

**EKSTRAK KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.) SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN METODE SINTESIS
HIJAU NANOPARTIKEL PERAK (AgNP)**

Skripsi

**Oleh
NOFA DWITASARI
NPM 2017061021**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

EKSTRAK KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.) SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN METODE SINTESIS HIJAU NANOPARTIKEL PERAK (AgNP)

Oleh

NOFA DWITASARI

Industri tahu di Indonesia didominasi oleh industri dalam negeri dan masih diproduksi dengan menggunakan teknik sederhana. Industri tahu tersebut menghasilkan dua jenis limbah, yaitu limbah padat dan cair. Limbah cair yang dihasilkan industri tahu biasanya langsung dibuang ke lingkungan. Bioremediasi merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengolah air limbah tahu tanpa mencemari lingkungan. Salah satu tumbuhan yang dapat digunakan untuk meremediasi perairan yaitu tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes*). Produksi nanopartikel dengan cara ramah lingkungan dapat dilakukan dengan menggunakan organisme biologis seperti ekstrak tumbuhan yang memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder tumbuhan, seperti polifenol, flavonoid, alkaloid, terpenoid, dan steroid yang terdapat pada tanaman kayu apu. Tujuan penelitian ini adalah membuat nanopartikel perak (AgNP) menggunakan ekstrak kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan mengetahui efektivitas nanopartikel ekstrak kayu apu (*P. stratiotes*) terhadap pH, BOD, COD dan TSS pada sampel air limbah industri tahu. Penelitian ini dilaksanakan pada Mei 2024 - Juni 2024. Hasil penelitian menunjukkan sintesis Nanopartikel Perak (AgNP) dari Ekstrak Kayu Apu berhasil dilakukan dengan metode sintesis hijau dan penggunaan nanopartikel perak yang disintesis dari ekstrak kayu apu menunjukkan hasil yang signifikan pada parameter pH dalam mengurangi tingkat polusi pada limbah cair tahu serta efektif untuk parameter BOD dan COD pada perbandingan 1 : 1.

Kata kunci: limbah cair tahu, kayu apu (*pistia stratiotes*), bioremediasi, nanopartikel perak.

ABSTRAC

WATER LETTUCE EXTRACT (*Pistia stratiotes* L.) AS A BIOREMEDIATION AGENT FOR TOFU INDUSTRIAL WASTEWATER USING GREEN SYNTHESIS METHOD OF SILVER NANOPARTICLES (AgNP)

By

NOFA DWITASARI

The tofu industry in Indonesia is predominantly composed of small-scale domestic industries and is still operated using traditional techniques. These tofu industries generate two types of waste: solid and liquid. The liquid waste produced is often discharged directly into the environment. Bioremediation is a widely used method for treating tofu wastewater without polluting the environment. One of the plants that can be used for water remediation is water lettuce (*Pistia stratiotes*). The production of nanoparticles in an environmentally friendly manner can be achieved using biological organisms such as plant extracts, which contain secondary metabolite compounds like polyphenols, flavonoids, alkaloids, terpenoids, and steroids found in water lettuce. The aim of this study is to synthesize silver nanoparticles (AgNPs) using water lettuce extract (*Pistia stratiotes*) and to determine the effectiveness of the synthesized nanoparticles in improving the pH, BOD, COD, and TSS levels in tofu industrial wastewater samples. This research was conducted from May 2024 to June 2024. The findings of this study demonstrate that silver nanoparticles (AgNPs) were successfully synthesized from *Pistia stratiotes* extract via a green synthesis approach. The application of these biosynthesized AgNPs exhibited a significant impact on the pH parameter, effectively reducing pollution levels in tofu industrial wastewater. Furthermore, the treatment was effective in improving BOD and COD values, particularly at a 1:1 ratio.

Keywords: Tofu wastewater, Water Lettuce (*Pistia stratiotes*), bioremediation, silver nanoparticles.

