

**PRODUKSI NANOPARTIKEL BERBAHAN PERAK NITRAT (AgNO_3)
MENGUNAKAN BAKTERI *Serratia marcescens* MBC1 SEBAGAI
KANDIDAT ANTIBAKTERI *Escherichia coli***

(Skripsi)

Oleh

DINDA PUSPITA SARI

1817021069



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PRODUKSI NANOPARTIKEL BERBAHAN PERAK NITRAT (AgNO_3) MENGUNAKAN BAKTERI *Serratia marcescens* MBC1 SEBAGAI KANDIDAT ANTIBAKTERI *Escherichia coli*

Oleh

Dinda Puspita Sari

Penggunaan bahan nanopartikel perak di berbagai bidang menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan nanopartikel. Metode fisika dan kimia dalam sintesis nanopartikel memiliki dampak buruk terhadap lingkungan dan makhluk hidup, sehingga dibutuhkan metode lain yang lebih aman dan efektif. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk memproduksi nanopartikel perak (AgNPs) yang dimediasi oleh bakteri *Serratia marcescens* MBC1 dari bahan perak nitrat (AgNO_3) guna mengetahui kemampuannya dalam menghambat bakteri *Escherichia coli*. Pada penelitian ini, nanopartikel disintesis secara ekstraseluler dengan mencampurkan supernatant bebas sel bakteri *Serratia marcescens* MBC1 dengan AgNO_3 . Campuran diinkubasi selama 24 jam dalam kondisi gelap dan diamati adanya indikasi perubahan warna sebagai ciri pembentukan nanopartikel perak. Selanjutnya, campuran dikeringkan hingga menjadi serbuk, kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Visible dan FTIR, serta dilakukan pengujian daya antibakteri terhadap *Escherichia coli* dengan metode difusi cakram pada tiga konsentrasi berbeda yaitu 1,25 mM; 2,5 mM; 5 mM. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran antara supernatant bebas sel dengan AgNO_3 menampilkan perubahan warna menjadi ungu kecoklatan setelah 7 hari inkubasi. Hasil spektrofotometri UV-Visible diperoleh absorbansi maksimum pada panjang gelombang 250-280 nm. Ketidaksesuaian ini dikarenakan senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri terlalu sedikit untuk mereduksi ion logam sehingga menyebabkan partikel nano mengalami agregasi karena durasi penyimpanan yang terlalu lama. Hasil FTIR menunjukkan adanya senyawa hidrokarbon, senyawa fenolik, senyawa nitro, dan gugus fungsi cincin aromatik yang berperan sebagai bioreduktor dalam sintesis AgNPs. Pengujian kemampuan antibakteri AgNPs terhadap *Escherichia coli* memberikan hasil positif dengan terbentuknya zona hambat di sekitar cakram pada semua konsentrasi AgNPs yang diujikan.

Kata Kunci: *Escherichia coli*, FTIR, nanopartikel perak, *Serratia marcescens* strain MBC1, Spektroskopi UV-Visible.

**PRODUKSI NANOPARTIKEL BERBAHAN PERAK NITRAT (AgNO_3)
MENGUNAKAN BAKTERI *Serratia marcescens* MBC1 SEBAGAI
KANDIDAT ANTIBAKTERI *Escherichia coli***

Oleh

DINDA PUSPITA SARI

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

: **PRODUKSI NANOPARTIKEL BERBAHAN PERAK NITRAT (AgNO_3) MENGGUNAKAN BAKTERI *Serratia marcescens* MBC1 SEBAGAI KANDIDAT ANTIBAKTERI *Escherichia coli***

Nama Mahasiswa

: **Dinda Puspita Sari**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817021069**


Jurusan / Program Studi : **Biologi**

Fakultas

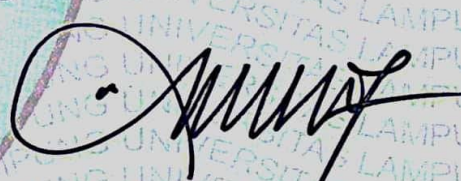
: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**


Dr. Kusuma Handayani, M.Si.

NIP 19780819 200801 2 018


Achmad Arifiyanto, S.Si., M.Si.

NIP 19901130 201903 1 013

2. **Ketua Jurusan Biologi**


Dr. Jani Mater, S.Si., M.Si.

NIP 19830131 200812 1 001

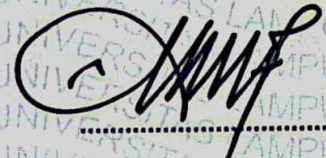
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

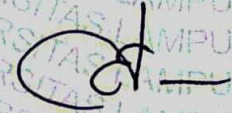
Ketua Penguji : Dr. Kusuma Handayani, M.Si.



Anggota Penguji : Achmad Arifiyanto, S.Si., M.Si.



Penguji Utama : Dra. Christina Nugroho Ekowati, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP 19711001 200501 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Mei 2023

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Dinda Puspita Sari
NPM : 1817021069
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul :

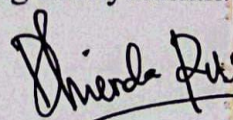
“Produksi Nanopartikel Berbahan Perak Nitrat (AgNO_3) Menggunakan Bakteri *Serratia Marcescens* MBC1 Sebagai Kandidat Antibakteri *Escherichia Coli*”

Baik data, gagasan, maupun pembahasan adalah benar karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Skripsi ini saya susun dengan mengikuti pedoman dan norma akademik dan saya memastikan bahwa karya ini tidak berisi material yang telah dipublikasi atau plagiat dari karya orang lain.

Demikian pernyataan saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 15 Juni 2023

Yang Menyatakan.



Dinda Puspita Sari

NPM. 1817021069



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gisting, Tanggamus, Lampung pada tanggal 26 September 2000, sebagai anak keempat dari empat bersaudara, dari bapak Sukadi dan Ibu Sugiyati.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) Dahlia Gisting Bawah diselesaikan pada tahun 2005. Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Gisting Bawah diselesaikan pada tahun 2012. Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Gisting lulus pada tahun 2015 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Pringsewu diselesaikan pada tahun 2018.

Agustus tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi FMIPA Unila melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai asisten laboratorium Mikrobiologi sejak semester 4. Pada tahun 2019, penulis masuk sebagai 10 penulis puisi terbaik dalam Lomba Cipta Puisi Tingkat Nasional yang diselenggarakan oleh Genta Official dan Lintang Indonesia dengan karya puisi yang berhasil dibukukan dalam buku yang berjudul “Senja dan Sajak”. Pada tahun 2021, peneliti melaksanakan kerja praktik di Balai Karantina Pertanian Kelas I Bandar Lampung.

PERSEMBAHAN

"Untuk ibuku Sugiyati, wanita dengan hati paling tabah di seluruh dunia. Karya ini adalah bagian kecil dari bukti bahwa aku telah tumbuh menjadi gadis yang cukup kuat."

"Untuk gadis kecil di masa lalu yang senyumnya selalu ku rindukan. Karya ini sebagai bentuk terimakasih ku atas langkah kecil mu yang tak pernah menyerah hingga detik ini."

- Dinda Puspita Sari -

MOTO

“Saat Tuhan memerintahkan saya untuk melepaskan apa yang masih saya genggam, saya lepaskan. Ketika Tuhan memerintahkan saya untuk melepaskan apa yang belum saya genggam, saya lepaskan. Saya percaya bahwa Tuhan sengaja membiarkan tangan saya kosong agar saya dapat menerima sesuatu yang lebih besar dari apa yang pernah saya bayangkan sebelumnya.”

- Dinda Puspita Sari -

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayahnya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul **“Produksi Nanopartikel Berbahan Perak Nitrat (AgNO_3) Menggunakan Bakteri *Serratia Marcescens* MBC1 Sebagai Kandidat Antibakteri *Escherichia Coli*”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Biologi di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T, selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si, selaku Ketua Jurusan Biologi;
3. Ibu Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si, selaku pembimbing utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Achmad Arifiyanto, S.Si., M.Si, selaku pembimbing kedua atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Ibu Dra. C.N. Ekowati, M.Si selaku penguji utama pada ujian skripsi. Terima kasih untuk masukan dan saran-saran pada seminar proposal terdahulu;
6. Bapak Prof. Dr. Sutyarso, M.Biomed, selaku dosen pembimbing akademik yang memberi dukungan dalam proses penyelesaian skripsi ini;
7. Terimakasih kepada ayah, ibu, serta kakak-kakakku yang telah banyak memberikan dukungan baik secara moril, materil, maupun spiritual kepada penulis selama perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi ini;

