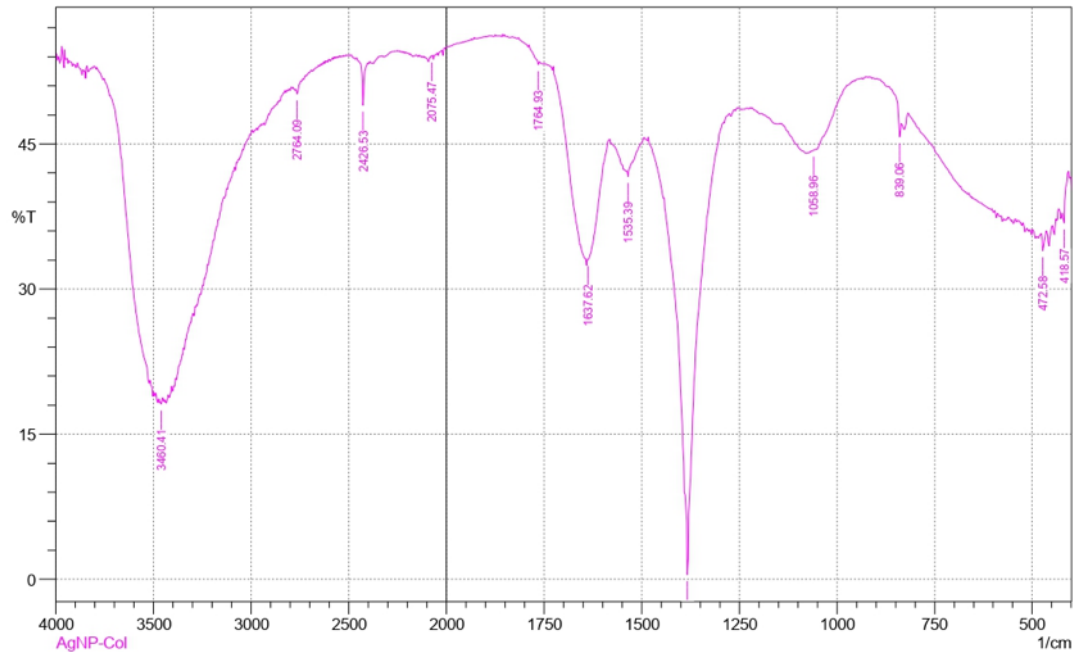


|   | Peak    | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area   | Corr. Area |
|---|---------|-----------|-----------------|----------|----------|--------|------------|
| 1 | 501.51  | 34.361    | 0.126           | 505.37   | 499.58   | 2.681  | 0.006      |
| 2 | 839.06  | 47.123    | 2.549           | 869.92   | 835.21   | 10.032 | 0.101      |
| 3 | 1051.24 | 51.69     | 3.637           | 1143.83  | 970.23   | 47.356 | 2.626      |
| 4 | 1159.26 | 54.171    | 0.055           | 1184.33  | 1157.33  | 7.127  | 0.012      |
| 5 | 1383.01 | 3.592     | 45.985          | 1442.8   | 1276.92  | 82.099 | 33.033     |
| 6 | 1535.39 | 49.43     | 1.026           | 1537.32  | 1527.67  | 2.875  | 0.031      |
| 7 | 1635.69 | 34.619    | 17.387          | 1726.35  | 1575.89  | 54.89  | 12.692     |
| 8 | 3444.98 | 21.872    | 0.683           | 3448.84  | 3441.12  | 5.034  | 0.043      |
| 9 | 3728.53 | 46.234    | 0.96            | 3774.82  | 3720.81  | 17.294 | 0.269      |

Comment;  
AgNPs-Col-0,015

Date/Time; 5/14/2025 10:30:55 AM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

