

**SINTESIS HIJAU NANOPARTIKEL PERAK (AgNP) MENGGUNAKAN
EKSTRAK ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI PERAIRAN**

(Skripsi)

Oleh

**Lyla Khairunnisa Kanti Susilo
NPM. 1917061001**



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

ABSTRAK

SINTESIS HIJAU NANOPARTIKEL PERAK (AgNP) MENGGUNAKAN EKSTRAK ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI PERAIRAN

Oleh

LYLA KHAIRUNNISA KANTI SUSILO

Argentum nanopartikel (AgNP) berpotensi dalam perbaikan lingkungan akibat sampah domestik. Bioreduktor pada sintesis hijau AgNP berupa Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Pemanfaatan eceng gondok dalam sintesis AgNP dapat menekan populasi eceng gondok dan mengurangi dampak eutrofikasi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan skala laboratorium untuk mengetahui potensi AgNP dari ekstrak eceng gondok sebagai agen bioremediasi. Sintesis hijau AgNP diawali tahap preparasi eceng gondok. Eceng gondok diekstrak lalu dilakukan penyaringan menggunakan kertas *Whatman* 42. 1 ml filtrat direaksikan dengan 4 ml AgNO₃ 2mM lalu dikarakterisasi menggunakan FT-IR dan SEM. Setelah didapatkan AgNP, dilakukan pengujian terhadap air tercemar dengan variasi konsentrasi AgNP meliputi 1:1, 1:2, 1:3 dan 1:4. Efektivitas AgNP dapat dilihat berdasarkan nilai pH, BOD₅ dan TSS. Hasil pengujian efektivitas AgNP menunjukkan kenaikan signifikan pada nilai pH dari nilai pH 5,38 menjadi 6,83. Pada nilai BOD₅ terjadi penurunan signifikan dari nilai BOD₅ sebesar 218,00 mg/L menjadi 34,66 mg/L. Pada nilai TSS terjadi penurunan signifikan nilai dari nilai TSS 82,00 mg/L menjadi 14,17 mg/L. Namun nilai BOD₅ dan TSS belum memenuhi baku mutu sesuai dengan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia No. P68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

Kata kunci: AgNP, eceng gondok, BOD₅, pH, TSS

**SINTESIS HIJAU NANOPARTIKEL PERAK (AgNP) MENGGUNAKAN
EKSTRAK ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI PERAIRAN**

Oleh

Lyla Khairunnisa Kanti Susilo

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Kelulusan untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung



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

Judul Skripsi : **SINTESIS HIJAU NANOPARTIKEL PERAK (AgNP) MENGGUNAKAN EKSTRAK ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI PERAIRAN**

Nama Mahasiswa : **Lyla Khairunnisa Kanti Susilo**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1917061001**

Program Studi : **Biologi Terapan**


Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

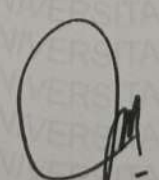
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Jani Master, M. Si.
NIP. 198301312008121001


Ir. Salman Farisi, M. Si.
NIP. 196104181987031001

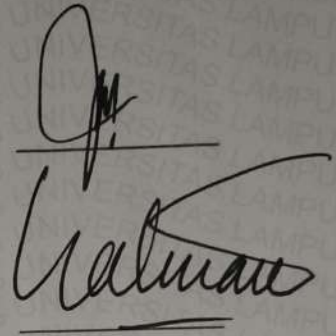
2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA


Dr. Jani Master, M. Si.
NIP. 198301312008121001

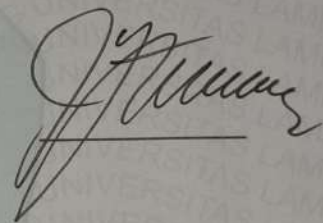
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Jani Master, M. Si.**



Sekretaris : **Ir. Salman Farisi, M. Si.**



Anggota : **Drs. Suratman, M. Sc.**

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 September 2023**

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lyla Khairunnisa Kanti Susilo
NPM : 1917061001
Jurusan : Biologi

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam skripsi saya yang berjudul:

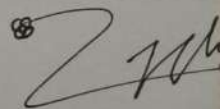
**“SINTESIS HIJAU NANOPARTIKEL PERAK (AgNP) MENGGUNAKAN
EKSTRAK ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI PERAIRAN”**

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

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 29 September 2023

Yang menyatakan



Lyla Khairunnisa Kanti Susilo
NPM. 1917061001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Raman Utara, pada tanggal 22 Oktober 2000. Penulis merupakan anak sulung dari dua bersaudara. Penulis menyelesaikan Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Mekarsari pada tahun 2007. Pendidikan Sekolah Dasar ditempuh penulis di SD Negeri Daru 2 dan diselesaikan tahun 2013. Selanjutnya penulis melanjutkan Pendidikan di SMP Negeri 2 Tigaraksa dan lulus pada tahun 2016. Tahun 2019, penulis

menyelesaikan Pendidikan di SMA Negeri 6 Kabupten Tangerang. Selama Pendidikan SMA, penulis pernah menjadi wakil ketua *Science Club*, anggota Club Panahan dan anggota Olimpiade Biologi. Pada tahun 2019, penulis mendaftarkan diri pada program SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) dan lulus menjadi mahasiswa di Program Studi Biologi Terapan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Selama berkuliah penulis aktif mengikuti Program Kampus Merdeka KMMI (Kredensial Mikro Mahasiswa Indonesia) dan Program PPA 5 Korea Selatan (Pertukaran Pemuda Asia).

Penulis melaksanakan Kerja Praktik di UTD Pembina PMI Provinsi Lampung pada Laboratorium Uji Saring IMLTD (Infeksi Menular Melalui Transfusi Darah) pada Juni 2021 dan Melaksanakan KKN (Kuliah Kerja Nyata) di Desa Sukamekarsari, Kecamatan Kalangnyar, Kabupaten Lebak, Banten pada Januari hingga Februari 2022.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, saya persembahkan dengan sepenuh hati sebuah karya kecil ini sebagai tanda cinta saya kepada:

Manusia-manusia paling berharga dan berarti dalam hidup saya yaitu kedua orang tua saya, adik dan sahabat saya yang selalu mendoakan, memberi dukungan dan semangat dari masa awal perkuliahan hingga tercapainya gelar sarjana ini.

Bapak dan Ibu Dosen yang telah mengajarkan dan memberikan ilmu-ilmunya kepada saya, serta membimbing dengan tulus dan ikhlas hingga saya mampu meraih gelar sarjana ini.

Sahabat dan teman-teman Biologi angkatan 2019 yang telah kebersamai saya dari awal masa kuliah, masa pengkaderan hingga saat ini, memberikan saya pelajaran dan momen-momen berkesan selama saya berada di bangku perkuliahan ini.

Almamater tercinta yang menjadi kebanggaan saya dimanapun saya berada,
Universitas Lampung.

MOTTO

“Pedang yang tajam tidak bisa bertahan lama”

(Lao Tzu)

“Lebih baik menjadi jade yang pecah daripada ubin yang utuh”

(Yuan Jing An)

SANWACANA

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis Hijau Nanopartikel Perak (AgNP) menggunakan Ekstrak Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Agen Bioremediasi Perairan”**. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada yang telah berjasa dalam penyusunan skripsi ini:

1. Dr. Eng. Heri Satria, S. Si., M. Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
2. Dr. Jani Master, M. Si., selaku ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung dan selaku pembimbing 1 yang telah bersedia membimbing, mengarahkan, meluangkan waktu, memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menyusun skripsi;
3. Ir. Salman Farisi, M. Si., selaku pembimbing 2 yang telah bersedia meluangkan waktu, membimbing, mengarahkan dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menyusun skripsi;
4. Drs. Surtman, M. Si., selaku pembahas skripsi yang bersedia meluangkan waktu, memberi saran dan memberi arahan kepada penulis;
5. Dr. Mahfut, M. Si., selaku pembimbing akademik yang selama ini telah memberikan arahan, bimbingan dan dukungan kepada penulis selama berlangsungnya perkuliahan hingga skripsi selesai;
6. Bapak Eko Susilo dan Ibu Rasmiyanti yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa selama pelaksanaan hingga penyelesaian skripsi;
7. Adik Satira Lutfia Zahra yang selalu mendukung dan memberikan semangat;
8. Rizki Dwi Aptiant Putra yang telah mendukung dan banyak memberikan bantuan selama penyelesaian skripsi;

9. Agisti Iselta Putri dan Anggita Fitri Aghniya sahabat saya yang telah mendukung dan memberikan motivasi selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi;
10. Dosen, staf dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan yang telah diberikan, sehingga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca. Alhir kata, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran agar penulis dikemudian hari lebih baik.

Bandar Lampung, 29 September 2023

Penulis,

Lyla Khairunnisa Kanti Susilo

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL DALAM	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
LEMBAR PENGESAHAN	vii
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Manfaat	3
1.4 Kerangka Teoritis.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Eceng Gondok.....	5
2.1.1 Morfologi Eceng Gondok	5
2.1.2 Klasifikasi Eceng Gondok	7

2.1.3	Habitat Eceng Gondok.....	7
2.1.4	Metabolit Sekunder Eceng Gondok.....	8
2.2	Nanopartikel.....	8
2.2.1	Nanopartikel Organik.....	9
2.2.2	Nanopartikel Anorganik.....	10
2.2.3	Nanopartikel Keramik.....	11
2.2.4	Nanopartikel Biologis.....	11
2.3	Nanopartikel perak (AgNP).....	12
2.4	Mikroskop SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	16
2.5	FT-IR (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>).....	18
2.6	Pencemaran Air.....	21
2.7	Pengolahan Limbah.....	22
2.7.1	BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>).....	22
2.7.2	TSS (<i>Total Suspended Solids</i>).....	23
2.7.3	pH.....	23
III.	METODE PENELITIAN.....	24
3.1	Waktu dan Tempat.....	24
3.2	Alat dan Bahan.....	24
3.2.1	Preparasi Sampel Eceng Gondok.....	24
3.2.2	Penyaringan Sampel.....	24
3.2.3	Pembuatan Larutan AgNO ₃	25
3.2.4	Sintesis AgNP.....	25
3.2.5	Analisis AgNP ekstrak Eceng Gondok.....	25
3.2.6	Perhitungan Kadar BOD ₅ , TSS dan pH.....	25
3.3	Metode.....	25
3.3.1	Preparasi Sampel Eceng Gondok.....	26
3.3.2	Pemyaringan Sampel.....	26
3.3.3	Pembuatan Latutan AgNO ₃	26
3.3.4	Sintesis AgNP.....	27