8. Terimakasih kepada Muhammad Farhan Anwar sebagai pasangan yang selalu menemani, membantu, menjadi semangat baru, dan selalu mendampingi selama melewati masa-masa sulit dalam penyelesaian skripsi ini;
9. Terimakasih kepada Indah Rahmayani dan Rara Hardiana sebagai sahabat yang telah menemani masa-masa sulit penulis dalam proses pembuatan skripsi ini;
10. Terimakasih kepada Siti Inah, Kartika Permata Insani, Nurul Insani, Noni Firda Savira, dan seluruh keluarga besar Laboratorium Mikrobiologi yang telah bersedia membantu penulis, meluangkan waktunya di sela-sela kesibukan dan membantu penulis dalam pelaksanaan penelitian ini;
11. Terimakasih untuk Bujang, kucing peliharaan penulis dengan semua tingkah lucunya yang selalu menemani dalam melewati masa sulit dalam penyelesaian skripsi ini;
12. Untuk teman-teman seperjuangan, rekan-rekan mahasiswa/i Jurusan Biologi Angkatan 2018, selama 4 tahun yang telah kita lewati bersama, merupakan kenangan yang tak terlupakan. Ini bukanlah akhir dari perpisahan kita;
13. Untuk semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulisan skripsi ini. Penulis telah berusaha dengan sebaik mungkin dengan kemampuan yang ada dalam menyelesaikan skripsi ini untuk mendapatkan hasil yang sebaik-baiknya. Namun penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis sangat menghargai segala kritik dan saran yang membangun.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Bandar Lampung, Juni 2023

Dinda Puspita Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Tujuan penelitian	3
1.3. Manfaat penelitian	3
1.4. Kerangka pikir	4
1.5. Hipotesis	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Nanopartikel perak (AgNPs).....	6
2.2. <i>Serratia marcescens</i> strain MBC1	7
2.3. Nanopartikel perak (AgNPs) dari bakteri <i>Serratia marcescens</i>	8
2.4. <i>Escherchia coli</i> sebagai bakteri patogen.....	9
2.5. Nanopartikel perak sebagai anti-bakteri	10
2.6. Chloramphenicol sebagai anti-bakteri	12
III. METODE PENELITIAN.....	13
3.1. Waktu dan tempat penelitian	13
3.2. Alat dan bahan	13
3.3. Prosedur penelitian.....	13
3.3.1. Peremajaan isolat <i>Serratia marcescens</i> strain MBC1.....	15
3.3.2. Produksi nanopartikel perak (AgNPs)	15
3.3.3. Analisis karakteristik nanopartikel perak.....	16
3.3.4. Uji aktivitas antibakteri nanopartikel perak	19
3.3.5. Pengukuran zona hambat AgNPs.....	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1. Hasil penelitian.....	22
4.1.1. Peremajaan isolat <i>Serratia marcescens</i> strain MBC1.....	22
4.1.2. Produksi nanopartikel perak (AgNPs).....	23

4.1.3. Analisis karakteristik nanopartikel perak.....	25
4.1.4. Uji aktivitas antibakteri nanopartikel perak.....	28
V. SIMPULAN DAN SARAN	22
5.1. Simpulan	38
5.2. Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spektrofotometri UV-Vis AgNPs	26
Tabel 2. Gugus fungsi AgNPs dari <i>Serratia marcescens</i> MBC1.....	28
Tabel 3. Data perbandingan hasil spektrofotometri UV-Vis	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram alir prosedur penelitian.....	14
Gambar 2. Pengukuran luas zona hambat	20
Gambar 3. Hasil peremajaan <i>Serratia marcescens</i> MBC1	22
Gambar 4. Hasil uji pengecatan Gram dan uji KOH	23
Gambar 5. Indikator perubahan warna campuran supernatan dan AgNO ₃	24
Gambar 6. Serbuk AgNPs	25
Gambar 7. Spektrum UV dari AgNPs I dan AgNPs II	26
Gambar 8. Perbandingan spektrum FTIR serbuk AgNPs I dan AgNPs II.....	27
Gambar 9. Zona hambat AgNPs terhadap <i>E.coli</i>	29
Gambar 10. Diagram batang perbandingan luas zona hambat.....	30

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Pengaplikasian nanopartikel secara luas di berbagai bidang telah memunculkan minat yang besar bagi para peneliti dalam beberapa tahun terakhir. Penggunaan bahan nanopartikel mampu meningkatkan kinerja dan kualitas produk di bidang pertanian, pengolahan air, industri makanan, medis, fitokimia, dan kecantikan. Nanopartikel secara luas dikategorikan dalam dua jenis, yaitu nanopartikel organik dan anorganik yaitu emas dan perak (Karthika *et al.*, 2015). Di bidang medis, nanopartikel emas dan perak berperan dalam penghantaran obat pada terapi kanker (Mendoza *et al.*, 2019), perawatan luka bakar, pencegahan kolonisasi bakteri pada kateter, desinfeksi pada pengolahan air, serta memiliki efek antibiotik dan bakterisidal (El-Batal *et al.*, 2016).

Nanopartikel dapat disintesis menggunakan metode fisika, kimia, maupun biologi. Metode sintesis secara fisika yang banyak dilakukan yaitu menggunakan teknik ball milling (penggilasan plat perak) (Das *et al.*, 2014), dan laser ablation (fotoionisasi logam dengan laser) (Sa'adah *et al.*, 2015), sedangkan metode sintesis secara kimia umumnya terdiri dari komponen prekursor, agen pereduksi (natrium sitrat, NaBH_4 , dan asam askorbat), dan penstabilisasi (tiol, sitrat, dan polimer/PVA/PVP) (Wulandari dan Safaat, 2021). Meskipun sebelumnya metode fisika dan kimia lebih banyak digunakan dalam produksi nanopartikel skala besar, tetapi terdapat beberapa kekurangan dari metode ini diantaranya yaitu penggunaan bahan-bahan beracun/ berbahaya, peralatan yang digunakan relatif mahal, serta konsumsi energy yang tinggi. Selain itu, sintesis nanopartikel menggunakan metode fisika dan kimia menghasilkan

partikel berskala nano yang tidak stabil serta menimbulkan ancaman terhadap lingkungan, manusia, dan juga hewan (Akl *et al.*, 2020). Sintesis nanopartikel secara biologis menjadi metode alternatif yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya, diantaranya yaitu penggunaan agen alami dalam mereduksi ion logam, penggunaan alat yang relative mudah dan terjangkau, serta minim konsumsi energi. Agen biologi yang digunakan diantaranya yaitu tumbuhan, alga, jamur, dan juga bakteri. Sintesis nanopartikel dengan metode ini dapat menghasilkan nanopartikel yang lebih stabil, hemat biaya, dan dampak terhadap lingkungan yang lebih aman karena menggunakan bahan-bahan alami (De Silva *et al.*, 2020).

Bakteri menjadi salah satu agen biologi yang digunakan dalam biosintesis nanopartikel perak. Beberapa spesies bakteri yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya diantaranya yaitu *Bacillus cereus* (Das *et al.*, 2014), *Klebsiella pneumonia* (Saleh and Khoman Alwan, 2020), *Lactobacillus plantarum* (Yusof *et al.*, 2020), dan salah satunya yaitu *Serratia marcescens* (Akilandeswari *et al.*, 2014). Penelitian-penelitian tersebut menggunakan supernatan bakteri untuk memproduksi nanopartikel perak secara ekstraseluler, yaitu dengan memanfaatkan biomolekul terutama metabolit sekunder yang terkandung di dalam supernatan untuk mereduksi ion logam. Metabolit sekunder yang digunakan dalam sintesis nanopartikel diantaranya yaitu vitamin, asam amino, enzim, protein, polisakarida, flavonoid, polifenol, dan metabolit sekunder lainnya (Zahoor *et al.*, 2021).

Serratia marcescens strain MBC1 merupakan koleksi bakteri dari Laboratorium Mikrobiologi FMIPA, Universitas Lampung, dan merupakan sub-spesies dari *Serratia ureilytica* (Arifiyanto *et al.*, 2021). Strain ini mampu menghasilkan metabolit sekunder yang mengandung senyawa biosurfaktan (Damayanti *et al.*, 2022), serta senyawa golongan alkaloid dan saponin (Yusifa *et al.*, 2021). Selain itu, bakteri ini juga memiliki aktivitas enzim amilase dan lipase (Arifiyanto *et al.*, 2021).

Dalam penelitian sebelumnya juga disebutkan bahwa *Serratia marcescens* strain MBC1 memiliki aktivitas antimikroba terhadap beberapa kelompok jamur, tetapi tidak memiliki kemampuan antibakteri terhadap *Escherichia coli* (Arifiyanto *et al.*, 2021), sedangkan *Escherichia coli* merupakan salah satu bakteri patogen yang bersifat oportunistik dan mudah mencemari lingkungan melalui limbah manusia (feses).

Sayangnya di antara penelitian yang telah dilakukan, pengembangan produksi nanopartikel dari bakteri *Serratia marcescens* strain MBC1 belum ditempuh. Berdasarkan permasalahan tersebut, peneliti bermaksud untuk melakukan sintesis ekstraseluler nanopartikel perak (AgNPs) yang dimediasi oleh bakteri *Serratia marcescens* MBC1 dan menggunakannya sebagai kandidat antibakteri terhadap bakteri patogen *Escherichia coli*.

1.2. Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memproduksi nanopartikel perak yang dimediasi oleh bakteri *Serratia marcescens* MBC1
2. Mengkarakterisasi produk nanopartikel perak menggunakan pendekatan analisis Spektrofotometri UV-Visible, FTIR, dan kemampuan daya hambatnya terhadap bakteri patogen *Escherichia coli*.