Lampiran 3.3 Database FTIR AgNP-Kol 4

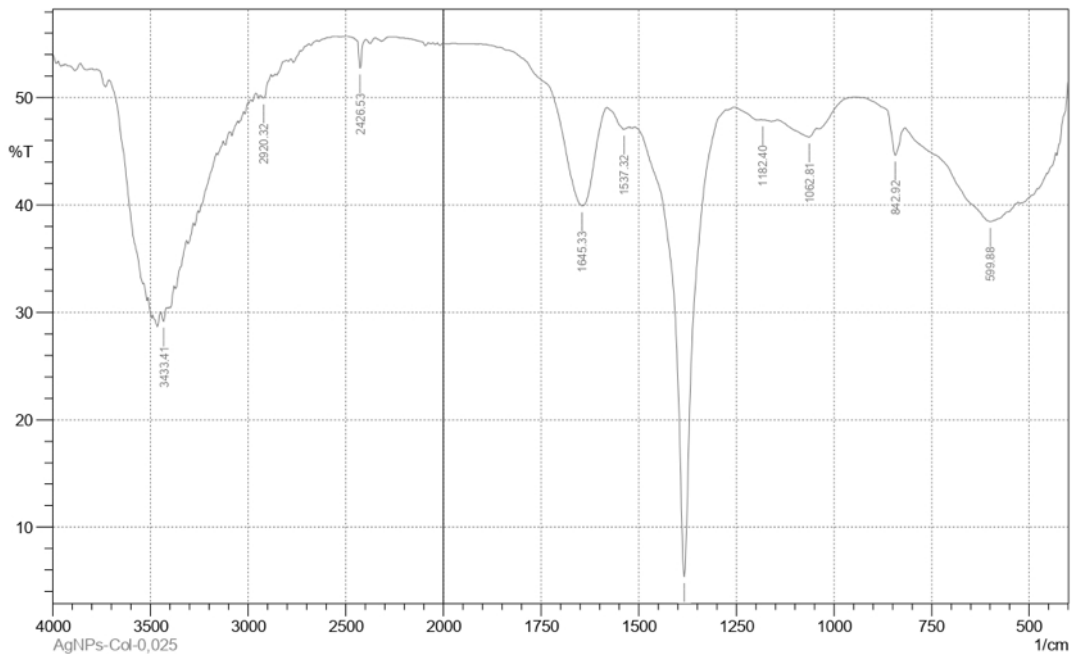


|    | Peak    | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area     | Corr. Area |
|----|---------|-----------|-----------------|----------|----------|----------|------------|
| 1  | 418.57  | 36.8479   | 2.1093          | 422.42   | 406.99   | 6.196    | 0.0516     |
| 2  | 472.58  | 33.9315   | 1.9355          | 476.43   | 464.86   | 5.2844   | 0.1366     |
| 3  | 839.06  | 45.7347   | 1.8074          | 869.92   | 835.21   | 10.6282  | -0.1277    |
| 4  | 1058.96 | 44.3376   | 0.0568          | 1060.88  | 1055.1   | 2.0415   | 0.0015     |
| 5  | 1383.01 | 0.4792    | 46.3718         | 1483.31  | 1276.92  | 110.3357 | 42.4315    |
| 6  | 1535.39 | 41.605    | 3.7014          | 1575.89  | 1494.88  | 29.1615  | 1.3106     |
| 7  | 1637.62 | 33.0214   | 1.3             | 1643.41  | 1583.61  | 24.8608  | 0.5242     |
| 8  | 1764.93 | 53.2066   | 0.4267          | 1788.07  | 1763     | 6.6825   | 0.0487     |
| 9  | 2075.47 | 54.0828   | 0.0246          | 2077.4   | 2071.62  | 1.544    | 0.0008     |
| 10 | 2426.53 | 48.9708   | 4.4431          | 2445.82  | 2405.31  | 11.4245  | 0.389      |
| 11 | 2764.09 | 50.1569   | 0.6731          | 2769.87  | 2746.73  | 6.805    | 0.0495     |
| 12 | 3460.41 | 18.0752   | 0.4664          | 3464.27  | 3456.55  | 5.6897   | 0.0428     |