3.3.5 Analisis AgNP Ekstrak Eceng Gondok	27
3.3.6 Pengujian AgNP terhadap Air Tercemar	27
3.3.7 Perhnyungan kadar BOD5, TSS dan pH	27
3.4 Analisis Data	28
3.5 Diagram Alir Penelitian	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Hasil	30
4.1.1 Karakterisasi AgNP	30
4.2.1 pengujian lanjuta	32
a) BOD ₅	33
b) TSS	35
c) pH	37
4.2 Pembahasan.....	39
4.2.1 Karakteristik AgNP.....	39
4.2.2 Pengujian Efektifitas AgNP	41
4.2.3 Kontribusi terhadap Penelitiab Terdahulu	43
V. SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Simpulan	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Grup frekuensi fungsional organik.....	20
2. Baku mutu parameter pengujian	28
3. Hasil analisis spektrum inframerah larutan AgNP.....	31
4. Hasil uji BOD ₅	33
5. Uji deskriptif nilai BOD ₅	34
6. Uji homogenitas nilai BOD ₅	34
7. Uji ANOVA nilai BOD ₅	35
8. Hasil uji TSS	35
9. Uji deskriptif nilai TSS	36
10. Uji homogenitas nilai TSS	36
11. Uji ANOVA bilai TSS	37
12. Hasil uji pH	37
13. Uji deskriptif nilai pH	38
14. Uji homogenitas nilai pH	38
15. Uji ANOVA nilai pH	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morfologi Eceng Gondok	6
2. Nanopartikel organik.....	10
3. Nanopartikel anorganik.....	10
4. Nanopartikel keramik.....	11
5. Nanopartikel biologis	12
6. Mekanisme pembentukan nanopartikel perak.....	13
7. Karakteristik dengan mikroskop SEM.....	14
8. Visualisasi AgNP melalui mikroskop SEM.....	15
9. Spektrum FT-IR dari AgNP yang disintesis secara biologis	15
10. Visualisasi kerangka <i>Trochodiscus longispinus</i>	16
11. Diagram blok SEM	17
12. Skema proses perubahan sinyal pada sistem FR-IR	18
13. Contoh hasil analisis FT-IR	19
14. Diagram alir penelitian.....	29
15. Hasil sintesis AgNP.....	30
16. Spektrum hasil FT-IR.....	31
17. Hasil visualisasi AgNP menggunakan mikroskop SEM.....	31

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Upaya pemenuhan kebutuhan manusia sangat beragam seiring dengan perkembangan zaman. Kebutuhan pokok seperti sandang, pangan dan papan terkadang meninggalkan residu yang sulit diuraikan secara alami oleh lingkungan sehingga menimbulkan polutan yang akan berdampak pada ekosistem. Salah satu kegiatan manusia yang sangat merugikan dan berdampak besar pada pencemaran lingkungan yakni pembuangan sampah yang tidak pada tempatnya serta minimnya pengolahan sampah pada beberapa daerah.

Intensitas pembuangan sampah setiap tahun meningkat akibat penambahan jumlah penduduk. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2021 tercatat jumlah timbunan sampah sebanyak 30.335.308,50 ton dengan persentase 35,26% atau setara dengan 10.695.893,16 ton sampah tidak terkelola dengan baik (KLHK,2021). Berdasarkan ketiga aspek lingkungan yakni tanah, air dan udara, pencemaran pada lingkungan perairan merupakan pencemaran yang paling berdampak terhadap manusia.

Limbah pencemar air dibedakan menjadi dua jenis yakni *point sources* (sumber tertentu) dan *non-point sources* (sumber tidak tertentu). Pencemar dengan jenis *point sources* merupakan pencemar yang berasal dari saluran dengan lokasi yang dapat diidentifikasi. Sementara itu, *non-point sources* merupakan pencemar dengan lokasi yang lebih sulit untuk diidentifikasi. Limbah *non-point sources* memiliki efek yang lebih dominan terhadap lingkungan. Hal tersebut dikarenakan berbagai senyawa atau zat yang

bersifat merusak bercampur dan masuk ke dalam lingkungan tanpa diketahui sumbernya. Beberapa contoh limbah *non-point sources* meliputi air yang bersumber dari lahan pertanian, air yang berasal dari pemukiman, deposisi dari atmosfer dan air tanah (Dinasi *et al.*, 2022).

Penanggulangan pencemaran air oleh limbah khususnya limbah rumah tangga perlu dilakukan mengingat peranan air pada kehidupan manusia yang cukup besar. Salah satu upaya penanganan yang dikembangkan saat ini yaitu pemanfaatan nanopartikel yang berasal dari makhluk hidup baik itu tumbuhan maupun organisme seperti bakteri. Pemilihan metode ini berfokus pada bidang bioremediasi dikarenakan tidak meninggalkan residu setelah digunakan.

Nanopartikel menunjukkan potensi besar dalam aplikasi bioremediasi, yakni pemanfaatan organisme hidup atau komponen biologis untuk mengurangi atau menghilangkan polutan dari lingkungan yang tercemar. Adapun keterkaitan nanopartikel dengan bioremediasi menurut Qu *et al.* (2013) meliputi beberapa aspek yaitu peningkatan bioavailabilitas, peningkatan kecepatan reaksi, penghantaran kontrol polutan, detoksifikasi serta penguraian.

Komponen biologis berdasarkan sifat fitokimia eceng gondok, terdapat kandungan flavonoid (quercetin). Flavonoid memiliki gugus hidroksil (OH) yang bertanggung jawab untuk mereduksi ion perak menjadi perak dalam ukuran nano. Atom hidrogen yang dilepaskan selama konversi enol menjadi bentuk keto dalam quercetin membantu mengubah ion menjadi logam perak berukuran nano dan menstabilkan AgNP (Hublikar *et al.*, 2021).

Berdasarkan informasi tersebut maka penulis berinisiatif untuk melakukan penelitian terkait sintesis AgNP menggunakan ekstrak eceng gondok. Pemilihan eceng gondok ini dikarenakan tanaman tersebut sangat mudah berkembang dalam waktu yang cukup singkat sehingga menimbulkan dampak negatif seperti pendangkalan, rusaknya keanekaragaman hayati, banjir akibat daya tampung berkurang hingga kekeringan (Ningsih *et al.*,

2019). Oleh karena itu, diharapkan dengan pembuatan AgNP yang berasal dari ekstrak eceng gondok dapat menekan populasi eceng gondok serta menjadikan eceng gondok memiliki nilai ekonomis tanpa merusak lingkungan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mensintesis AgNP menggunakan prekursor AgNO_3 dan bioreduktor ekstrak eceng gondok
2. Mengetahui karakteristik terkait warna, bentuk permukaan dan gugus fungsi pada AgNP yang didapatkan melalui metode sintesis hijau eceng gondok pada skala laboratorium
3. Menguji efektivitas AgNP eceng gondok terhadap nilai pH, BOD_5 dan TSS pada sampel air sungai yang tercemar

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai AgNP yang disintesis menggunakan bioreduktor eceng gondok sehingga dapat dijadikan sebagai agen bioremediasi pada wilayah perairan yang terkontaminasi limbah domestik serta efektivitas AgNP didukung dengan data pengujian kadar pH, BOD_5 dan TSS.

1.4 Kerangka Teoritis

Daerah perairan Lampung khususnya pada wilayah Jl. Ikan Kembung, Pesawahan, Teluk Betung Selatan, Bandar Lampung, Lampung merupakan salah satu wilayah di Lampung yang mengalami permasalahan pencemaran air yang besar disebabkan oleh limbah domestik. Pencemaran ini memiliki dampak yang dominan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan air dengan teknologi ramah lingkungan.

Salah satu teknologi pengolahan air dengan pendekatan ramah lingkungan yaitu sintesis hijau nanopartikel. Sintesis hijau nanopartikel mengarah kepada sistem biologis yang dapat mengubah ion logam anorganik menjadi partikel nano logam melalui proses reduksi protein maupun metabolit yang ada pada suatu organisme. Sintesis hijau nanopartikel berpotensi besar dalam nanopartikel dikarenakan metode tersebut bebas dari bahan kimia beracun dan berbahaya (Soni *et al.*, 2018).

Pada penelitian ini sintesis hijau dilakukan dengan menggunakan tumbuhan. Tumbuhan memiliki senyawa metabolit sekunder yang dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan nanopartikel seperti polifenol, flavonoid, alkaloid, terpenoid dan steroid (Ahmad *et al.*, 2019). Eceng gondok memiliki senyawa metabolit sekunder yakni flavonoid. Flavonoid memiliki gugus hidroksil (OH) yang bertanggung jawab untuk mereduksi ion perak menjadi perak dalam ukuran nano jika direaksikan dengan AgNO_3 sehingga dapat menghasilkan AgNP.

AgNP yang dihasilkan dengan bioreduktor eceng gondok akan dikarakterisasi secara fisik dan kimia menggunakan mikroskop SEM dan FT-IR. Selanjutnya diuji lanjut terhadap air tercemar menggunakan tiga parameter yang berbeda meliputi nilai pH, BOD_5 dan TSS. Ketiga parameter tersebut dapat memberikan informasi terkait kualitas air. Analisis nilai pH, BOD_5 dan TSS bertujuan untuk mengetahui efektivitas pengolahan air menggunakan AgNP eceng gondok dalam menghilangkan kontaminan serta memperbaiki kualitas air yang tercemar.

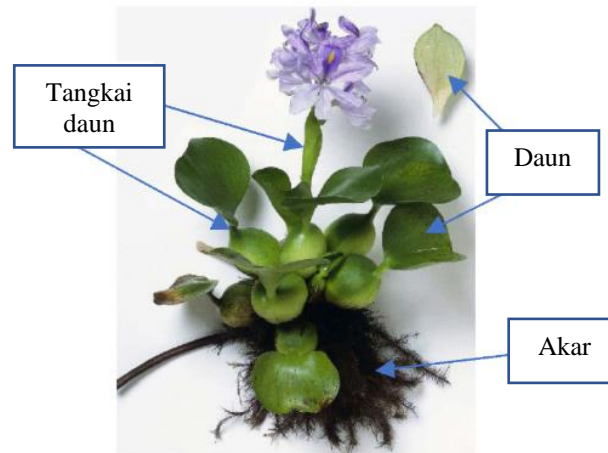
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Eceng Gondok

2.1.1 Morfologi Eceng Gondok

Eceng gondok merupakan jenis tumbuhan perennial yang hidup pada perairan terbuka. Eceng gondok berkembang biak secara vegetatif maupun generatif. Perkembangan secara vegetatif terjadi apabila tunas baru tumbuh dari ketiak daun, lalu membesar menjadi tumbuhan baru (Marjefri, 2019).

Eceng gondok memiliki kemampuan menyerap unsur hara, senyawa organik dan kimia lain dari air limbah dalam jumlah yang besar. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dengan menanam eceng gondok 90% pada suatu wilayah dapat menjadikan penurunan BOD sampai 52% dari nilai BOD awal (Zahro dan Nisa, 2020). Eceng gondok memiliki struktur tubuh yang mendukung penyerapan bahan-bahan organik dan zat lainnya dalam air.



Gambar 1. Morfologi Eceng Gondok (Wahhab dan Hussain, 2021)

Eceng gondok memiliki stomata dua kali lebih besar dibandingkan dengan tumbuhan lainnya serta jarak antar stomata delapan kali ukuran stomata. Ukuran stomata yang besar pada permukaan daun berpengaruh pada laju fotosintesis yang tinggi. Selain stomata, faktor lain yang mempengaruhi daya serap eceng gondok yaitu keberadaan vakuola dalam struktur sel. Penyerapan bahan-bahan pada air menyebabkan vakuola menggelembung dan mendorong sitoplasma ke pinggiran sel sehingga protoplasma semakin dekat dengan permukaan sel. Hal tersebut menyebabkan pertukaran atau penyerapan bahan antar sel dengan sekelilingnya menjadi lebih efisien (Indah *et al.*, 2014).

Eceng gondok mempunyai daun lebar berbentuk bulat menyirip dan tebal yang berfungsi agar mempercepat penguapan, batang eceng gondok berbentuk stolon yang berfungsi sebagai alat perkembang biakan vegetatif, tangkai berbentuk bulat menggelembung dengan rongga yang penuh dengan udara yang berfungsi untuk mengapungkan tumbuhan di permukaan air, akar eceng gondok merupakan akar yang berjenis serabut yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan saat mengapung di permukaan air agar tidak terbalik dan fungsi rongga yang ada pada akar, batang, dan daun sebagai alat penyimpanan oksigen (O_2) dari proses fotosintesis (Feni *et al.*, 2022).