**EKSTRAK KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.) SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN METODE SINTESIS
HIJAU NANOPARTIKEL PERAK (AgNP)**

Oleh

NOFA DWITASARI

Skripsi

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

Pada

**Program Studi Biologi Terapan
Jurusan Biologi
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

**: EKSTRAK KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.)
SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LIMBAH
CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN
METODE SINTESIS HIJAU NANOPARTIKEL
PERAK (AgNP)**

Nama Mahasiswa

: **Nofa Dwitarsari**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2017061021**

Program Studi

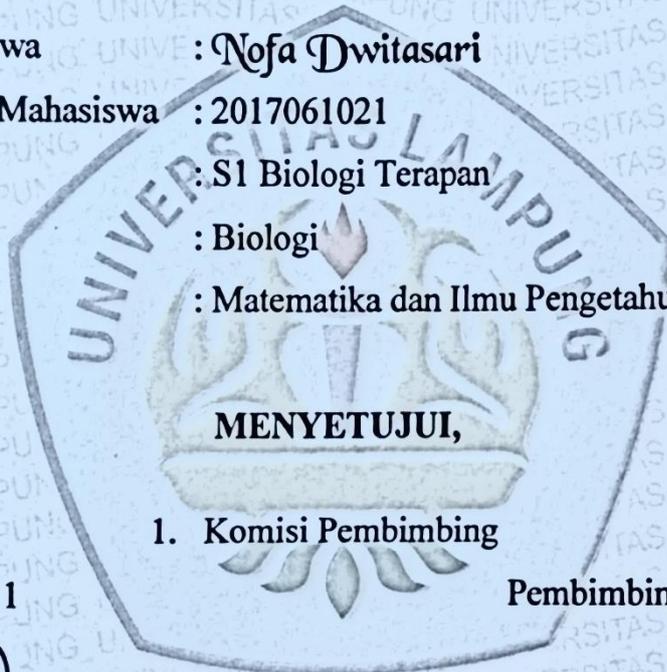
: **S1 Biologi Terapan**

Jurusan

: **Biologi**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Jani Master, S.Si., M. Si.

NIP. 198301312008121001

Drs. Suratman Umar, M. Sc.

NIP. 196406041990031002

2. Mengetahui,

Ketua Jurusan Biologi FMIPA

Dr. Jani Master, S.Si., M. Si.

NIP. 198301312008121001

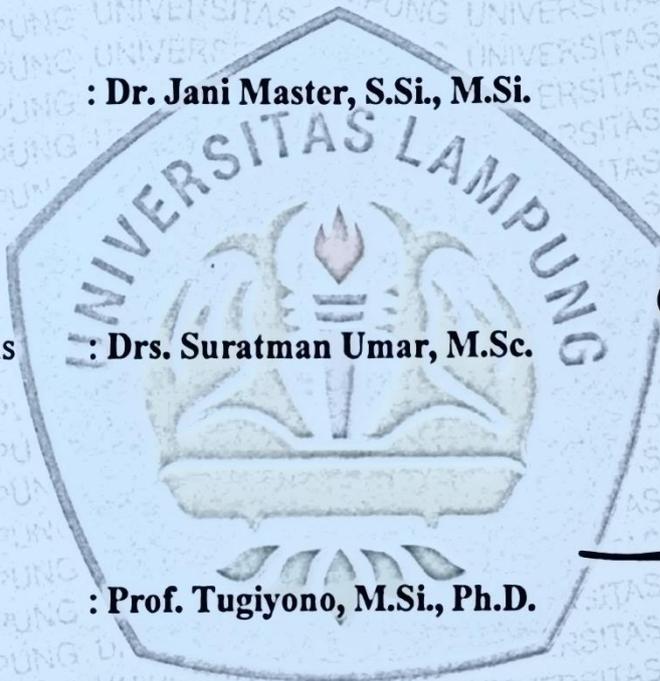
MENGESAIHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Drs. Suratman Umar, M.Sc.

Anggota : Prof. Tugiyono, M.Si., Ph.D.



A handwritten signature in black ink, appearing to be "Jani Master", with a horizontal line underneath.