1.3. Manfaat penelitian

Manfaat dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberi informasi alternatif produksi nanopartikel yang lebih ramah lingkungan, hemat biaya dan energi dengan hasil yang lebih stabil.

2. Memberikan informasi cara memproduksi nanopartikel perak (AgNPs) dari bakteri *Serratia marcescens* MBC1.
3. Memberikan informasi tentang kemampuan nanopartikel perak (AgNPs) dari bakteri *Serratia marcescens* MBC1 sebagai anti bakteri *Escherichia coli*.
4. Hasil penelitian nanopartikel perak (AgNPs) dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam upaya pengembangan dan pemanfaatan material nanopartikel perak.

1.4. Kerangka pikir

Produksi nanopartikel menggunakan metode biologi dengan memanfaatkan bakteri telah banyak dilakukan pada penelitian terdahulu. Sintesis nanopartikel menggunakan metode biologi dapat dilakukan secara intraseluler dan ekstraseluler. Sintesis nanopartikel perak secara intraseluler melibatkan enzim dan asam amino dari mikroba sebagai agen pereduksi untuk menghasilkan material berukuran nano, sedangkan secara ekstraseluler dilakukan dengan memisahkan komponen sel dengan polimer yang diekstraksi oleh mikroba yang kemudian hasil pemisahan tersebut yang digunakan sebagai agen pereduksi (Junianto *et al.*, 2017). Beberapa mikroba yang digunakan dalam penelitian sebelumnya yaitu *Bacillus cereus* (Das *et al.*, 2014), *Klebsiella pneumonia* (Saleh and Khoman Alwan, 2020), *Lactobacillus plantarum* (Yusof *et al.*, 2020), dan salah satunya yaitu *Serratia marcescens* (Akilandeswari *et al.*, 2014).

Serratia marcescens strain MBC1 merupakan salah satu jenis bakteri *Serratia marcescens* yang dikembangkan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Strain MBC1 patut diduga memiliki kemampuan yang sama seperti bakteri lainnya dalam perannya memediasi biosintesis nanopartikel. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa *Serratia marcescens* strain MBC1 menunjukkan aktivitas enzim amilase

serta terdeteksi mengandung senyawa alkaloid dan saponin (Arifiyanto *et al.*, 2021). Struktur kimia enzim amilase diketahui memiliki gugus tiol yang bebas dan terbuka, sehingga sangat cocok digunakan dalam produksi nanopartikel (Thatoi *et al.*, 2021). Selain itu, kandungan senyawa metabolit sekunder seperti alkaloid dan saponin memungkinkan bakteri ini mampu berperan sebagai bioreduktor (Kuppusamy *et al.*, 2016). Dalam penelitian lain juga dijelaskan bahwa *Serratia marcescens* strain MBC1 mampu memproduksi senyawa biosurfaktan dalam beberapa media uji (Damayanti *et al.*, 2022). Senyawa biosurfaktan yang bersumber dari mikroba memiliki kemampuan biodegradabilitas yang lebih tinggi dan juga berperan dalam menyetabilkan nanopartikel (Farias *et al.*, 2014).

1.5. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah

1. Penambahan perak nitrat (AgNO_3) pada supernatan *Serratia marcescens* strain MBC1 memberikan hasil positif adanya produksi nanopartikel perak berdasarkan pengamatan visual dan hasil karakterisasi dengan spektrofotometri UV-Vis.
2. Nanopartikel *Serratia marcescens* strain MBC1 menggunakan metode difusi cakram terhadap bakteri *Escherichia coli* memberikan hasil positif adanya aktivitas antibakteri dengan terbentuknya zona jernih pada media pertumbuhan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanopartikel perak (AgNPs)

Nanopartikel perak (AgNPs) adalah perak yang dicirikan oleh ukuran skala nano (<100 nm). Nano merupakan kata yang berasal dari Bahasa Yunani dan memiliki pengertian sangat kecil (Karthika *et al.*, 2015). Nanopartikel perak (AgNPs) menarik perhatian dengan sifat fisika, kimia, dan biologi yang unik. Karena sifat-sifat ini, AgNPs digunakan secara luas dalam produksi tinta, mikroelektronika, dan dalam bidang medis. Kemampuan antimikroba perak telah diketahui efektif terhadap bakteri, namun kemampuan ini masih lebih rendah dibandingkan kemampuan antimikroba nanopartikel perak. Nanopartikel perak memiliki kemampuan antimikroba yang lebih kuat dan memiliki spektrum yang lebih luas terhadap mikroorganisme yang resisten terhadap obat, bakteri Gram-positif dan negatif, hingga jamur (Adan *et al.*, 2018).

Penggunaan nanopartikel perak diberbagai bidang telah banyak diterapkan, beberapa di antaranya yaitu penerapan dalam bidang pangan dan pertanian, pengolahan air, sensor ion logam, radiasi polusi, dan bidang kesehatan. Dalam bidang pangan dan pertanian, nanopartikel perak terbukti efektif melawan patogen beras juga mendukung dalam peningkatan produksi beras (Ibrahim *et al.*, 2019). Penggunaan nanopartikel perak sebagai pelapis membran ultrafilter poliakrilonitril (PAN) dalam pengolahan air mampu mengurangi komunitas mikroba *Pseudomona aeruginosa*, *S.aureuss*, dan *Escherichia coli* (Fernández *et al.*, 2015). Nanopartikel perak dalam penggunaannya pada kertas filter berperan dalam mendegradasi polusi sebagai pendeteksi ion Hg^{2+} dan

sensor *Surfaced Enhanced Raman Scattering* (SERS), juga mampu mengumpulkan residu *malachite green* dengan cepat (Zhang *et al.*, 2020). Beberapa penelitian telah dilakukan dalam pengujian kemampuan nanopartikel perak sebagai agen antikanker. Beberapa diantaranya yaitu mempelajari kemampuan anti kanker nanopartikel perak secara *in vitro* dan *in vivo* dalam berbagai macam kanker seperti kanker nasofaring, kanker paru-paru, kanker serviks, dan kanker payudara. Penelitian yang lain bahkan berhasil mensintesis nanopartikel dengan ukuran yang sangat kecil hingga mencapai skala Ångstrom yaitu sepersepuluh nanometer, di mana semakin kecil ukuran nanopartikel perak maka aktivitas biologisnya pun semakin tinggi (Wang *et al.*, 2019).

2.2. *Serratia marcescens* strain MBC1

Serratia marcescens strain MBC1 merupakan koleksi mikroba dari Laboratorium Mikrobiologi FMIPA, Universitas Lampung. Berdasarkan penelitian Arifiyanto *et al.*, (2021), pengujian karakteristik secara morfologi, biokimia, dan molekuler terhadap *Serratia marcescens* MBC1 menunjukkan bahwa strain ini merupakan kerabat *Serratia ureilytica*, subspesies dari *Serratia marcescens*. Bakteri ini berbentuk batang motil, dan tergolong sebagai bakteri Gram-negatif. Dalam penelitian tersebut juga didapatkan bahwa *Serratia marcescens* MBC1 mampu mensintesis enzim lipase dan amilase lebih baik dibandingkan strain *Streptomyces* AB8 yang diujikan. Pengujian antioksidan dengan pemberian logam berat dibawah 60 ppm terbukti meningkatkan kemampuan serap dan antioksidan pigmen *Serratia marcescens* MBC1. Pada pengujian aktivitas antimikroba terhadap 8 jenis bakteri patogen, strain MBC1 mampu menghambat 4 diantaranya yaitu *Aspergillus niger*, *Candida* sp., *Fusarium* sp. dan *Rigidoporous* sp. Hasil uji kepekaan terhadap antibiotik menunjukkan bahwa *Serratia marcescens* MBC1 tidak resisten terhadap nistatin, kloramfenikol, klindamisin, ampisilin, streptomisin, griseofulvin, bahkan flukonazol.

Pada penelitian lain, dijelaskan bahwa ekstrak *Serratia marcescens* MBC1 mengandung senyawa golongan alkaloid dan saponin berdasarkan uji fitokimia dan memiliki kemiripan gugus fungsi dengan senyawa alkaloid berdasarkan uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Yusifa *et al.*, 2021). Penelitian oleh Damayanti *et al.*, (2022) dalam pengujian emulsifikasi, *oil displacement* dan *drop collapse* terhadap *Serratia marcescens* strain MBC1 yang ditumbuhkan dalam beberapa media (*tryptone water*, limbah cair jagung dan limbah cair singkong) menunjukkan hasil positif memiliki aktivitas biosurfaktan yang meningkatkan kelarutan minyak jelantah dalam air.

2.3. Nanopartikel perak (AgNPs) dari bakteri *Serratia marcescens*

Penggunaan ekstrak tumbuhan dan sel mikroba merupakan beberapa metode biogenik yang digunakan dalam sintesis nanopartikel. Bakteri menjadi kandidat yang menarik dalam studi produksi nanopartikel secara biogenik, karena pertumbuhan yang mudah dan beberapa manipulasi yang dapat dilakukan pada genom mikroba. Penggunaan bakteri sebagai alat sintesis nanopartikel dikatakan lebih tepat karena sel bakteri dapat dibudidayakan dalam kondisi terkontrol di laboratorium dengan mempertahankan pH dan suhu sesuai kebutuhan (De Silva *et al.*, 2020).