2.1.2 Klasifikasi Eceng Gondok

Eceng gondok termasuk kedalam kelompok gulma air serta merupakan tanaman dikotil. Eceng gondok memiliki klasifikasi secara lengkap sebagai berikut:

Superdivision	: Embryophyta
Division	: Tracheophyta
Subdivision	: Spermatophyta
Class	: Magnoliopsida
Superorder	: Liliales
Order	: Commelinales
Family	: Pontederiaceae
Genus	: Eichhornia
Species	: <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.

2.1.3 Habitat Eceng Gondok

Eceng gondok merupakan tanaman air termasuk kelompok gulma yang menempati wilayah perairan seperti sungai maupun danau (Aliah *et al.*, 2021). Tanaman ini dapat tumbuh pada daerah tropis maupun subtropis. Tempat tumbuh ideal bagi eceng gondok yakni perairan yang dangkal dan berair keruh, suhu berkisar 28-30 °C dengan kondisi pH berkisar 4-12. Pada perairan dalam dan berair jernih di dataran tinggi, eceng gondok sulit tumbuh (Ratnani *et al.*, 2011). Tingkat pertumbuhan eceng gondok dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni tingkat keasaman air (Setiati *et al.*, 2020). Menurut Feni (2022) eceng gondok dapat tumbuh pada sungai, danau, kolam atau saluran air.

2.1.4 Metabolit Sekunder Eceng Gondok

Sintesis nanopartikel dengan metode sintesis hijau memerlukan partisipasi agen pereduksi dan penstabil atau dikenal dengan *capping agent*. Berbagai kandungan fitokimia terdapat pada ekstrak daun eceng gondok melalui analisis fitokimia pada penelitian ini menggunakan analisis FT-IR.

Senyawa fitokimia ini berperan dalam stimulasi sebagai agen pereduksi dalam proses perubahan perak nitrat (Ag^+) menjadi perak (Ag^0) dalam bentuk nano. Selain itu ekstrak eceng gondok berperan sebagai penstabil.

Analisis fitokimia eceng gondok menunjukkan adanya kandungan alkaloid, terpenoid, fenolik, flavonoid dan tanin. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ekstrak daun eceng gondok mengandung quercetin dan dilaporkan memiliki kandungan flavonoid tertinggi. Gugus hidroksil (OH) dari flavonoid (quercetin) bertanggung jawab untuk mereduksi ion perak menjadi perak dalam ukuran nano. Quercetin menunjukkan isomerisme keto-enol. Atom hidrogen yang dilepaskan selama konversi enol ke bentuk keto dalam quercetin membantu mengubah ion perak menjadi perak pada ukuran nano dan menstabilkan AgNP (Hublikar *et al.*, 2021).

2.2 Nanopartikel

Nanopartikel merupakan sebuah produk keluaran nanoteknologi yang mana nanoteknologi memiliki definisi sebagai ilmu yang mengkaji mengenai preparasi partikel berukuran nano mulai dari 1 sampai 100 nm menggunakan metode sintesis yang beragam. Pengaplikasian nanoteknologi terdapat pada berbagai bidang ilmu seperti biologi molekuler, fisika, kimia organik dan anorganik, kedokteran dan ilmu material. Nanopartikel merupakan istilah yang pertama kali diadaptasi dalam karya Yunani dengan makna “nano” yang berarti kecil (Jamkhande *et al.*, 2019).

Penggunaan pertama nanoteknologi dilakukan oleh para pengajin pada abad ke-9 di Mesopotamia. Tujuan penggunaan nanopartikel pertama kali ini yaitu untuk menciptakan efek berkilau pada permukaan bejana. Efek berkilau disebabkan oleh keberadaan nanopartikel perak dan tembaga yang tersebar merata pada matriks kaca. Istilah nanopartikel belum dikenal oleh para pengajin. Pada beberapa artefak kuno ditemukan penggunaan nano komposit seperti *Lycurgus cup* yang dibuat oleh bangsa Romawi sekitar tahun 400 M (Parappurath *et al.*, 2016).

Dewasa ini, nanopartikel dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan produk dan teknologi baru dengan kinerja tinggi. Terdapat beberapa metode dalam mensintesis nanopartikel yaitu kopresipitasi, sintesis hidrotermal, kondensasi gas inert, hamburan sputtering ion, mikroemulsi, ablasi laser, sol-gel, sonokimia, sintesis template dan sintesis biologis. Partikel kering dan nanopartikel dalam dispersi cair disintesis dengan metode tersebut (Rane *et al.*, 2018).

Pada penelitian ini, sintesis nanopartikel menggunakan teknologi hijau melalui teknik sol-gel. Sumber yang digunakan dalam teknologi hijau beragam diantaranya bakteri, jamur, ganggang, dan tumbuhan. Sintesis nanopartikel lebih banyak dilakukan dengan sumber tumbuhan dibandingkan dengan mikroorganisme dikarenakan fitokimia tumbuhan menunjang reduksi dan stabilitas yang lebih tinggi (Ahmad *et al.*, 2019).

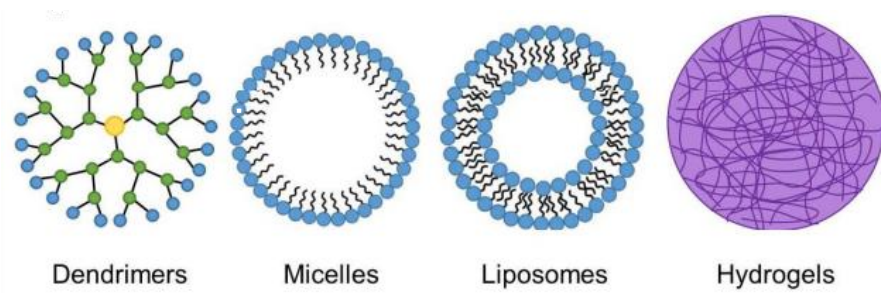
Menurut Irfan (2020) nanopartikel diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan morfologi, ukuran dan bentuk. Beberapa jenis nanopartikel utama terbagi menjadi empat jenis.

2.2.1 Nanopartikel Organik

Jenis nanopartikel ini bersifat peka terhadap panas, tidak bersifat toksik, *biodegradable* dan memiliki misel serta liposom pada jenis tertentu.

Nanopartikel organik merupakan pilihan yang tepat untuk distribusi obat berupa nanokapsul. Nanopartikel organik juga dikenal sebagai

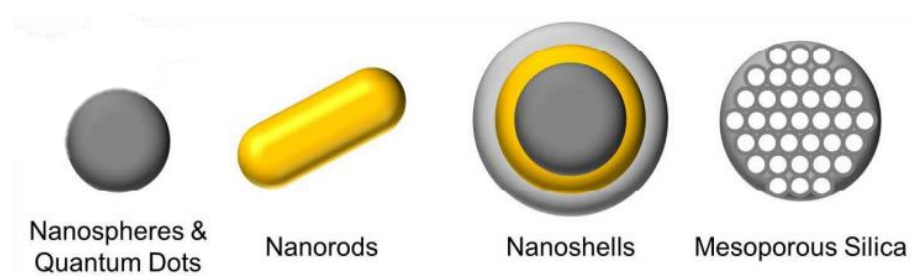
nanopolimer. Nanopartikel organik meliputi feritin, misel, dendrimer dan liposom.



Gambar 2. Nanopartikel organik (Lotsch *et al.*, 2020)

2.2.2 Nanopartikel Anorganik

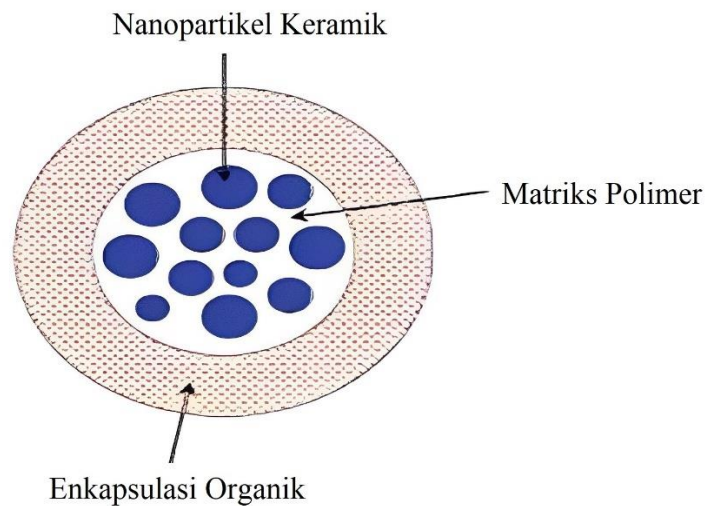
Jenis nanopartikel ini memiliki sifat biokompatibel, hidrogilik dan tidak bersifat toksik. Nanopartikel anorganik bersifat lebih stabil bila dibandingkan dengan nanopartikel organik. Nanopartikel anorganik dibagi menjadi dua kelompok yakni nanopartikel logam dan nanopartikel oksida logam. Nanopartikel logam terdiri dari beberapa jenis yakni aluminium, emas, besi, timah, perak, kobalt, seng, kadmium dan tembaga. Sementara itu, nanopartikel oksida logam meliputi seng oksida, silikon dioksida, oksida besi, aluminium oksida, serium oksida, titanium oksida dan magnetit.



Gambar 3. Nanopartikel anorganik (Lotsch *et al.*, 2020)

2.2.3 Nanopartikel Keramik

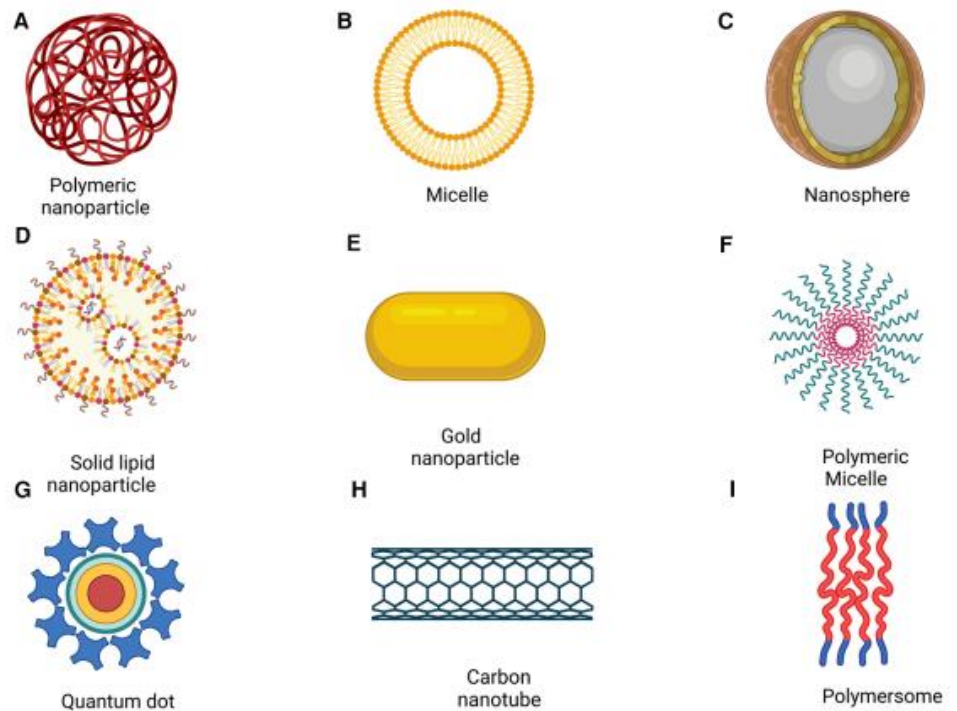
Nanopartikel keramik dikenal sebagai padatan non logam. Nanopartikel jenis ini disintesis melalui proses pemanasan dan pendinginan secara berulang. Jenis nanopartikel keramik meliputi kalsium, titanium, silikon, zirkonia, alumina, titanium dioksida dan lainnya.