Comment;  
AgNP-Col

Date/Time; 11/26/2024 1:49:31 PM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

Lampiran 3.4 Database FTIR AgNP-Kol 5



|    | Peak    | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area    | Corr. Area |
|----|---------|-----------|-----------------|----------|----------|---------|------------|
| 1  | 599.88  | 38.467    | 0.493           | 817.85   | 590.24   | 84.305  | 0.468      |
| 2  | 842.92  | 44.659    | 3.083           | 935.51   | 819.77   | 36.58   | 0.573      |
| 3  | 1062.81 | 46.332    | 0.948           | 1145.75  | 1043.52  | 33.495  | 0.461      |
| 4  | 1182.4  | 47.94     | 0.005           | 1186.26  | 1180.47  | 1.848   | 0          |
| 5  | 1383.01 | 5.39      | 42.793          | 1508.38  | 1257.63  | 113.508 | 33.989     |
| 6  | 1537.32 | 47.059    | 0.569           | 1579.75  | 1525.74  | 17.291  | 0.135      |
| 7  | 1645.33 | 39.921    | 10.458          | 1859.44  | 1581.68  | 87.315  | 8.13       |
| 8  | 2426.53 | 52.743    | 2.788           | 2497.9   | 2395.67  | 26.483  | 0.412      |
| 9  | 2920.32 | 49.972    | 0.761           | 2933.83  | 2883.68  | 14.733  | 0.161      |
| 10 | 3433.41 | 29.169    | 1.089           | 3446.91  | 3417.98  | 15.252  | 0.235      |

Comment;  
AgNPs-Col-0,025

Date/Time; 5/14/2025 10:53:19 AM  
No. of Scans;  
Resolution;  
Apodization;

Size - Adaptive Correlation

Malvern Panalytical



### Lampiran 3.6 Database PSA AgNP-Kol 5

| Name                                          | Mean   | Standard Deviation | RSD   | Minimum | Maximum |
|-----------------------------------------------|--------|--------------------|-------|---------|---------|
| Z-Average (nm)                                | 90.56  | 6.25               | 6.902 | 83.77   | 96.07   |
| Polydispersity Index (PI)                     | 0.4292 | 0.0332             | 7.735 | 0.4011  | 0.4659  |
| Peak 1 Mean by Intensity ordered by area (nm) | 131.9  | 12.65              | 9.592 | 123.6   | 146.5   |
| Peak 1 Area by Intensity ordered by area (%)  | 89.05  | 2.262              | 2.54  | 86.44   | 90.48   |
| Peak 2 Mean by Intensity ordered by area (nm) | 13.06  | 1.827              | 13.98 | 11.13   | 14.76   |
| Peak 2 Area by Intensity ordered by area (%)  | 6.274  | 1.006              | 16.04 | 5.112   | 6.872   |

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bantul pada tanggal 2 April 2002, sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh meliputi TK Fajar Islam Jakarta, SDN Sumur Batu 14 Pagi Jakarta, SMPN 119 Jakarta, dan SMK “INDONESIA” Yogyakarta dengan peminatan bidang farmasi. Setelah lulus dari SMK pada tahun 2020, penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Analitika Data, ITS pada tahun 2021 dengan NRP 5004211049. Selama menjalani studi, penulis mengambil bidang penelitian Kimia Anorganik dan sempat beberapa kali menjadi asisten praktikum. Penulis juga mengikuti berbagai kegiatan organisasi dan pengembangan diri, baik di dalam maupun di luar departemen, seperti BEM FSAD, UKM Softball, dan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM). Selain itu, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di Balai Besar Pengawasan Obat dan Makanan (BBPOM) Jakarta. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik (email) dengan alamat: [khansahmz@gmail.com](mailto:khansahmz@gmail.com).