Serratia marcescens merupakan salah satu bakteri yang dapat menghasilkan enzim nitrat reduktase sehingga mampu mereduksi nitrat menjadi nitrit dan cocok digunakan untuk mensintesis nanopartikel perak (Akilandeswari *et al.*, 2014). Karthika *et al.*, (2015) dalam penelitiannya melaporkan bahwa *Serratia marcescens* mampu memproduksi nanopartikel perak. Hal ini dibuktikan dengan terjadinya perubahan warna pada campuran prodigiosin *Serratia marcescens* dengan larutan perak nitrat. Perubahan warna merah menjadi coklat ini menunjukkan

bahwa *Serratia marcescens* terbukti mampu menghasilkan nanopartikel perak sehingga dapat mereduksi ion Ag⁺.

Selanjutnya, Adan *et al.*, (2018) melaporkan biosintesis AgNPs menggunakan supernatan dari strain *wildtype* dan mutan dari *Serratia marcescens* yang setelah ditambahkan dengan AgNO₃ dan diinkubasi selama 24 jam menunjukkan perubahan warna menjadi coklat kemerahan hingga coklat. Perubahan warna ini mengindikasikan terjadi pembentukan AgNPs pada larutan reaksi dan berkurangnya jumlah AgNO₃. Sedangkan media kontrol berisi campuran kaldu nutrisi dan AgNO₃ tidak menunjukkan adanya perubahan warna.

2.4. *Escherichia coli* sebagai bakteri patogen

Escherichia coli merupakan kelompok bakteri *Enterobacteriaceae* yang bersifat anaerob fakultatif dan berbentuk batang. Bakteri ini tergolong sebagai bakteri Gram negatif. Bakteri *Escherichia coli* berperan sebagai agen pembusuk makanan dalam usus yang umumnya tidak berbahaya dan merupakan bakteri flora normal dalam sistem pencernaan manusia. Namun pada kondisi tertentu, *Escherichia coli* dapat bersifat patogen dan menyebabkan penyakit seperti diare, infeksi saluran kemih, dan infeksi pada luka pasca operasi (Hamida *et al.*, 2019). *Escherichia coli* penyebab diare ini dapat ditularkan melalui kontak langsung dengan hewan atau orang yang terinfeksi, dan konsumsi makanan serta air yang telah terkontaminasi (Sumampouw, 2018).

Kontaminasi *Escherichia coli* yang berlebihan pada air maupun makanan yang dikonsumsi dapat menyebabkan terjadinya Kejadian Luar Biasa (KLB), seperti yang terjadi di Kabupaten Polewali Mandar pada tahun 2008 silam. Bakteri *Escherichia coli* menjadi salah satu penyebab meningkatnya kasus sakit dan kematian di Kabupaten Polewali Mandar akibat diare dengan jumlah kasus yaitu 23 kematian. Gejala yang muncul dari penderita yang terinfeksi *Escherichia coli*

yaitu mengalami mual, muntah, kejang perut, demam tinggi, menggigil, sakit kepala, dan gejala lainnya (Pratiwi *et al.*, 2014).

Pada beberapa jurnal yang melakukan penelitian terhadap *Escherichia coli*, dilaporkan bahwa bakteri ini memiliki kemampuan resisten terhadap *Chloramphenicol*, *Ampicillin*, *Amoxicillin*, dan *Tetracyclin* (Hamida *et al.*, 2019; Sumampouw, 2018). Pada jurnal lain, dilaporkan bahwa *Escherichia coli* yang diperoleh dari air sungai dan air rumah tangga terbukti resisten terhadap *Amoxicillin* dan *Chloramphenicol* (Sasongko, 2014).

Munculnya mikroorganisme yang resisten terhadap antimikroba dan banyak obat secara cepat menjadi masalah kesehatan baru yang mengancam masyarakat. Mikroorganisme mampu bersifat resisten terhadap antimikroba ketika mereka mampu beradaptasi dengan keberadaan antimikroba. Penyebab paling umum terjadinya resistensi terhadap antimikroba adalah penggunaan antibiotik yang berlebihan dan tidak sesuai dengan aturan guna. Kekhawatiran ini yang kemudian memicu para peneliti untuk menemukan cara lain, baik dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme, maupun pengembangan antibiotik baru (Elnar *et al.*, 2021).

2.5. Nanopartikel perak sebagai anti-bakteri

Perak menjadi salah satu logam berat yang telah banyak digunakan dalam bidang medis, salah satunya dalam pembuatan peralatan operasi. Hal ini berdasarkan kemampuan perak sebagai antimikroba (Sirajudin dan Rahmanisa, 2016). Sama dengan bentuk partikel peraknya, nanopartikel perak juga memiliki kemampuan antimikroba. Kemampuan antimikroba nanopartikel perak lebih efektif dari pada ukuran normal partikel perak dikarenakan ukurannya yang jauh lebih

kecil. Hal ini mempengaruhi reaktivitasnya dalam berinteraksi dengan molekul lain (Dozie-Nwachukwu *et al.*, 2017).

Kemampuan antimikroba nanopartikel memiliki cakupan yang lebih luas terhadap beberapa kelompok mikroorganisme, di antaranya yaitu kelompok bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, jamur, dan mikroorganisme lainnya (Elnar *et al.*, 2021). Dalam jurnal penelitian Guzman *et al.*, (2012), menggunakan metode difusi Kirby-Bauer dan pengenceran *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) menunjukkan hasil bahwa nanopartikel perak efektif melawan pertumbuhan bakteri patogen *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus*. Biosintesis nanopartikel dari supernatan *Serratia marcescens* dalam penelitian Akilandeswari *et al.*, (2014) juga menunjukkan adanya aktivitas antimikroba terhadap bakteri patogen *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, dan *Pseudomonas aeruginosa* pada media agar MacConkey menggunakan metode difusi cakram. Nanopartikel perak yang disintesis dari *Serratia marcescens* menunjukkan efek penghambatan pada *Escherichia coli* dengan diameter zona hambat paling besar yaitu 12 mm. Diameter zona hambat yang terbentuk pada *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* lebih kecil, yaitu 10 mm dan 9 mm. Hasil penelitian lain oleh Hsueh *et al.*, (2015) menggunakan analisis *Xray Absorption Near Edge Spectroscopy* (XANES) membuktikan bahwa, nanopartikel perak (AgNPs) mampu menghambat pertumbuhan *Bacillus subtilis* Gram-positif.

Mekanisme toksisitas nanopartikel perak terhadap bakteri adalah dengan melepaskan ion logam Ag. Ion perak tersebut kemudian menempel pada dinding sel bakteri dan membran sitoplasma sebagai bentuk daya tarik elektrostatik dan afinitas terhadap protein belerang. Penempelan ion perak selanjutnya meningkatkan permeabilitas membran sitoplasma dan mengganggu selubung bakteri. Ion perak kemudian masuk ke dalam bakteri, menonaktifkan enzim pernapasan dan menghasilkan oksigen

reaktif sehingga menyebabkan produksi adenosin dan trifosfat terganggu. Oksigen reaktif juga dapat mengacaukan kerja membran sel dan modifikasi DNA. Interaksi ion perak dengan komponen penting DNA (fosfor dan belerang) menimbulkan masalah pada proses replikasi DNA, reproduksi sel, terminasi bakteri, dan sintesis protein. Sintesis protein dihambat dengan mendenaturasi ribosom dan sitoplasma oleh ion perak (Majdalawieh *et al.*, 2014).

2.6. Chloramphenicol sebagai anti-bakteri

Chloramphenicol merupakan antibiotik spektrum luas yang dapat digunakan untuk melawan bakteri Gram-positif, Gram-negatif, maupun bakteri anaerob dan dapat bersifat bakteriostatik pada konsentrasi rendah, juga bersifat bakterisidal pada konsentrasi tinggi. Antibiotik ini biasanya digunakan dalam pengobatan meningitis, demam tifoid, kolera, konjungtivitis bakterial, dan otitis eksterna. Chloramphenicol dilaporkan efektif dalam pencegahan infeksi bakteri terutama *Salmonella enterica* (penyebab demam tifoid) (Gunawan *et al.*, 2020), obat tetes mata (Hasanah *et al.*, 2017), obat tetes telinga (Hasanah dan Wahyuni, 2018), dan meningitis.

Mekanisme toksisitas chloramphenicol terhadap bakteri yaitu menghambat sintesis protein dengan mengacaukan kerja enzim peptidil transferase dan berikatan dengan subunit ribosom 50S. Chloramphenicol yang berikatan dengan ribosom ini mencegah pelekatan RNA transferase ke situs A pada ribosom 50S, sehingga sintesis protein pun terhenti. Sintesis protein yang terhambat menyebabkan pembentukan dinding sel bakteri terganggu sehingga menyebabkan kerusakan bakteri (Tereshchenkov *et al.*, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian dilaksanakan dari bulan Juli-Desember 2022 di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, dan pengujian FTIR di Laboratorium Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi, Universitas Lampung.