Gambar 4. Nanopartikel keramik (Pilli *et al.*, 2022)

2.2.4 Nanopartikel Biologis

Bionanopartikel merupakan rakitan atom atau molekul yang disiapkan dalam sistem biologis. Semua jenis bionanopartikel merupakan nanopartikel alami. Nanopartikel ini terbagi menjadi dua kategori diantaranya struktur intraseluler dan struktur ekstra seluler. Beberapa jenis bionanopartikel meliputi magnetosom, feritin, lipoprotein, virus dan lain-lain.



Gambar 5. Nanopartikel Biologis (Gupta *et al.*, 2021)

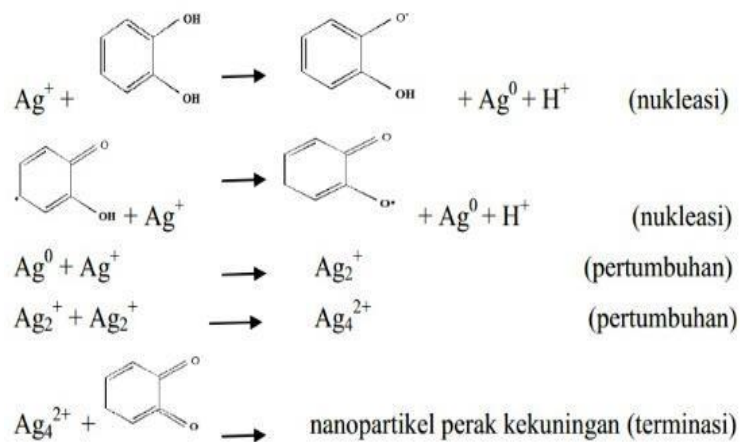
2.3 Nanopartikel Perak (AgNP)

Salah satu jenis nanopartikel dengan peranannya dalam upaya bioremediasi yaitu nanopartikel perak (Ag/argentum). Nanopartikel perak dapat dimasukkan ke dalam aplikasi antimikroba, bahan biosensor, serat komposit, bahan superkonduktor kriogenik, produk kosmetik, komponen elektronik dan lain sebagainya. Beberapa metode fisika dan kimia telah digunakan untuk mensintesis dan menstabilkan nanopartikel perak. Pendekatan kimia yang paling populer, termasuk reduksi kimia menggunakan berbagai agen pereduksi organik dan anorganik, teknik elektrokimia, reduksi fisikokimia, dan radiolisis banyak digunakan untuk sintesis nanopartikel perak.

Beberapa tahun terakhir, sintesis nanopartikel adalah salah satu bidang penelitian ilmiah yang mencuri banyak perhatian dan berkembang pesat untuk memproduksi nanopartikel menggunakan metode ramah lingkungan (teknologi hijau) (Korbekandi dan Iravani, 2014). Sintesis dengan tanaman dapat terjadi karena adanya fitokimia, yang melibatkan flavonoid, terpenoid, keton, aldehida, amida, dan asam karboksilat. Beberapa senyawa larut dalam air seperti

flavonoid, asam organik dan kina yang bertanggung jawab untuk reduksi antara ion. Emodin, dan antrakuinon ditemukan pada xerophytes dan mengalami tautomerisasi, yang mengarah pada pembentukan nanopartikel perak. Sedangkan pada mesofit ditemukan tiga jenis benzokuinon yaitu cyperoquinone, dietchequinone dan remirin. Banyak tumbuhan yang berguna dalam produksi AgNP seperti *Medicago sativa*, *Aloe vera*, *Azadirachta indica* dan daun pelet piper dan banyak lainnya (Ansari *et al.*, 2021).

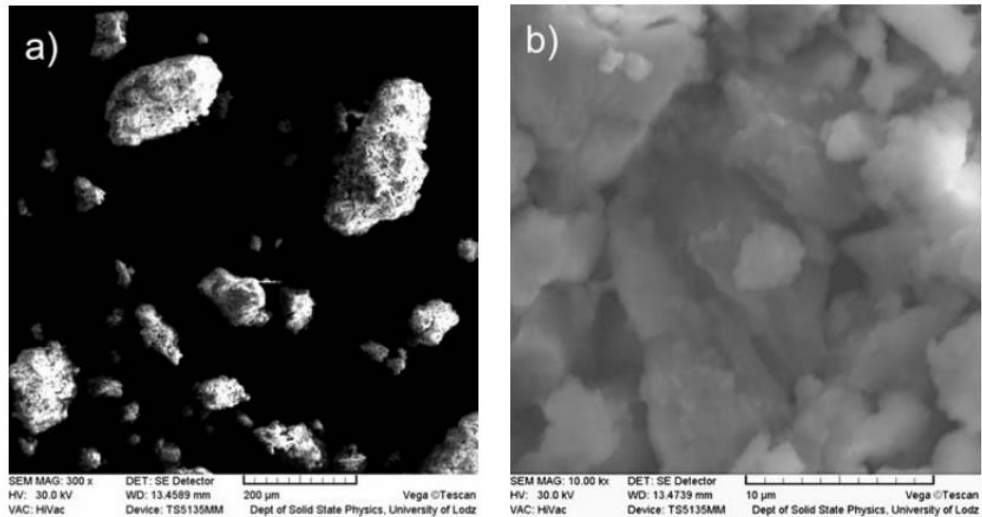
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Purnamasari (2016) nanopartikel perak memiliki kemampuan menghambat bakteri gam positif dan gam negatif. Analisis nanopartikel menggunakan TEM dan didapatkan karakteristik nanopartikel perak berbentuk sferik kristalin dengan ukuran mencapai 11,94 nm dan rata-rata ukuran partikel 37,44 nm dengan struktur *face centered cubic*. Peningkatan konsentrasi AgNO₃ pada nanopartikel perak menunjukkan daya hambat bakteri yang semakin menurun. Adapun mekanisme pembentukan nano partikel perak menggunakan AgNO₃ seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Mekanisme pembentukan nanopartikel perak (Purnamasari, 2016)

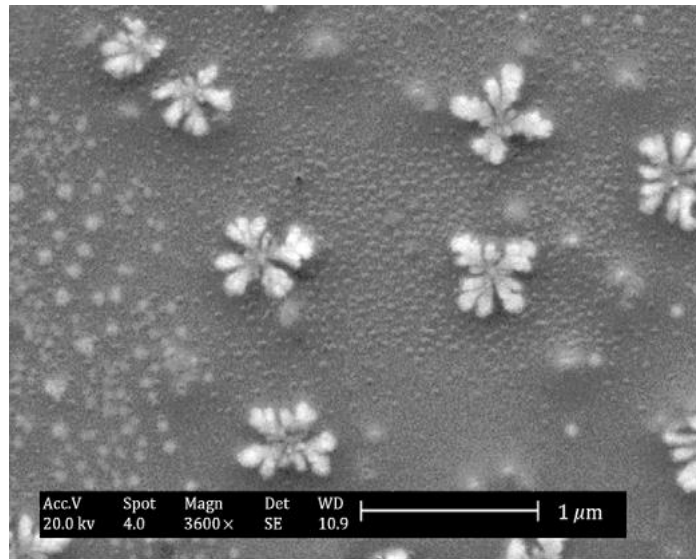
Studi mengenai karakterisasi AgNP melalui pengamatan di bawah mikroskop telah dilakukan pada tahun 2007. Sampel disintesis dari bubuk perak yang diproduksi oleh Amepox Microelektronics. Hasil sintesis AgNP dianalisis menggunakan mikroskop SEM (*Scanning Elektron Microscope*) Vega 5135 MM. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan perbesaran 300x

yang mewakili pemeriksaan area permukaan $800 \times 800 \mu\text{m}^2$. Pada area yang diamati, terlihat objek dengan ukuran $200 \mu\text{m}^2$ hingga $300 \mu\text{m}^2$ (Phucalski *et al.*, 2007).



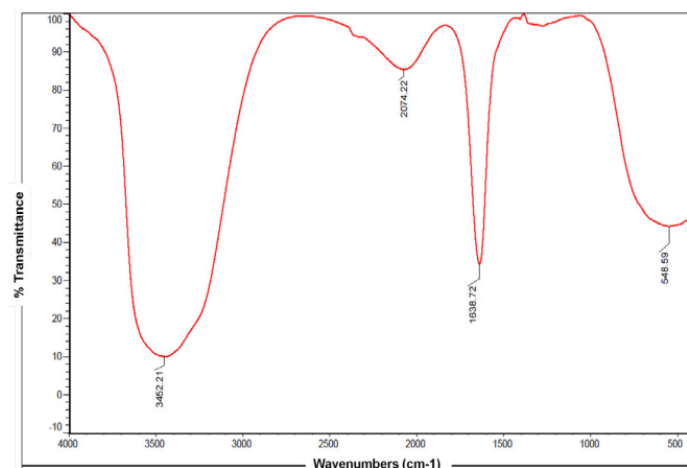
Gambar 7. Karakterisasi dengan mikroskop SEM (A) Perbesaran 300x, (B) Perbesaran 10.000x (Phucalski *et al.*, 2007)

Pada penelitian lainnya terkait sintesis hijau AgNP telah dilakukan pada tahun 2011 oleh Zonooz dan Salouti dengan memanfaatkan *Sterptomyces* sp. ERI-3. Pada **Gambar 7** disajikan permukaan AgNP yang disintesis pada suhu ruang. Penggabungan partikel membentuk struktur yang terlihat seperti bunga. Proses pembentukan struktur nano menjadi struktur yang lebih besar disajikan pada **Gambar 8**. Pembentukan struktur tersebut melalui interaksi nanoskala merupakan proses penting dalam sintesis.



Gambar 8. Visualisasi AgNP melalui mikroskop SEM (Zonooz dan Salouti, 2011)

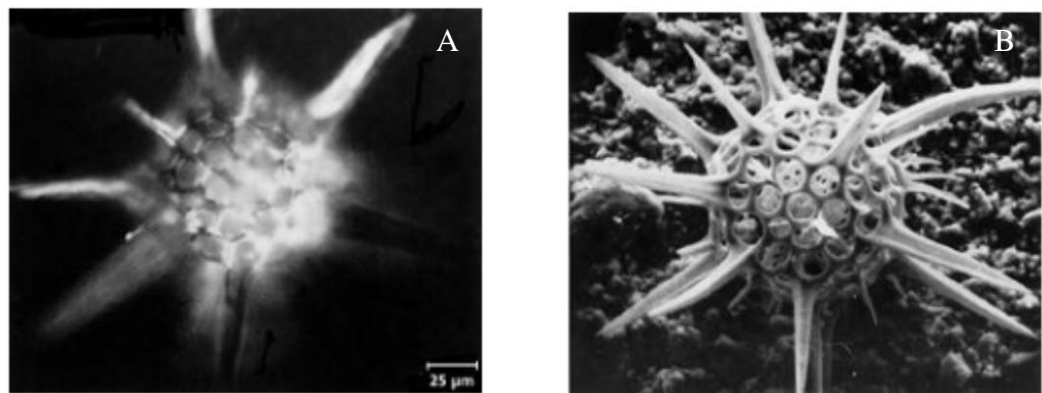
Teknik karakterisasi AgNP lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FT-IR. Analisis FT-IR dilakukan untuk mengetahui kemungkinan keberadaan biomolekul yang bertanggung jawab atas reduksi ion Ag^+ dan stabilisasi AgNP serta mendeteksi keberadaan *capping* dalam media cair. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, analisis AgNP dengan spektrofotometer FT-IR menghasilkan puncak serapan pada bilangan 548,59; 1638; 2074 dan 3452cm^{-1} yang disajikan pada **Gambar 9**. (Khandel *et al.*, 2018).