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Suratman Umar", with a horizontal line underneath.

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Tugiyono", with a horizontal line underneath.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



A handwritten signature in black ink, appearing to be "Heri Satria", with a horizontal line underneath.

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Juni 2025

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nofa Dwitasari
NPM : 2017061021
Program Studi : S1 Biologi Terapan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“Ekstrak Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Sebagai Agen Bioremediasi Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Metode Sintesis Hijau Nanopartikel Perak (AgNP)”** merupakan karya tulis ilmiah hasil pemikiran sendiri berdasarkan pengetahuan serta informasi yang telah saya dapatkan dan bukan plagiasi karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat. Apabila pada kemudian hari ditemukan kecurangan dalam karya tulis ilmiah ini, saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandarlampung, 16 Juni 2025

Yang menyatakan,



Nofa Dwitasari

NPM. 2017061021

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kalirejo pada tanggal 13 November 2002. Penulis merupakan putri bungsu dari dua bersaudara. Penulis memulai pendidikan pada Taman Kanak – kanak di TK Budi Mulya tahun 2008. Melanjutkan pendidikan dasar di SDN 1 Kalirejo mulai tahun 2009 – 2014. Penulis melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 18 Pesawaran 2015 – 2018. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Gedong Tataan 2018 -2020.

Selama pendidikan SMA, penulis pernah menjadi ketua bidang Ilmiah ekstrakurikuler Karya Ilmiah Remaja (KIR), menjadi peserta Olimpiade Siswa Nasional, wakil ketua Rohani Islam (ROHIS) SMAN 1 Gedong Tataan. Kemudian, tahun 2020 penulis mendaftarkan diri ke Perguruan Tinggi Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri) dan diterima pada program studi Biologi Terapan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Selama diperguruan tinggi penulis aktif mengikuti organisasi tingkat fakultas dan jurusan. Penulis mengikuti organisasi tingkat jurusan yaitu Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA dari tahun 2020 – 2022 mulai dari anggota muda hingga menjadi pimpinan bidang ekspedisi sebagai Sekretaris Bidang Ekspedisi, Sekretaris subacara Aksi Lingkungan Pekan Konservasi Sumber Daya Alam (PKSDA) HIMBIO FMIPA.

Pada tingkat Fakultas, penulis mengikuti Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Dinas (Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) dan Dinas Sosial dan Pengabdian Masyarakat (SPM) mulai dari staff ahli sampai menjadi pimpinan Dinas SPM sebagai Bendahara Dinas SPM.

Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PLN ULP Talang Padang dengan topik “Keanekargaman Satwa Liar Pada Jaringan Listrik Negara” pada Januari – Februari 2023 dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sidoluhur, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur kehadirat Allah SWT. Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Saya persembahkan dengan sepenuh hati sebagai karya kecil ini sebagai tanda terima kasih dan cinta saya kepada:

Kedua orang tua saya Bapak Turip dan Ibu Siti Mustiah manusia yang paling berharga dan saya cintai yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, mengusahakan apapun, menyayangi saya dengan sepenuh hati. Kakak saya Dedek Setiawan dan Rahayu Sukowati sekaligus keponakan saya Shazia Havva Belvania yang juga selalu mendoakan saya, memberikan motivasi dan menyayangi saya.

MOTTO

لِلنَّاسِ أَنْفَعُهُمُ النَّاسُ خَيْرٌ

“Sebaik – baiknya manusia adalah yang paling bermanfaat untuk orang lain”
(HR Ath – Thabari)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama
kesulitan ada kemudahan”
(QS Al – Insyirah (94):5 – 6)

“ Just Be The Best Version Of Yourself ”