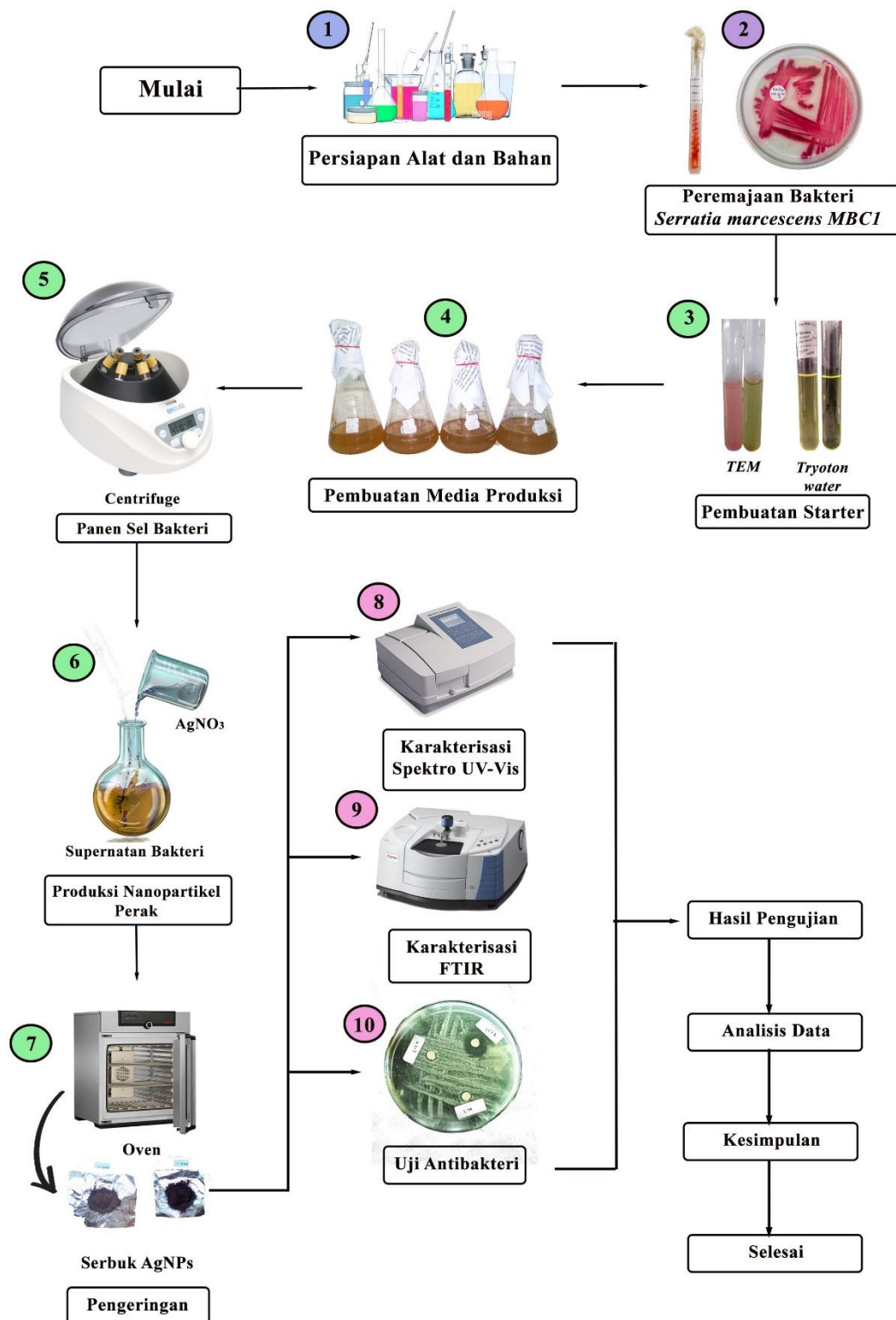
3.2 Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu cawan Petri, jarum ose, bunsen, tabung reaksi, pipet volumetri, *cutton bud*, mikropipet, tabung Erlenmeyer, gelas ukur, pipet tetes, jangka sorong, pinset, kertas cakram, alat pres hidrolis, *laminar air flow* (ESCO *Airstream BSC*), neraca digital (*US Solid*), *sentrifuge* (*Fischer Scientific*), *vortex mixer* (*Maxi mix II*), oven (*Heraeus*), *hot plate magnetic stirrer* (*Gr Herb tipe 791*), *autoclave* (*ALP KT-30LDP*), spektroskopi UV-Vis, dan FTIR (*Nicolet iS 10*).

Bahan yang diperlukan di antaranya yaitu media pertumbuhan *Tauge Extract Media (TEM)*, media Nutrient Agar (NA) (*Himedia*), media *Tryptone Water* (*Oxoid*), NaCl (*Merck*), isolat bakteri *Serratia marcescens* strain MBC 1 koleksi Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Universitas Lampung, kalium bromida, aquadest, alkohol 70%, spirtus, aquadest steril, AgNO₃ (*Merck*), isolat bakteri *Escherichia coli*, dan *Chloramphenicol*.

3.3. Prosedur penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pengambilan data secara langsung. Berikut adalah diagram alir prosedur penelitian ini.



Gambar 1. Diagram alir prosedur penelitian

3.3.1. Peremajaan isolat *Serratia marcescens* strain MBC1

Peremajaan dilakukan untuk membuat stok isolat *Serratia marcescens* strain MBC1. Isolat *Serratia marcescens* strain MBC1 diambil sebanyak 1 ose, kemudian diinokulasi dengan teknik streak dalam tabung reaksi berisi media miring NA (*Nutrient Agar*). Tabung reaksi kemudian ditutup dengan sumbat, direkatkan menggunakan *plastic wrap*, dan ditutup dengan kertas untuk menghindari kontaminasi. Proses ini dilakukan dalam *laminar air flow*. Inokulum kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam dalam inkubator (Yusifa *et al.*, 2021).

3.3.2. Produksi nanopartikel perak (AgNPs) *Serratia marcescens* MBC1

Metode produksi nanopartikel perak pada penelitian ini mengikuti metode Akl *et al.*, (2020) dan Adan *et al.*, (2018) dengan sedikit modifikasi. Proses produksi nanopartikel perak dalam penelitian ini dilakukan pada 2 media pertumbuhan yang berbeda, yaitu media *Tryptone Water* dan *Tauge Extract Media* (TEM). Untuk membuat inokulum, sebanyak 1 ose isolat bakteri *Serratia marcescens* strain MBC1 diinokulasi ke dalam 9 mL media *Tryptone Water* dan 9 mL *Tauge Extract Media* (TEM), lalu diinkubasi selama 24 jam. Sebanyak 1 mL inokulum tersebut kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing 9 mL media *Tryptone Water* dan *Tauge Extract Media* (TEM), lalu diinkubasi kembali selama 24 jam. Setelah masa inkubasi selesai, sebanyak 10 mL starter tersebut ditambahkan pada masing-masing 90 mL media *Tryptone Water* dan *Tauge Extract Media* (TEM), lalu diinkubasi. Sejumlah 100 mL kultur dari masing-masing media diambil 25 mL sebanyak 4 kali yang selanjutnya ditambahkan pada masing-masing 4 tabung Erlenmeyer berisi 225 mL media *Tryptone Water* dan 4 tabung

Erlenmeyer berisi 225 mL media *Tauge Extract Media* (TEM). Media kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30°C dalam *shaking incubator* 150 rpm. *Serratia marcescens* strain MBC1 dipanen melalui sentrifugasi 6000 rpm selama 30 menit. Supernatan bebas sel dikumpulkan dan digabungkan dengan 2 mM perak nitrat (0,03398/100 ml) untuk sintesis nanopartikel perak dengan perbandingan 1:1 (v/v). Campuran disimpan dalam *shaker incubator* (150 rpm/menit, 35°C) dalam kondisi gelap hingga 24 jam. Pengamatan visual dilakukan, perubahan warna media menjadi merah kecoklatan mengindikasikan terjadinya biosintesis AgNPs (Akl *et al.*, 2020). Warna kuning kecoklatan merupakan karakteristik warna dari nanopartikel perak yang merupakan hasil fenomena absorbansi dari permukaan plasmon SPR (*Surface Plasmon Resonance*) (Irawan *et al.*, 2016).

Larutan yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan oven udara panas pada suhu 60°C selama ± 1 minggu untuk analisis lebih lanjut (Nagarajan and Kuppusamy, 2013). Keberadaan nanopartikel perak yang disintesis oleh *Serratia marcescens* strain MBC1 dikonfirmasi lebih lanjut menggunakan analisis spektroskopi UV-Vis dan FTIR (Akilandeswari *et al.*, 2014).

3.3.3. Analisis karakteristik nanopartikel perak

3.3.3.1. Spektrofotometri UV-Visible

Surface Plasmon Resonance (SPR) pada AgNPs merupakan kumpulan dari osilasi elektron yang terjadi pada permukaan material. Adanya gelombang elektromagnetik yang berinteraksi dengan material menyebabkan terjadinya eksitasi pada kumpulan osilasi elektron dipermukaan AgNPs, fenomena ini dikenal dengan istilah *localized surface plasmon resonance* (Irawan *et al.*,

2016). Sifat SPR (*Surface Plasmon Resonance*) dari nanopartikel perak inilah yang kemudian dapat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan nilai serapan maksimum yang khas yaitu pada panjang gelombang antara 370-500 nm (Ider *et al.*, 2017).