Gambar 9. Spektrum FT-IR dari AgNP yang disintesis secara biologis (Khandel *et al.*, 2018)

2.4 Mikroskop SEM (*Scanning Elektron Microscope*)

Teknik karakterisasi nanopartikel untuk melihat visualisasi permukaan yaitu dengan menggunakan mikroskop SEM. Berdasarkan buku karangan Goldstein *et al.* tahun 2017, SEM memungkinkan pengamatan dan karakterisasi bahan organik maupun anorganik heterogeny dalam skala nanometer (nm) hingga mikrometer (μm). SEM memiliki kemampuan untuk mendapatkan visualisasi permukaan tiga dimensi berbagai material. Fitur penting lainnya dari SEM yaitu kedalaman bidang atas tampilan tiga dimensi dari gambar specimen. **Gambar 10** (A) menunjukkan kerangka organisme laut *Trochodiscus longispinus* menggunakan mikroskop cahaya dan **Gambar 10** (B) menunjukkan objek yang sama menggunakan SEM.

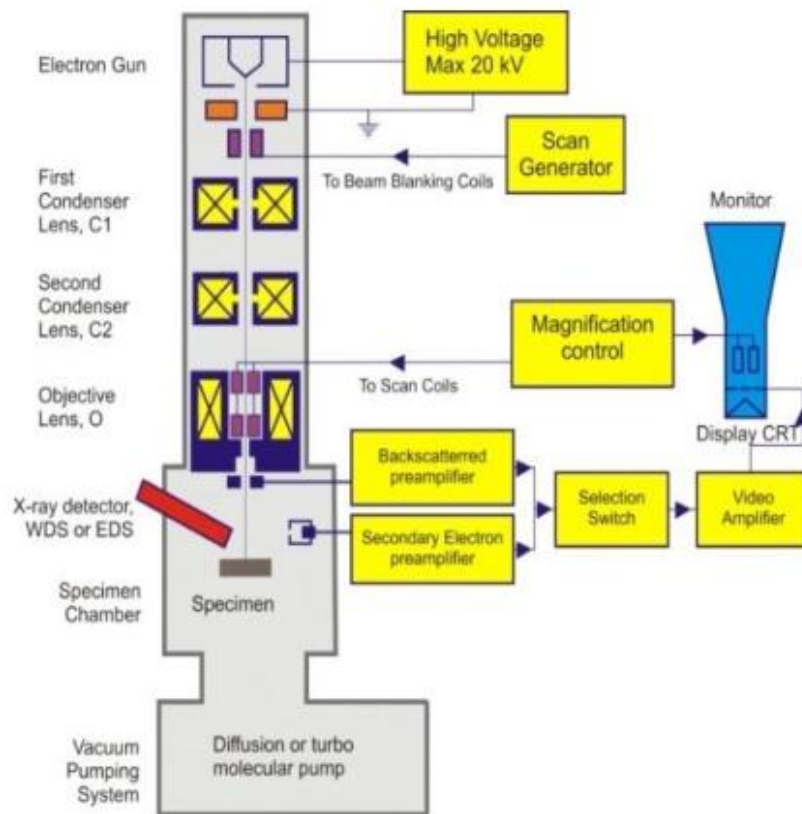


Gambar 10. Visualisasi kerangka *Trochodiscus longispinus* (A) mikroskop cahaya (B) SEM (Goldstein *et al.*, 2017)

Menurut Sujatno *et al.* (2015) komponen utama SEM terdiri dari tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, selanjutnya dua pasang *scan coil* di-*scan* dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas yang difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dipakai. Komponen berikutnya yaitu sumber elektron umumnya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum. Lantanum Hexaboride LaB₆ atau Cerium Hexaboride CeB₆ dapat menyediakan berkas elektron yang memiliki energi tunggal (monokromatik). Lalu ketiga adalah *imaging detector* yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/*image*.

Prinsip kerja SEM adalah menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi (Kurniawan dan Perdana, 2022). Skema kerja SEM menurut Beri dan Sanjaya (2012) terdiri dari beberapa tahapan meliputi:

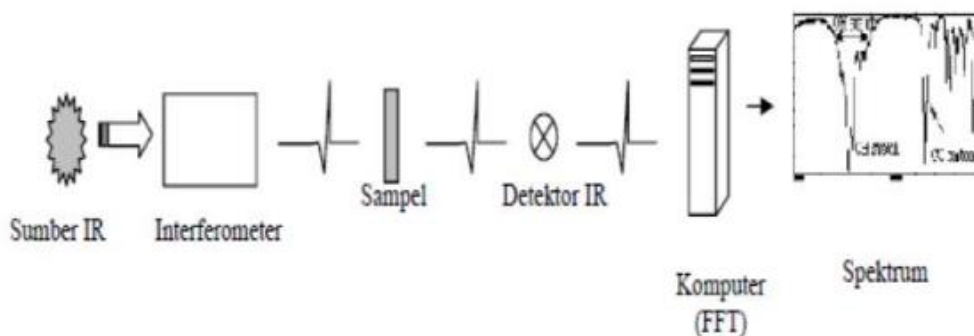
1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinyal elektron dan dipercepat dengan anoda
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel
3. Sinyal elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor.



Gambar 11. Diagram blok SEM (Sujatno *et al.*, 2015)

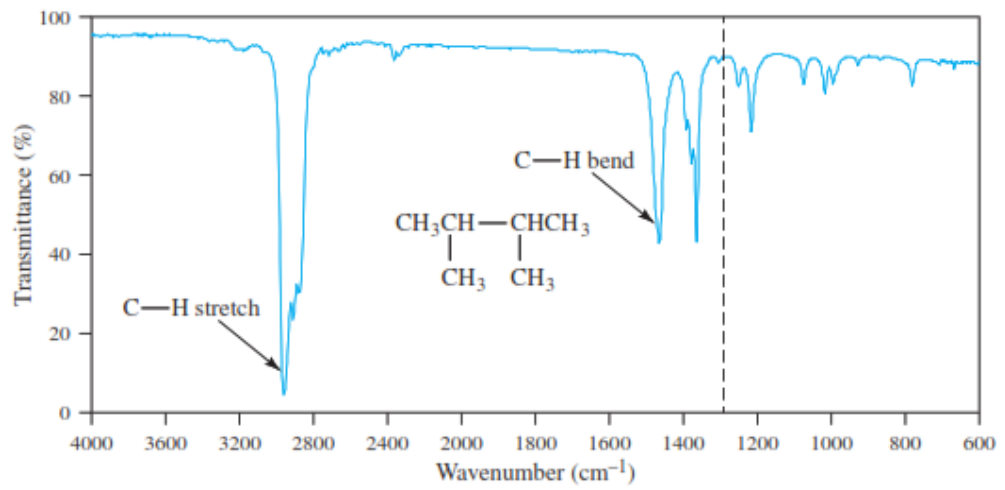
2.5 FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

FT-IR pertama kali digunakan untuk mengidentifikasi senyawa organik oleh ahli kimia pada tahun 1950. Perkembangan FT-IR memberikan dampak signifikan dalam proses identifikasi sampel organik, anorganik dan biologis. Spektroskopi FT-IR memiliki definisi Teknik pengukuran untuk mengumpulkan spektrum inframerah. Energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam, kemudian diteruskan ke interferometer. Sinar pengukuran sampel diubah menjadi interferogram. Perhitungan secara matematika *Fourier Transform* untuk sinyal tersebut akan menghasilkan spektrum yang identik pada spektroskopi inframerah (Stepanus *et al.*, 2018). FT-IR dapat mengukur secara cepat gugus fungsi tanpa merusak dan mampu menganalisis beberapa komponen secara bersamaan. Berikut disajikan skema analisis menggunakan metode FT-IR.



Gambar 12. Skema proses perubahan sinyal pada sistem FT-IR (Fitriani, 2020)

Pada spektroskopi inframerah, molekul-molekul distimulasi ke energi yang lebih tinggi pada saat molekul-molekul ini menyerap radiasi inframerah (IR). Absorpsi radiasi IR merupakan suatu proses kuantifikasi yang mana hanya energi tertentu yang dapat diserap oleh molekul. Berdasarkan buku *Principles of Instrumental Analysis*, terdapat beberapa kelompok frekuensi golongan (bilangan gelombang) gugus fungsi organik meliputi C=O, C=C, C-H, C≡C dan O-H. Bilangan gelombang tersebut tersaji dalam spektrum hasil seperti pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Contoh hasil analisis FT-IR (Skoog *et al.*, 2013)

Dalam membaca spektrum hasil FT-IR ditinjau melalui bilangan gelombang dan gug frekuensi fungsional organik yang tercantum pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Gup frekuensi fungsional organik (Skoog *et al.*, 2013)

Ikatan	Tipe Senyawa	Rentang Frekuensi (cm ⁻¹)	Intensitas
C-H	Alkana	2850-2970	Kuat
		1340-1470	Kuat
C-H	Alkena	3010-3095	Medium
		675-995	Kuat
C-H	Alkuna	3300	Kuat
C-H	Cincin aromatik	3010-3100	Medium
		690-900	Kuat
O-H	Alkohon monomerik, fenol	3590-3650	Variabel
	Alkohol berikatan dengan hidrogen, fenol	3200-3600	Variabel
	Asam karboksilik monomerik	3500-3650	Medium
	Hidrogen berikatan dengan asam karboksilik	2500-2700	<i>Broad</i>
N-H	Amina, amida	3300-3500	Medium
C=C	Alkena	1610-1680	Variabel
C=C	Cincin aromatik	1500-1600	Variabel
C≡C	Alkuna	2100-2260	Variabel
C-N	Amina, Amida	1180-1360	Kuat
C≡N	Nitril	2210-2280	Kuat
C-O	Alkohol, eter, asam karboksilik, ester	1050-1300	Kuat
C=O	Aldehyd, keton, asam karboksilik, ester	1690-1760	Kuat
NO ₂	Semyawa nitro	1500-1570	Kuat
		1300-1370	Kuat

2.6 Pencemaran Air

Pencemaran air terjadi akibat pembuangan limbah yang tidak dikelola dengan baik. Aktivitas manusia menghasilkan limbah dalam jumlah besar yang tidak mampu diurai oleh alam secara keseluruhan atau pembersihan secara alami sehingga menimbulkan berbagai macam cemaran salah satunya pada wilayah perairan. Wilayah perairan yang menampung air adalah sungai. Sungai dipengaruhi oleh banyak faktor seperti adanya kegiatan manusia di sekitar dan faktor alam. Daerah aliran sungai sebagai ekosistem terbuka mendapatkan banyak masukan seperti limbah rumah tangga dan limbah industri.

Salah satu masalah regional maupun global yakni pencemaran air. Pencemaran air berhubungan dengan penggunaan lahan tanah, daratan dan pencemaran udara. Pencemaran merupakan penyimpangan yang terjadi di alam dari keadaan normalnya (Bahagia *et al.*, 2020). Sungai memiliki kandungan bahan organik dan anorganik yang tinggi bersumber dari aktivitas masyarakat berupa pembuangan limbah cair ke sungai seperti mandi, cuci dan kakus (MCK) yang menyebabkan menurunnya kualitas air. Air limbah domestik yang berasal dari hasil buangan kegiatan rumah tangga pada bantaran sungai yang langsung dialirkan menuju saluran drainase atau langsung masuk menuju sungai. Meningkatnya debit air limbah domestik yang dihasilkan dapat menyebabkan meningkatnya beban pencemaran air limbah domestik. Pencemaran air limbah domestik dapat menyebabkan meningkatnya parameter fisika, kimia dan biologi dalam air sungai sehinggamelebihi batas baku mutu. Kualitas air sungai tersebut dapat dilihat dari parameter COD dan BOD yang dibandingkan dengan baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No.82 tahun 2001 (Anwariani, 2019).

Jika air sungai cukup deras dan lancar serta pengenceran cukup (daya dukung lingkungan masih baik) maka air buangan tersebut tidak menimbulkan masalah. Tetapi jika daya dukung lingkungan sudah terlampaui, maka air buangan yang banyak mengandung bahan-bahan organik akan mengalami proses peruraian oleh jasad renik dapat mencemari lingkungan.

2.7 Pengolahan Air Limbah

2.7.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Analisis kualitas air sungai menggunakan parameter kimia organik yang terukur yaitu BOD. BOD adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa-senyawa kimia. Nilai BOD bermanfaat untuk mengetahui apakah air limbah tersebut mengalami biodegradasi atau tidak. Oksidasi berjalan sangat lambat dan secara teoritis memerlukan waktu tak terbatas. Dalam waktu 5 hari (BOD_5), oksidasi organik karbon akan mencapai 60-70 % dan dalam waktu 20 hari akan mencapai 95 % (Ashar, 2020). Adapun rumus menghitung BOD berdasarkan Jurnal Kimia Sains dan Terapan (2020) sebagai berikut:

$$BOD_5 = (A_1 - A_2) - (B_1 - B_2) \times P$$

Keterangan:

A_1 = Nilai DO awal sebelum inkubasi (mg/L)

A_2 = Nilai DO akhir setelah inkubasi (mg/L)

B_1 = Nilai DO dari blanko sebelum inkubasi (mg/L)

B_2 = Nilai DO dari blanko setelah inkubasi (mg/L)

P = Perbandingan volume sampel uji per volume total

Pada penelitian ini, pengambilan nilai BOD mengacu pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia No.P68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016. Pada peraturan tersebut, tertulis baku mutu air limbah domestik untuk nilai BOD maksimum yaitu 30 mg/L. Pemeriksaan nilai BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan pemukiman, serta untuk mendesain sistem pengolahan biologis yang tepat untuk air tercemar.

2.7.2 TSS (*Total Suspended Solids*)

TSS merupakan material padat dalam perairan yang tersuspensi berupa zat organik maupun anorganik. Materi padat TSS dapat berupa pasir, lumpur, tanah dan logam berat. Nilai TSS yang tinggi menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi (Fathiyah *et al.*, 2017). TSS yang tinggi dalam perairan dapat menyebabkan cahaya matahari sulit masuk sehingga ekosistem terganggu dan dapat menyebabkan pendangkalan (Siswantari, 2018). Tinggi rendahnya nilai TSS dapat disebabkan oleh 23 embal hidrologi perairan meliputi pasang surut, suhu, salinitas, pH, arus dan kecerahan (Arifelia *et al.*, 2015).

2.7.3 pH

Derajat keasaman atau pH menggambarkan aktivitas potensial ion hidrogen dalam larutan yang dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (mol/L) pada suhu tertentu atau $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$. Air murni memiliki $\text{pH} = 7$ dan dinyatakan netral, sedangkan pada air payau normal berkisar antar 7-9. Konsentrasi pH berpengaruh pada tingkat kesuburan suatu perairan karena mempengaruhi kehidupan jasad renik. Perairan yang asam cenderung menyebabkan kematian pada ikan demikian pula jika nilai basa terlalu tinggi. Proses penguraian bahan organik akan lebih cepat pada keadaan basa. Oleh karena itu, perubahan nilai pH akan mempengaruhi sebaran kimia perairan yang berdampak pada organisme di dalamnya (Supriatna *et al.*, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2022 – Mei 2023. Persiapan sampel dilaksanakan di Laboratorium Botani Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Uji FT-IR dan analisis menggunakan SEM dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT), Universitas Lampung. Pengujian lanjut meliputi uji BOD₅, TSS dan pH dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Jawa Barat.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

3.2.1. Preparasi Sampel Eceng Gondok

Alat yang digunakan meliputi blender, timbangan analitik, erlenmeyer 250 ml, spatula, gelas ukur, *hot plate stirrer* dan oven. Bahan yang diperlukan meliputi sampel eceng gondok, aquades, kertas dan aquades.

3.2.2. Penyaringan Sampel

Alat yang digunakan meliputi kertas *Whatman* no.42, filtrasi vakum (corong buchner, *buchner flask*, pompa vakum) dan spatula. Bahan yang dibutuhkan yaitu larutan eceng gondok.

3.2.3. Pembuatan Larutan AgNO₃

Alat yang digunakan meliputi botol kaca, gelas beaker, timbangan analitik dan spatula. Bahan yang dibutuhkan meliputi aluminium foil, serbuk AgNO₃ dan aquades.

3.2.4. Sintesis AgNP

Alat yang digunakan meliputi gelas ukur 50 ml, erlenmeyer 250 ml, beaker glass 500ml, botol kaca, *hotplate* dan *magnetic stirrer*. Bahan yang dibutuhkan meliputi larutan AgNO₃ dan filtrat eceng gondok.

3.2.5. Analisis AgNP Ekstrak Eceng Gondok

Alat yang digunakan botol sampel, SEM dan FT-IR. Bahan yang digunakan yaitu AgNP.

3.2.6. Perhitungan Kadar BOD₅, TSS dan pH

Alat yang digunakan untuk analisis nilai BOD₅ meliputi botol BOD, thermostat, pipet volumetrik, pH meter dan DO meter. Alat yang digunakan untuk analisis TSS adalah alat pengukur TSS seperti turbidimeter. Alat yang digunakan untuk mengukur pH yaitu pH meter. Bahan utama yang diperlukan dalam analisis lanjutan yaitu sampel air sungai yang telah dicampur dengan AgNP. Bahan yang digunakan dalam analisis BOD₅ meliputi larutan awal seperti larutan nutreïn (fosfat dan nitrat), larutan KmnO₄, asam sulfat dan larutan Na₂S₂O₃.

3.3 Metode

Metode penelitian berupa pengujian secara kuantitatif. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan meliputi preparasi sampel, penyaringan, pembuatan larutan AgNO₃, sintesis AgNP, analisis AgNP, pengujian efektivitas AgNP terhadap parameter nilai BOD₅, TSS dan pH.

3.3.1. Preparasi Sampel Eceng Gondok

Sampel eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) diperoleh dari Pemancingan Harian Chandra, Kota Sepang, Labuhan Ratu, Kedaton, Bandar Lampung, Lampung. Penelitian ini menggunakan bagian daun eceng gondok yang telah dicuci hingga bersih menggunakan akuades dan dikeringkan selama 2 hari. Pengeringan pertama dilakukan pada suhu 30 °C selama 24 jam. Pada hari kedua, pengeringan dilakukan pada suhu 40 °C. Setelah kering, dilakukan proses penghalusan menggunakan blender dan penimbangan sebanyak 5 g daun tersebut yang kemudian dihaluskan dengan penambahan aquades sebanyak 100 ml menggunakan mortar pestel. Setelah tercampur, pemanasan ekstrak eceng gondok tersebut dilakukan menggunakan *hot plate* hingga mendidih. Setelah itu, larutan didinginkan pada suhu ruang (Kasim, 2020).

3.3.2. Penyaringan Sampel

Ekstrak eceng gondok disaring menggunakan kertas Whatman no.42 dengan bantuan vakum agar waktu yang dibutuhkan pada proses filtrasi lebih efektif. Filtrat yang dihasilkan akan digunakan pada tahapan berikutnya (Yanti dan Astuti, 2018).

3.3.3. Pembuatan Larutan AgNO₃

Pembentukan larutan AgNO₃ diperoleh dari pencampuran 0,068 g serbuk AgNO₃ kedalam aquades sebanyak 250 ml pada gelas beaker dan dihomogenkan (Matutu, 2016). Pada penelitian ini dibutuhkan sebanyak 4 L larutan AgNO₃ sehingga jumlah total serbuk AgNO₃ yang digunakan berkisar 1,088 g.

3.3.4. Sintesis AgNP

Sintesis AgNP dilakukan dengan mereaksikan AgNO₃ sebanyak 40 ml dan 1 ml ekstrak eceng gondok ke dalam erlenmeyer 250 ml. Pencampuran larutan dilakukan dengan *magnetic stirrer* hingga terjadi perubahan warna (Taba *et al.*, 2019).

3.3.5. Analisis AgNP Ekstrak Eceng Gondok

Pada penelitian ini, karakterisasi AgNP berupa warna larutan, bentuk permukaan dan gugus fungsi dilakukan dengan analisis laboratorium berupa pengamatan menggunakan SEM dan analisis FT-IR (Kasim, 2020).

3.3.6. Pengujian AgNP terhadap Air Tercemar

Pengujian efektivitas AgNP dilakukan dengan mencampurkan AgNP dan air tercemar dengan berbagai perbandingan konsentrasi meliputi 1:1 (500 ml AgNP dan 500 ml air sungai), 1:2 (333.3 ml AgNP dan 666.67 ml air sungai), 1:3 (250 ml AgNP dan 750 ml air sungai) dan 1:4 (200 ml AgNP dan 800 ml air sungai) menggunakan botol sampel 1 L dengan pengulangan 3 kali. Total botol sampel untuk pengujian lanjutan sebanyak 13 botol. Pengujian lanjutan yang dilakukan menggunakan tiga parameter meliputi nilai BOD₅, TSS dan pH yang dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Daerah Jawa Barat.