Spektrofotometri UV-Vis pada penelitian ini digunakan sebagai alat uji konfirmasi sintesis nanopartikel perak oleh *Serratia marcescens strain* MBC1. Sebelum dilakukan pengukuran menggunakan spektrofotometri, perlu dilakukan preparasi sampel terlebih dahulu. Preparasi sampel dalam penelitian ini mengikuti metode preparasi oleh (Junaidi, 2017) dengan sedikit modifikasi. Serbuk AgNPs hasil pengeringan dari supernatan yang direaksikan dengan AgNO₃ diambil dan ditimbang dengan massa 0,0212 g; 0,0425 g; dan 0,0849 g. Serbuk tersebut kemudian dilarutkan dalam 100 mL aquadest sehingga diperoleh konsentrasi AgNPs sebesar 1,25 mM; 2,5 mM; dan 5 mM. Sebanyak 50 mL dari masing-masing konsentrasi kemudian dipindahkan pada Erlenmeyer berukuran 100 mL kemudian diaduk dengan kecepatan 700 rpm pada suhu 90°C selama 15 menit.

Masing-masing konsentrasi AgNPS yang telah dipreparasi sebelumnya kemudian dimasukkan kedalam tabung kuvet. Sebelum dianalisis dilakukan standarisasi menggunakan blanko berupa aquadest. Setelah distandarisasi, sampel dimasukkan kedalam spektrofotometri UV-Vis yang kemudian dilanjutkan dengan pemindaian pada panjang gelombang 200-800 nm. Pembentukan nanopartikel perak dapat diketahui dengan terbentuknya puncak absorpsi pada panjang gelombang 370-500 nm (Ider *et al.*, 2017).

3.3.3.2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Analisis spektrum FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi kemungkinan interaksi antara garam perak dengan protein, sehingga diketahui jenis ikatan protein yang terbentuk (Akilandeswari *et al.*, 2014). Metode uji FTIR juga digunakan untuk mengetahui bilangan gelombang yang dapat menunjukkan gugus fungsi senyawa metabolit sekunder seperti golongan alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, dan terpenoid (Yusifa *et al.*, 2021).

Sebelum digunakan, perlu dilakukan preparasi alat FTIR yaitu dengan mengatur suhu dan kelembaban pada alat dan juga ruangan, serta pengaturan kondisi nol pada alat. Kondisi nol pada alat adalah *running* alat dalam kondisi kosong atau tanpa sampel untuk mengukur *background* alat. Preparasi sampel dilakukan pada sampel yang akan dianalisis menggunakan alat ini. Bubuk kering nanopartikel perak hasil biosintesis *Serratia marcescens* strain MBC1 harus dibuat dalam bentuk pellet terlebih dahulu. Pembuatan pellet dilakukan dengan cara menambahkan serbuk nanopartikel hasil produksi dengan kalium bromida menggunakan perbandingan 1:100 lalu dicampur dan dihaluskan menggunakan mortar. Campuran ini kemudian dimasukkan ke dalam alat cetak pellet secara merata, lalu dipress pada alat press hidrolis dengan tekanan ± 7 tor. Pellet kemudian diletakkan dalam tempat pellet pada alat FTIR lalu dianalisis dan dicatat spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR) pada kisaran gelombang 400-4000 cm^{-1} menggunakan FTIR Nicolet iS 10 (Yusifa *et al.*, 2021).

Pembacaan hasil analisis FTIR ini dilihat dari penampakan pita serapan yang ditampilkan. Pada kisaran gelombang 400-4000 cm^{-1} , spektrum FTIR dibagi menjadi 4 wilayah. Wilayah pertama pada

kisaran gelombang 4000-2500 (ikatan tunggal), wilayah kedua pada kisaran 2500-2000 (ikatan rangkap tiga), wilayah ketiga pada gelombang 2000-1500 (ikatan rangkap dua) dan wilayah keempat pada gelombang 1500-400 (*finger print*). Vibrasi antar molekul menyebabkan pita serapan pada FTIR memiliki regangan (*stretching vibration*) dan tekukan (*bending vibration*). Regangan dan tekukan pada bilangan gelombang tertentu dapat menentukan gugus fungsi yang berperan dan senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam sampel. Semakin dalam puncak regangan atau tekukan pita serapan pada panjang gelombang tertentu, menandakan bahwa semakin besar serapan IR oleh gugus fungsi pada bilangan gelombang tersebut. Tabel wilayah spektrum FTIR dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.3.4. Uji aktivitas antibakteri nanopartikel perak

Nanopartikel perak hasil biosintesis *Serratia marcescens strain* MBC1 dilakukan uji aktivitas mikroba terhadap bakteri *Escherichia coli* melalui uji difusi cakram. Sebanyak 5 cawan steril berisi kertas cakram disiapkan, dalam 3 cawan ditambahkan 1 mL sampel AgNPs dengan konsentrasi 1,25 mM; 2,5 mM; dan 5 mM, sedangkan 2 cawan lainnya digunakan sebagai kontrol positif (1 mL Chloramphenicol 0,003%) dan kontrol negatif (1 mL Aquadest steril).

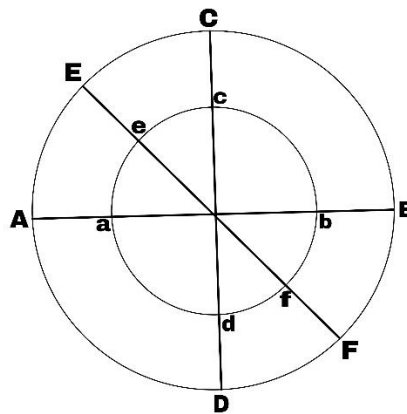
Bakteri *Escherichia coli* lalu ditumbuhkan pada 9 mL *Nutrient Broth* (NB) selama 24 jam pada suhu 37°C dalam inkubator bakteri. Kultur kemudian diberi perlakuan pengenceran standar McFarland tingkat 0,50 ($1,5 \times 10^8$ CFU). Sebanyak 0,01 mL kultur diinokulasi pada media NA (*Nutrient Agar*) menggunakan teknik gores dengan *cotton bud*, kemudian didiamkan selama 5 menit. Tiga jenis cakram kemudian diletakkan di atas permukaan media,

dengan 1 cakram sebagai sampel (1,25 mM/ 2,5 mM/ 5 mM), 1 cakram sebagai kontrol positif (Chlormphenicol 30 μ g), dan 1 cakram lagi sebagai kontrol negatif (aquadest steril). Perlakuan ini dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan.

Media diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Zona hambat ditunjukkan dengan terbentuknya zona jernih di sekitar cakram yang kemudian diukur diameternya dalam milimeter (Elnar *et al.*, 2021).

3.3.5. Pengukuran zona hambat AgNPs

Zona bening merupakan petunjuk kepekaan bakteri terhadap bahan antibakteri yang terkandung dalam bahan uji dan dinyatakan dengan luas zona hambat. Zona hambat yang terbentuk di sekitar sumur diukur diameter vertikal dan diameter horizontal dengan satuan milimeter (mm) menggunakan jangka sorong. Pengukuran diameter zona hambat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran luas zona hambat (Mozartha *et al.*, 2019)

Keterangan :

Garis A-B, C-D, E-F : Zona hambat yang terbentuk

Garis a-b, c-d, e-f : Diameter lubang sumuran

$$\text{Pengukuran I} : \frac{(AB - ab)}{2}$$

$$\text{Pengukuran II} : \frac{(CD - cd)}{2}$$

$$\text{Pengukuran III} : \frac{(EF - ef)}{2}$$

$$\text{Zona Hambat} : \frac{(\text{Pengukuran I} + \text{II} + \text{III})}{3}$$

Konsentrasi terendah yang menunjukkan pembentukan zona hambat dinyatakan sebagai *Minimal Inhibition Concentration* dari sampel tersebut dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Dalam penelitian ini, sampel yang diujikan adalah AgNPs dengan konsentrasi yang digunakan yaitu 1,25 mM; 2,5 mM; dan 5 mM.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Campuran supernatant bebas sel *Serratia marcescens* strain MBC1 dan AgNO₃ menunjukkan perubahan warna menjadi merah kecoklatan yang merupakan indikator pembentukan AgNPs.
2. Karakterisasi spektrofotometri UV-Vis AgNPs diperoleh puncak absorbansi pada panjang gelombang 250-280 nm yang merupakan puncak serapan milik Ag⁰. Hasil karakterisasi FTIR terdeteksi adanya senyawa hidrokarbon (gugus fungsi alkana, alkena, alkuna), senyawa fenolik, dan gugus fungsi cincin aromatik pada AgNPs yang diproduksi. Adanya aktivitas antibakteri AgNPs ditandai dengan terbentuknya zona hambat pada seluruh konsentrasi yang diujikan dengan luas zona hambat terbesar pada konsentrasi 5 mM yaitu sebesar 1,66 mm (AgNPs I) dan 3,11 mm (AgNPs II).

5.2. Saran

Adapun saran bagi penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yaitu melakukan penelitian lebih lanjut mengenai kondisi dan waktu optimum bagi sintesis nanopartikel perak. Selain itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui ukuran, morfologi dan struktur, serta kemurnian dari nanopartikel yang diproduksi pada penelitian ini dengan analisis TEM (*Transmission Electron Microscopy*), PSA (*Particle Size Analyzer*), dan XRD (*X-Ray Diffractometer*) guna dilakukan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adan, M. F., Fernando, L., and Villegas, L. 2018. Silver Nanoparticles Extracellularly Produced by *Serratia* sp. NBL1001 Have Antibacterial Properties. *Philippine Science Letter*, 11(2):75-83.
<https://www.researchgate.net/publication/328943661>
- Agustriyanto, R., Sapei, L., Setiawan, R., dan Rosaline, G. 2017. Pengaruh Rasio Asam Sulfat Terhadap Asam Nitrat pada Sintesis Nitrobenzena dalam CSTR. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi Di Industri*.
- Akilandeswari, K., Karpagam, P., and Amutha, K. 2014. Rapid Biosynthesis, Characterization and Antimicrobial Effects of Silver Nanoparticles from Microorganism *Serratia marcescens*. *International Journal of Molecular Biology & Biochemistry*, 2(1). <http://www.irphouse.com>
- Akl, B., Nader, M., and El-Saadony, M. 2020. Biosynthesis of Silver Nanoparticles by *Serratia marcescens* ssp. *sakuensis* and its Antibacterial Application against some Pathogenic Bacteria. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 11(1): 1–8.
<https://doi.org/10.21608/jacb.2020.76656>
- Arifiyanto, A., Afriani, H., Putri, M. H., Damayanti, B., and Riyanto, C. L. R. 2021. The Biological Prospective of Red-Pigmented Bacteria Cultured from Contaminated Agar Media. *Biodiversitas*, 22(3): 1152–1159.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d220310>
- D. Lade, B., and S. Shanware, A. 2020. Phytonanofabrication: Methodology and Factors Affecting Biosynthesis of Nanoparticles. *Smart Nanosystems for Biomedicine, Optoelectronics and Catalysis*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.90918>

- Damayanti, B., Arifiyanto, A., Handayani, K., Kanedi, M., Handerlin Putri, M., dan Riyanto, Lukyta Ratih. 2022. Pengaruh Media Pertumbuhan dan pH Terhadap Aktivitas Biosurfaktan dari Bakteri *Serratia marcescens* strain MBC 1 pada Minyak Jelantah. *Ind. J. Chem. Anal*, 5(1): 1–08. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol5.iss1.art1>
- Das, V. L., Thomas, R., Varghese, R. T., Soniya, E. V., Mathew, J., and Radhakrishnan, E. K. 2014. Extracellular Synthesis of Silver Nanoparticles by The *Bacillus Strain* CS 11 Isolated from Industrialized Area. *3 Biotech*, 4(2): 121–126. <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0130-8>
- de Silva, C., Mohd Noor, A. A., Abd Karim, M. M., Gunasekaran, B., Abd Gani, S., Cabrera, M. A., and Ahmad, S. A. 2020. The Green Synthesis and Characterisation of Silver Nanoparticles from *Serratia* spp. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 19(3): 1327–1339. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio1059>
- Dong, Y., Zhu, H., Shen, Y., Zhang, W., and Zhang, L. 2019. Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles of Different Particle Size Against *Vibrio natriegens*. *PLoS ONE*, 14(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222322>
- Dozie-Nwachukwu, S. O., Obayemi, J. D., Danyuo, Y. T., Etuk-Udo, G., Chi, Y., Hu, J., Anuku, N., Odusanya, O. S., Malatesta, K., and Soboyejo, W. O. 2017. Biosynthesis of Gold Nanoparticles and Gold/Prodigiosin Nanoparticles with *Serratia marcescens* Bacteria. *Waste and Biomass Valorization*, 8(6): 2045–2059. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9734-7>
- El-Batal, I., El-Hendrawy., and Faraag, H A. 2016. Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles by *Serratia marcescens* strains Isolated from Different Sources In Egypt. *Nature and Science*, 14(12): 205–215. <https://doi.org/10.7537/marsnsj141216.32>
- Elnar, A., Montecillo, A., and Villegas, L. 2021. Characterization of Silver Nanoparticles Produced by Wildtype and Mutants *Serratia marcescens* Bizio. *Philippine Science Letters*, 14: 1-10. <https://www.researchgate.net/publication/351934816>

- Farias, C. B. B., Silva, A. F., Rufino, R. D., Luna, J. M., Gomes Souza, J. E., and Sarubbo, L. A. 2014. Synthesis of Silver Nanoparticles Using A Biosurfactant Produced in Low-Costmediumas Stabilizing Agent. *Electronic Journal of Biotechnology*, 17(3): 122–125.
<https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2014.04.003>
- Fernández, J. G., Almeida, C. A., Fernández-Baldo, M. A., Felici, E., Raba, J., and Sanz, M. I. 2015. Development of Nitrocellulose Membrane Filters Impregnated with Different Biosynthesized Silver Nanoparticles Applied to Water Purification. *Talanta*, 146: 237–243.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.08.060>
- Ghoroi, C., Shah, J., Thakar, D., and Baheti, S. 2021. *Process Design and Economics of Production of p-Aminophenol*. Indian Institute of Technology. Gandhinagar.
- Gunawan, D. O., Indriani, L., dan Dewi, M. 2020. Evaluasi Pemberian Antibiotik pada Pasien Demam Tifoid. *Fitofarmaka Jurnal Ilmiah Farmasi*, 10(1): 54–64.
- Guzman, M., Dille, J., and Godet, S. 2012. Synthesis and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Against Gram-positive and Gram-negative Bacteria. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 8(1): 37–45.
<https://doi.org/10.1016/j.nano.2011.05.007>
- Hamida, F., Aliya, Lisana Sidqi., Vilya, Syafriana., dan Pratiwi, Della. 2019. *Escherichia coli* Resisten Antibiotik Asal Air Keran Di Kampus ISTN. *Jurnal Kesehatan*, 12(1). 63-72.
- Hasanah, M., Untari, B., dan Afrilianti, C. 2017. Tetes Mata Sampel Nama Dagang Di Kota Palembang. *Jurnal Ilmiah Bakti Farmasi*, 2(2): 47–54.
- Hasanah, M., dan Wahyuni, P. 2018. Analisis Kloramfenikol dalam Sampel Sediaan Tetes Telinga di Kota Palembang dengan Metode Kromatografi Cair Kinerja Tinggi. *Jurnal Penelitian Sains*, 20(1): 30–35.

- Hsueh, Y. H., Lin, K. S., Ke, W. J., Hsieh, C. Te, Chiang, C. L., Tzou, D. Y., and Liu, S. T. 2015. The Antimicrobial Properties of Silver Nanoparticles in *Bacillus Subtilis* are Mediated by Released Ag⁺ ions. *PLoS ONE*, 10(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144306>
- Ibrahim, E., Fouad, H., Zhang, M., Zhang, Y., Qiu, W., Yan, C., Li, B., Mo, J., and Chen, J. 2019. Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Endophytic Bacteria and Their Role in Inhibition of Rice Pathogenic Bacteria and Plant Growth Promotion. *RSC Advances*, 9(50): 29293–29299. <https://doi.org/10.1039/c9ra04246f>
- Ider, M., Abderrafi, K., Eddahbi, A., Ouaskit, S., and Kassiba, A. 2017. Silver Metallic Nanoparticles with Surface Plasmon Resonance: Synthesis and Characterizations. *Journal of Cluster Science*, 28(3): 1051–1069. <https://doi.org/10.1007/s10876-016-1080-1>
- Irawan, R., Zakir, M., dan Budi, P. 2016. Pengaruh Konsentrasi AgNO₃ dan Suhu Sintesis terhadap Surface Plasmon Resonance (SPR) Nanopartikel Perak. In *J. Chem. Res*, 4(1).
- Junaidi. 2017. Spektrofotometer UV-Vis untuk Estimasi Ukuran Nanopartikel Perak. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 5(1): 97-102. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Junianto, D., Soetarto, E. S., Arryanto, Y., and Hadisusanto, S. 2017. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Biomatriks Eksopolisakarida *Bacillus subtilis*. *Skripsi*. UGM. Yogyakarta.
- Jyoti, K., Baunthiyal, M., and Singh, A. 2016. Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized Using *Urtica dioica* Linn. Leaves and Their Synergistic Effects with Antibiotics. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(3): 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.10.002>
- Karthika, D., Vadakkan, K., Ashwini, R., Shyamala, A., Hemapriya, J., and Vijayanand, S. 2015. Prodigiosin Mediated Biosynthesis of Silver Nanoparticles (AgNPs) and Evaluation of its Antibacterial Efficacy. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 4(11): 868-874. <http://www.ijemas.com>