3.3.7. Perhitungan Kadar BOD₅, TSS dan pH

Perhitungan kadar BOD₅ dilakukan dengan penambahan larutan nutrein pada sampel. Lalu dilakukan pengukuran DO awal menggunakan DO meter dengan keterangan (DO₀). Setelah pengukuran DO awal, tambahkan larutan KmnO₄ untuk mengukur nilai BOD₅ awal. Tunggu beberapa saat hingga proses oksidasi selesai kemudian ukur kembali. Kemudian dilakukan inkubasi selama 5 hari pada suhu konstan berkisar 20 °C. Setelah periode inkubasi selesai, buka tutup botol BOD lalu ukur Kembali menggunakan DO meter sebagai nilai DO akhir. Untuk

menghilangkan kelebihan KmnO_4 , dilakukan titrasi menggunakan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Hitung perubahan nilai DO lalu disubstitusikan ke dalam rumus BOD_5 . Analisis TSS dilakukan menggunakan alat pengukur TSS pada masing-masing sampel. Lalu untuk pH menggunakan pH meter. Baku mutu nilai BOD_5 , TSS dan pH mengacu pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia No.P68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Baku mutu parameter pengujian

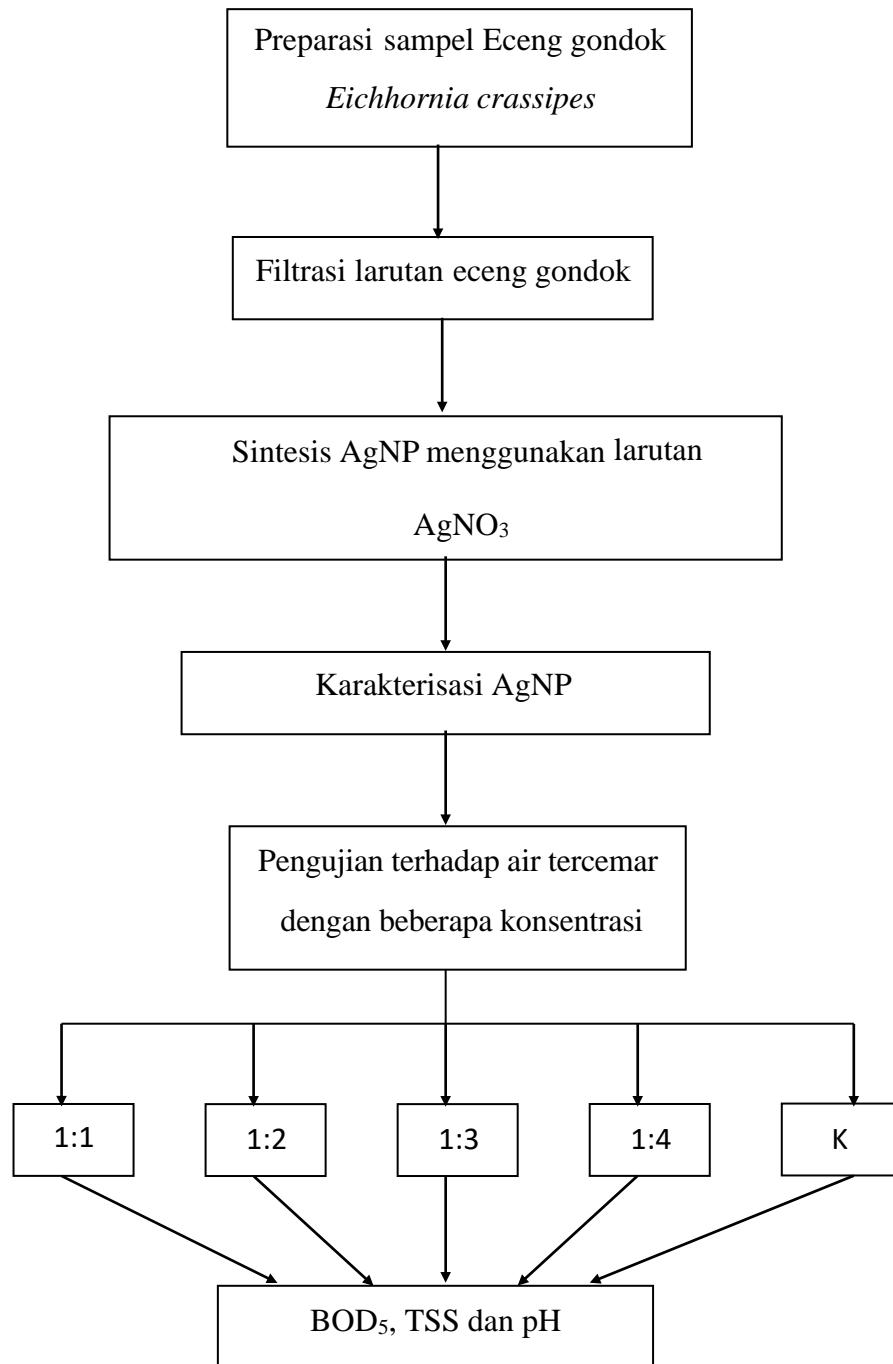
Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
BOD_5	mg/L	30
TSS	mg/L	30
pH	-	6-9

3.4 Analisis Data

Data hasil pengujian berupa perbandingan dari setiap konsentrasi AgNP terhadap air sungai yang tercemar dengan tiga parameter yaitu BOD_5 , TSS dan pH yang masing-masing sampel dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Data hasil disajikan dalam bentuk grafik dan tabel menggunakan uji ANOVA *One Way*. Penggunaan uji ANOVA ini berdasarkan jenis data yang didapatkan yaitu kategorik dan numerik yang mana lebih dari dua kelompok. Dengan uji ANOVA dapat menganalisis perbedaan rata-rata yang signifikan antara kelompok, dapat digunakan dalam berbagai desain penelitian dengan bermacam variasi dan menjadi hipotesis yang kuat untuk membandingkan kelompok yang berbeda.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari penelitian “Sintesis Hijau Nanopartikel Perak (AgNP) menggunakan Ekstrak Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Agen Bioremediasi Perairan” dapat dilihat pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan:

1. Sintesis hijau AgNP menggunakan bioreduktor eceng gondok berhasil dilakukan dalam bentuk cair pada skala laboratorium.
2. Karakteristik AgNP yang didapatkan meliputi warna larutan coklat pekat, bentuk permukaan seperti bunga kristal serta terdeteksi senyawa fenolik berupa flavonoid dan molekul alkuna yang berperan dalam sintesis AgNP.
3. Berdasarkan pengujian pH, BOD₅ dan TSS beserta analisis *One Way* ANOVA, didapatkan hasil bahwa pemberian AgNP berpengaruh signifikan. Nilai BOD₅ dan TSS signifikan menurun namun belum mencapai standar nilai baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia No. P68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016. Sementara itu, nilai pH dinyatakan mengalami kenaikan signifikan dan telah mencapai standar baku mutu.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan uji kualitas air terhadap limbah tertentu dengan pemberian AgNP melalui metode sintesis hijau dalam upaya perbaikan lingkungan dengan variasi konsentrasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S., Munir S., Zeb N., Ullah A., Khan B., Ali J., Bilal M., Omer M., Alamzeb M., Salman S. M. dan Ali S. 2019. Geen Nanotechnology: a Review on Geen Synthesis of Silver Nanoparticles an Ecofriendly Approach. *International Journal of Nanomedicine*. 14(2019): 5087–5107.
- Ambrosio, C. N., Marina E. I. dan Diana C. S. 2021. Color Properties of Silver Nanoperticle Composites. *Plasmonics*. 17: 31-42.
- Andika, B., Puji W. dan Rahmatul F. 2020. Penentuan Nilai BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *Jurnal Kimia Sains dan Terapan*. 2(1): 14-22.
- Aliah, N. dan Rachmat W. 2021. Pemanfaatan Eceng Gondok dalam Pembuatan Pupuk di Puri Taman Sari Kec. Tamalate Kota Makassar. [*Prosiding SENMASTER*]. 1(2021); 91-99.
- Ansari, S. M., Quaiser S., Valeria D. M., Hend A. A., Sulaiman A. A. dan Abdulaziz A. A. 2021. Makroalga Laut Menghasilkan Khasiat Bioreduktor untuk Pembuatan Nanopartikel Logam: Mekanisme Intra/Ekstraseluler dan Aplikasi Biomedis Potensial. *Bioinorganik Chemistry and Application*. 2021: 1-26.
- Anwariani, D. 2019. Pengaruh Air Limbah Domestik terhadap Kualitas Sungai. Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta,
- Arifelia, D. R., Gusti D. dan Heron S. 2015. Analisis Kondisi Perairan Ditinjau dari Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dan Sebaran Klorofil-A di Muara Sungai Lumpur, Sumatera Selatan. *Marine Science Research Journal*. 9(2): 95-104.
- Ashar, Y. K. 2020. Analisis Kualitas (BOD, COD, DO) Air Sungai Pesanggaan Desa Rawadenok Kelurahan Rangkaan Jaya Baru Kecamatan Mas Kota Depok. [*skripsi*]. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan.

- Bahagia, Suhendrayatna dan Zulkifli A. K. 2020. Analisis Pencemaran Air Sungai Krueng Tamiang terhadap COD, BOD dan TSS. *Jurnal Serambi Engineering*. 5(3): 1099-1106.
- Beri, D. dan Hary S. 2012. *Analisis Instrumen: XRD, XRF, SEM, DTA, TGA dan DSC*. Universitas Negeri Padang. Padang.
- Cha, H., Daedu L., Jun H. Y. dan Sangwoon Y. 2016. Plasmon Coupling Between Silver Nanoparticles: Transition from The Classical to The Quantum Regime. *Journal of Colloid and Interface Science*. 464: 18-24.
- Daramusseng, A. dan Syamsir. 2021. Studi Kualitas Air Sungai Karang Mumus Ditinjau dari Parameter *Escherichia coli* untuk Keperluan Higiene Sanitasi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 20(1): 1-6.
- Dinasi, S. W., Ery S. dan Heri S. 2022. Kajian Pengaruh Penggunaan Lahan Terhadap Kualitas Air Guna Pengendalian Pencemaran Air Pada Waduk Pandanduri Sungai Palung di Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Media Bina*. 17(2): 201-212.
- Fadzry, N., Habibi H. dan Endah E. 2020. Analisis COD, BOD dan DO pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Balai Pengelolaan Infrastruktur Air Limbah dan Air Minum Perkotaan Dinas PUP-ESDM Yogyakarta. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 5(2):80-89.
- Fathiyah, N., Tjong G. P. dan Ratna S. 2017. Pola Spasial dan Temporal *Total Suspended Solid* (TSS) dengan Citra SPOT di Estuari Cimandiri, Jawa Barat. *Industrial Research Workshop and National Seminar*. 26(27): 518-526.
- Feni, R., Edy M. dan Neti K. 2022. Sosialisasi Manfaat Dan Pembuatan Pupuk Kompos Eceng Gondok Bagi Kelompok Wanita Tani Desa Kungkai Baru Kabupaten Seluma. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bumi Raflesia*. 5(2): 918-923.
- Fitriani. 2020. Analisis Sidik Jari Daun Pepaya (*Carica papaya* L) menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR dan Kemometrik. [Skripsi]. Fakultas Farmasi. Universitas Bhakti Kencana. Bandung.
- Gazali, M. dan Agus W. 2021. Analisis Kualitas dan Perumusan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Bangkahulu Bengkulu. *Journal of Nursing and Public Health*. 9(1): 54-60.
- Goldstein, J. I., Dale E. N., Patrick E., David C. J., Charles E. L., Eric L., Linda S. dan Joseph R. M. 2017. *Scanning Elektron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (Edisi ke-3). Springer. New York.
- Gufran, M. dan Mawardi. 2019. Dampak Pembuangan Limbah Domestik terhadap Pencemaran Air Tanah di Kabupaten Pidie Jaya. *Serambi Engineering*. 4(1): 416-425.