- Katta, N. R. (2021). *Essentials of Nanoscience & Nanotechnology*. Nanodigest Publishing. <https://rb.gy/2w196>
- Keshari, A. K., Srivastava, R., Singh, P., Yadav, V. B., and Nath, G. 2020. Antioxidant and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Synthesized by *Cestrum nocturnum*. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 11(1): 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2017.11.003>
- Komsani, J. R., Koppireddi, S., Avula, S., Koochana, P. K., and Yadla, R. 2013. Demonic Axe-like Conjugated Alkynes in Combating Microbes. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 68: 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.07.013>
- Kuppusamy, P., Yusoff, M. M., Maniam, G. P., and Govindan, N. 2016. Biosynthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Derivatives and Their New Avenues in Pharmacological Applications – An Updated Report. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 24(4): 473–484. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2014.11.013>
- Li, M., Han, G., Chen, H., Yu, J., & Zhang, Y. 2012. Chemical Compounds and Antimicrobial Activity of Volatile Oils from Bast and Fibers of *Apocynum Venetum*. *Fibers and Polymers*, 13(3): 322–328. <https://doi.org/10.1007/s12221-012-0322-6>
- Majdalawieh, A., Kanan, M. C., El-Kadri, O., and Kanan, S. M. 2014. Recent Advances in Gold and Silver Nanoparticles: Synthesis and Applications. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 14(7): 4757–4780. <https://doi.org/10.1166/jnn.2014.9526>
- Mendoza, R. M., Baybay, Z. K., Fernando, L. M., Montecillo, A. D., Ilag, L. L., and Villegas, L. C. 2019. Characterization of Gold Nanoparticles Produced by Biogenic Synthesis Using *Serratia marcescens* NBL1001. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012103>
- Mozartha, M., Silvia, P., dan Sujatmiko, B. 2019. Perbandingan Aktivitas Antibakteri Ekstrak *Curcuma zedoaria* dan Bahan Irigasi Natrium Hipoklorit 2.5% terhadap *Enterococcus faecalis*. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*, 8(1): 22-19.

- Nagarajan, S., and Kuppusamy, K. A. 2013. Extracellular synthesis of zinc oxide nanoparticle using seaweeds of gulf of Mannar, India. *Journal of Nanobiotechnology*, 11(39):1-11.
<http://www.jnanobiotechnology.com/content/11/1/39>
- Pratiwi, R. L. 2014. Hubungan Antara Personal Hygiene dan Sanitasi Makanan dengan Kandungan *Escherichia coli* pada Sambal yang Disediakan Kantin Universitas Negeri Semarang Tahun 2012. *Unnes Journal of Public Health*, 3(4): 17-26. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujph>
- Purwantiningsih, T. I., Suranindyah, Y. Y., dan Widodo, W. 2014. Aktivitas Senyawa Fenol dalam Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*) Sebagai Antibakteri Alami untuk Penghambatan Bakteri Penyebab Mastitis. *Buletin Peternakan*, 38(1): 59-64.
<https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v38i1.4618>
- Qurrataayun, S., Rifai, Y., Rante, H. 2022. Sintesis Hijau Nanopartikel Perak (AgNPs) Menggunakan Ekstrak Daun Serai (*Cymbopogon citratus*) Sebagai Bioreduktor. *Original Article MFF*, 26(3): 124–128.
<https://doi.org/10.20956/mff.v26i3.21047>
- Roza, I., Evawati, E., Alfia Fadri, R., dan Gusmalini, G. 2017. Total Fenol dan Aktivitas Antioksidan Bubuk Kulit Manggis (*Garcinia mangostana* L.) dari Buah Segar dengan Variasi Lama Penyimpanan yang Diolah Secara Mekanis. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 21(2): 110-116.
<https://doi.org/10.25077/jtpa.21.2.110-116.2017>
- Sa'adah, Fatkhiyatus., Miskiyah, Rizka Zakiyatul., Siregar, Rosinar., dan Khumaeni, A. 2015. Sintesis Nanopartikel Zno Metode Ablasi Laser dan Milling Sebagai Solusi Air Tercemar. *Prosiding Program Kreativitas Mahasiswa*.
- Saleh, M. N., and Khoman Alwan, S. 2020. Bio-synthesis of Silver Nanoparticles from Bacteria *Klebsiella pneumonia*: Their Characterization and Antibacterial Studies. *Journal of Physics: Conference Series*, 1664(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1664/1/012115>

- Sasongko, Hadi. 2014. Uji Resistensi Bakteri Escherichia Coli dari Sungai Boyong Kabupaten Sleman terhadap Antibiotik Amoksisilin, Kloramfenikol, Sulfametoxazol, dan Streptomisin. *Jurnal Biodukatika*, 2(1): 25-29.
- Sathya, A., Prabhu, T., and Ramalingam, S. 2020. Structural, Biological and Pharmaceutical Importance of Antibiotic Agent Chloramphenicol. *Heliyon*, 6(3): 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03433>
- Sirajudin, A., dan Rahmanisa, S. 2016. Nanopartikel Perak sebagai Penatalaksanaan Penyakit Infeksi Saluran Kemih. *MAJORITY I*, 5(4):1-5.
- Sumampouw, O. 2018. Uji Sensitivitas Antibiotik Terhadap Bakteri Escherichia Coli Penyebab Diare Balita Di Kota Manado. *Journal of Pharmaccutical Science*, 2(1): 104-110. <https://www.researchgate.net/publication/328601359>
- Tereshchenkov, A. G., Dobosz-bartoszek, M., Osterman, I. A., Sergeeva, V. A., Kasatsky, P., Komarova, E. S., Stavrianidi, A. A., Rodin, I. A., Konevega, A. L., Petr, V., Sumbatyan, N. V, Mankin, A. S., and Bogdanov, A. A. 2018. Binding and Action of Amino-Acid Analogues of Chloramphenicol Upon The Bacterial Ribosome. *J Mol Biol*, 430(6): 842–852. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2018.01.016.Binding>
- Thatoi, H., Mohapatra, S., and Kumar, S. 2021. Bioprospecting of Enzymes in Industry, Healthcare and Sustainable Environment. <https://doi.org/10.1007/978-981-33-4195-1>
- Vishnuvardhan, K., Bommana, K., and Nimmanapalli, Y. 2020. Phytochemical Screening, Silver Nanoparticle Synthesis and Antibacterial Studies on The Leaves of *Aeschynomene Aspera* L. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 11(1): 451-463. <https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232>.
- Khalir, Wan Mat, W. K. A., Shameli, K., Jazayeri, S. D., Othman, N. A., Che Jusoh, N. W., and Hassan, N. M. 2020. Biosynthesized Silver Nanoparticles by Aqueous Stem Extract of *Entada spiralis* and Screening of Their Biomedical Activity. *Frontiers in Chemistry*, 8(7): 1–15. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00620>

- Wang, Z. X., Chen, C. Y., Wang, Y., Li, F. X. Z., Huang, J., Luo, Z. W., Rao, S. S., Tan, Y. J., Liu, Y. W., Yin, H., Wang, Y. Y., He, Z. H., Xia, K., Wu, B., Hu, X. K., Luo, M. J., Liu, H. M., Chen, T. H., Hong, C. G., ... Xie, H. 2019. Ångstrom-Scale Silver Particles as a Promising Agent for Low-Toxicity Broad-Spectrum Potent Anticancer Therapy. *Advanced Functional Materials*, 29(23): 1-15. <https://doi.org/10.1002/adfm.201808556>
- Wulandari, D. A., dan Safaat, M. 2021. Review: Peran Nanopartikel dalam Menghambat Pertumbuhan Parasit Plasmodium Penyebab Malaria. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia (JBBi)*, 8(1): 124–136. <https://doi.org/10.29122/jbbi.v8i1.4503>
- Yunilawati, R., Rahmi, D., Handayani, W., Imawan, D. C. 2021. Minyak Atsiri Sebagai Bahan Antimikroba dan Pengawetan Pangan. *Minyak Atsiri: Produksi dan Aplikasinya untuk Kesehatan*:85-121. <https://doi.org/10.15294/.v0i0.24>
- Yusifa, Arsy Varianti., Setyaningrum, E., Handayani, K., Nukmal, N., & Arifiyanto, A. 2021. Analisis Senyawa Bioaktif Ekstrak Metabolit Sekunder *Serratia marcescens* strain MBC1. *Ind. J. Chem. Anal*, 4(2): 64–71. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss2.art3>
- Yusof, H. M., Rahman, N. A., Mohamad, R., and Zaidan, U. H. 2020. Microbial Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles by *Lactobacillus Plantarum* TA4 and its Antibacterial and Antioxidant Activity. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(19): 1–18. <https://doi.org/10.3390/app10196973>
- Zahoor, M., Nazir, N., Iftikhar, M., Naz, S., Zekker, I., Burlakovs, J., Uddin, F., Kamran, A. W., Kallistova, A., Pimenov, N., and Khan, F. A. 2021. A Review on Silver Nanoparticles: Classification, Various Methods of Synthesis, and Their Potential Roles in Biomedical Applications and Water Treatment. *Water (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/w13162216>
- Zhang, L., Liu, J., Zhou, G., and Zhang, Z. 2020. Controllable In-situ Growth of Silver Nanoparticles on Filter Paper for Flexible and Highly Sensitive Sers Sensors for Malachite Green Residue Detection. *Nanomaterials*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/nano10050826>

Zhang, X. F., Liu, Z. G., Shen, W., and Gurunathan, S. 2016. Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(9). <https://doi.org/10.3390/ijms17091534>