- Guo, X., Zebin W., Penn C. J., Tianfen X. dan Qitang W. 2013. Effect of Soil Washing and Liming on Bioavailability of Heavy Metals in Acid Contaminated Soil. *Soil Science Society of America Journal*. 77(2): 432-441
- Gupta, S., Kesarwani P. dan Muthu M. S. 2021. Nanoparticles and Convergence of Artificial Intelligence for Targeted Drug Delivery for Cancer Therapy: Current Progress and Challenges. *Journal of Controlled Release*. 337: 253-269.
- Hublikar, L. V., Sharanabasava V. G., Narasimha R., Veerabhadragouda B. P. dan Nagaraj R. B. 2021. Green Synthesis Silver Nanoparticles Via *Eichhornia crassipes* Leaves Extract and Their Applications. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 4: 1-12.
- Ijaz, I., Ezaz G., Ammara N. dan Aysha B. 2020. Detail Review on Chemical, Physical and Green Synthesis, Classification, Characterizations and Applications of Nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 3(3): 223-245.
- Indah, L. S., Boedi H. dan Prijadi S. 2014. Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia* sp.), Kangkung Air (*Ipomea* sp.), dan Kayu Apu (*Pistia* sp.) dalam Menurunkan Bahan Organik Limbah Industri Tahu (Skala Laboratorium). *Diponegoro Journal Of Maquares*. 3: 1-6.
- Jamkhande, P. G., Namrata W. G., Abdul H. B. dan Mohan G. K. 2019. Metal Nanoparticles Synthesis: an Overview on Methods of Preparation, Advantages and Disadvantages, and Applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 53: 1-51.
- Javed, R., Muhammad Z., Sania N., Samson O. A., Noor U. A. dan Qiang A. 2020. Role of Capping Agents in The Application of Nanoparticles in Biomedicine and Environmental Remediation: Recent Trends and Future Prospect. *Journal of Nanobiotechnology*. 18(172): 1-15.
- Jini, D., Sharmila S., Anitha A., Mahalaksmi P. dan Rajpaksha R. M. H. 2022. In Vitro and In Silico Studies of Silver Nanoparticle (AgNPs) from *Allium sativum* Against Diabetes. *Scientific Reports*. 12: 1-13.
- Kasim, S., Paullina T., Ruslan dan Romianto. 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Bioreduktor. *Jurnal Riset Kimia*. 6(2): 126-133.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. Capaian Kinerja Pengolahan Sampah. Diakses pada 15 Oktober 2022 melalui sinpsn.menlhk.go.id/sipnsn/
- Khandel, P., Sushil K. S., Leeladhar K., Ravi K. Y. dan Deepak K. S. 2018. Biochemical Profiling of Microbes Inhibiting Silver Nanoparticles using

- Symbiotic Organisms. *International Journal of Nano Dimension*. 9(3): 273-285.
- Korbafo, E dan Janrigo K. M. 2022. Pengukuran Kualitas Air *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Dissolved Oxygen* (DO) pada Mata Air Oepura, Sagu dan Amnesi di Kota Kupang Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Saintek Lahan Kering*. 5(1): 15-17.
- Korbekandi, H. dan Siavash I. 2014. Silver Nanoparticles. *The Delivery of Nanoparticles*. InTech. Iran.
- Kurniawan, E. dan Fitra P. 2022. Proses Transesterifikasi Limbah Minyak Goreng Bekas menggunakan Katalis CaO dari Limbah Cangkang Bekicot (*Achatina fulica*). *Inovasi Teknik Kimia*. 7(1): 9-17.
- Marjefri. 2019. Pemanfaatan Tanaman Eceng Gondok (*Echhornia crassipes*) sebagai Kompos di Kecamatan Danau Kerinci Kabupaten Kerinci Tahun 2019. [Skripsi]. Progam Studi D3 Sanitasi, Jurusan Kesehatan Lingkungan, Politeknik Kesehatan KEMENKES Padang.
- Lotsch, P. F., Elissa M. G. dan Catherine J. M. 2020. New Advances in Nanotechnology-based Diagnosis and Therapeutics for Breast Cancer: An Assessment of Active-Targeting Inorganik Nanoplatforms. *Bioconjugate Chemistry*. 28(1): 135-152.
- Matutu, J. M. dan Taba P. 2016. *Sintesis Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi Menggunakan Buah Merah (Garcinia mangostana L.) sebagai Bioreduktor*. Semantic Scholar. Universitas Hasanudin. Makassar.
- Mehwish, H. M., Muhammad S. R. R., Yongai X., Huiming C., Rana M. A., Qaisar M., Zhendan H. dan Qinchang Z. 2021. Green Synthesis of a Silver Nanoparticle using *Moringa oleifera* Seed and It's Applications for Antimicrobial and Sun-light Mediated Photocatalytic Water Detoxification. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(4): 1-13.
- Melchert, W. R., Boaventura F. R. dan Fábio R. P. R. 2012. Geen Chemistry And The Evolution Of Flow Analysis. *Analytica Chimica Acta*. 714: 8-19.
- Natsir, M. F., Amaludin, Astisa A. L. dan Anzakiyah D. F. 2021. Analisis Kualitas Bod, Cod, Dan TSS Limbah Cair Domestik (Gey Water) Pada Rumah Tangga Di Kabupaten Maros 2021. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*. 4(1): 20-25.
- Ningsih, Y. W., Tomi K., Aprilia N. R., Diah A. P., Daud A. G., Rawi A. P., Astria M. S. dan Wahyu W. 2019. Persepsi Masyarakat terhadap Tanaman Eceng Gondok Rawa Pening di Desa Banyubiru Kabupaten Semarang. *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan*. 3(2): 83-91.

- Parappurath, N. S., Kirubanandam S., Kumar V. dan Ahmed B. 2016. Nanomaterials History, Classifications, Unique Properties, Production and Market. *Chemical Science Journal*. 7(3): 341-384.
- Pilli, G. D., Karthikeyan E., Vijey A. M. dan Palani S. S. A Revised Analysis of Current and Emerging Nano Suspension Technological Approaches for Cardiovascular Medicine. *Journal of Basic Applied Sciences*. 11(10): 1-12.
- Ponsanti, K., Benchamaporn T., Nipaporn N. dan Chiravoot P. 2020. A Flower Shape Geen Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles (AgNPs) with Different Starch as A Reducing Agent. *Journal of Materials Research and Technology*. 9(5): 11003-11012.
- Puchalski, M., Dabrowski P., Olejniczak W., Krukowski P., Kowalczyk P. dan Polanski K. 2007. The Study of Silver Nanoparticles by Scanning Elektron Microscopy, Energy Dispersive X-ray Analysis and Scanning Tunnelling Microscopy. *Materials Science Poland*. 25(2): 473-478.
- Purnamasari, M. D., Harjono dan Nanik W. 2016. Sintesis Antibakteri Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Sirih Dengan Irradiasi Microwave. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 5(2):1-7.
- Putra, V. G. V., Juliany N. M. dan Yusril Y. (2020). Penerapan Gelombang Plasma dalam Mengurangi Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Limbah Batik melalui Corona Plasma dan Elektrokoagulasi dengan Metode Variasi. *Jurnal Ilmu Fisika*. 12(2): 60-69.
- Qu, X., Alvarez P. J. dan Li Q. 2013. Applications of Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment. *Water Research*. 47(12): 3931-3946.
- Rahim, D. M., Netti H. dan Hasri. 2020. Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Teh Hijau (*Camellia sinensis*) dengan Iradiasi Microwave. *Jurnal Chemica*. 21(1): 30-41.
- Rane, A. V., Krishnan K., Abitha dan Sabu T. 2018. Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites. *Synthesis of Inorganik Nanomaterials*. 5(1): 121-139.
- Ratnani, R. D., Indah H. dan Laeli K. 2011. Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk Menurunkan Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, Bau dan Warna pada Limbah Cair Tahu. *Jurnal Momentum*. 7(1): 41-47.
- Santos, L. S. R, Jacqueline R. T., Daiane S. Z., Lucas H. P. S., Fabio F. G. P., Daniela V. M. O. dan Angela K. 2022. Treatment of Agro-Industrial Effluents with Silver Nanoparticles to Reduce Chemical Oxygen Demand and Microorganisms. *Cleaner Waste System*. 3(1): 1-5.

- Selim, H. M. M., Doaa S. S. Mohamed dan Hager M. G. Eskander. 2017. Silver Nanoparticles: Synthesis, Medical Application, and Toxicity Effects. *International Journal of Nanotechnology and Applied Science*. 1(1): 45-53.
- Skoog, D. A., Frederick J. H. dan Stanley R. C. 2016. *Principles of Instrumental Analysis*. Cengage Learning. Boston.
- Setiati, N., Amin R. dan Nur K. D. 2020. Pelatihan Kerajinan Eceng Gondok untuk Menumbuhkan Wirausaha Baru di Kecamatan Banyubiru. *Journal of Dedicators Community*. 4(1): 1-11.
- Siswantari, A. 2018. Uji Coba Penurunan Kadar Total Suspended Solid (TSS) pada Limbah Domestik dengan Metode Fitoremediasi Media Tanaman Ganggang Hijau (*Hydrilla verticillata*). Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Jakarta II. Jakarta.
- Soni, M., Priya M., Anjali S. dan Girish K. G. 2018. Geen Nanoparticles: Synthesis and Aplication. *Journal of Biotechnology and Biochemistry*. 4(3): 78-83.
- Stepanus, Nes Y. K. dan Qmaruzzaman. 2018. *Karakterisasi Superkapasitor melalui Scanning Elektron Microscope dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. Universitas Kristen Indonesia Press. Jakarta.
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Sujatno, A., Rohmad S. dan Arbi D. 2015. Studi Scanning Elektron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*. 9(2): 44-50.
- Supriatna, Mohammad M., Muhammad M. dan Kusriani. 2020. Hubungan pH dengan Parameter Kualitas Air pada Tambak Intensif Udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Fisheries and Marine Reaserch*. 4(3): 368-374.
- Sutiknowati, L. I. 2016. Bioindikator Pencemar, *Eschericia coli*. *Jurnal Oseana*. 12(4): 63-71.
- Taba, P., Paramitha N. Dan Kasim S. 2019. Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polythum*) sebagai Bioreduktor dan Uji Aktivitas Antioksidan. *Indonesian Journal Chemisty Research*. 7(1): 51-60.
- Wahhab, H. A. Abdul dan Hussain H. A. 2021. Environmental Risk Mitigation by Biodiesel Blending from Eichhornia crassipes: Performance and Emission Assessment. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 13(15): 1-16.

- Yanti, W. R. O. Dan Astuti A. 2018. Sintesis Nanokristal Perak Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Jurnal Fisika Unand*. 7(3): 286-291.
- Yulis, P. A. R., Desti dan Asyti F. 2018. Analisis Kadar DO, BOD, dan COD Air Sungai Kuantan Terdampak Penambangan Emas Tanpa Izin. FKIP Universitas Islam Riau, Riau.
- Zahro, N. dan Varradiah C. N. 2020. Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) pada Limbah Domestik dan Timbal di Hilir Sungai Bengawan Solo Gesik sebagai Solusi Ketersediaan Air Bersih Sekarang dan Masa Depan. *Journal of Chemistry and Education*. 4(2): 73-83.
- Zakiyah, A. 2019. Peningkatan Pertumbuhan Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus* L.) Var. Roman Dengan Pupuk Cair Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms.). [Skripsi]. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang.
- Zhang, M. Z., Fei Z., Jing L. D. dan De C. C. 2022. Surface Water Quality Assessment and Contamination Source Identification using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study of The Nanxi River in The Taihu Watershed, China. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 14(778): 1-17.
- Zonooz, N. F. dan Salouti M. 2011. Extracellular Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Cell Filtrate of *Streptomyces* sp. ERI-3. *Scientia Iranica*. 18(6): 1631-1635.