SANWACANA

Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Ekstrak Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Sebagai Agen Bioremediasi Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Sintesis Hijau Nanopartikel Perak (AgNP)”**. 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 sekaligus pembimbing pertama yang telah bersedia membimbing, mengarahkan, meluangkan waktu, memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menyusun skripsi;
3. Drs. Suratman Umar, M. Sc., selaku pembimbing kedua yang telah bersedia meluangkan waktu, membimbing, membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menyusun skripsi;
4. Prof. Tugiyono, M. Si., Ph. D., selaku pembahas skripsi yang bersedia meluangkan waktu, memberi saran dan memberi arahan kepada penulis;
5. Drs. Sri Wahyuningsih, M.Si., selaku pembimbing akademik yang selama ini telah memberikan arahan, motivasi, dan dukungannya kepada penulis;
6. Kedua orang tua saya, Bapak Turip dan Ibu Siti Mustiah yang telah memberikan doa, dukungan, motivasi, kasih sayang dan perhatiannya selama perkuliahan hingga skripsi selesai;
7. Mas Dedek, Mba Ayu, Shazzia, Attaqi, serta keluarga besar penulis yang telah memberikan doa, dukungan dan semangat kepada penulis;

8. Sahabat – sahabat penulis yaitu Umi Aprilia Sari, Anastasia Harum Mawadah, Laily Fauziah, Riski Nurmalia, Agvina Putri, Tasya Latifah, Tri Ningsih, Rista Aulya, Vivi Andela dan Desta Anantasya yang senantiasa setia memberikan dukungan, semangat, dan kasih sayang kepada penulis;
9. Yasir selaku orang yang selalu ada untuk penulis, yang selalu mendoakan, mendukung, memberikan motivasi dan mendengarkan keluh kesah penulis hingga skripsi ini selesai;
10. Sahabat Biologi yaitu Lutfiah Yuniar, Alvina Damayanti, Khatarina Septi, Handyta Berlian, Aliya Azzahra, Siti Nurlela, Aina Tusadiah, Rifaldi Iqbal yang telah memberikan bantuan, doa, dukungan, nasihat dan selalu ada untuk penulis;
11. Pimpinan HIMBIO FMIPA Unila 2022, Anggota bidang Ekspedisi Periode 2022, BEM FMIPA Unila Periode 2023 dan anggota dinas SPM BEM FMIPA Unila 2023 yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis;
12. Teman – teman Kelompok KKN Desa Sidoluhur (Bang Iqbal, Hilal, Alza, Qori, Tata, dan Mail) yang telah menemani perjalanan penulis saat kegiatan KKN;
13. Teman – teman Biologi angkatan 2020 yang telah menemani perjalanan penulis dalam perkuliahan hingga skripsi selesai;
14. Ernando Ari Sutaryadi selaku idola penulis Kiper Timnas Indonesia yang selalu memberikan semangat kepada penulis secara tidak langsung;
15. Almamater tercinta, Universitas Lampung
16. Seluruh orang yang terlibat dalam perjalanan perkuliahan penulis hingga skripsi ini selesai.

Bandar Lampung, 16 Juni 2025

Penulis,

Nofa Dwitasari

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DEPAN	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL DALAM	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	6
1.3 Manfaat Penelitian	6
1.4 Hipotesis	6
1.5 Kerangka Pemikiran.....	6

II.	TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1	Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i> L.).....	9
2.1.1	Morfologi Kayu Apu.....	9
2.1.2	Taksonomi Kayu Apu.....	10
2.1.3	Kandungan dan Manfaat Kayu Apu.....	11
2.2	Limbah Industri Tahu.....	12
2.3	Bioremediasi.....	15
2.4	Pencemaran Air.....	17
2.5	Nanopartikel.....	18
2.6	Mikroskop <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	20
2.7	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FT IR).....	22
2.8	Pengolahan Limbah.....	25
2.8.1	<i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD).....	25
2.8.2	<i>Chemical Oxygen demand</i> (COD).....	26
2.8.3	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	27
2.8.4	pH.....	28
III.	METODE PENELITIAN.....	29
3.1	Waktu dan Tempat.....	29
3.2	Alat dan Bahan.....	29
3.2.1	Alat.....	29
3.2.2	Bahan.....	30
3.3	Metode.....	30
3.3.1	Preparasi Sampel Kayu Apu.....	30
3.3.2	Penyaringan Sampel.....	30
3.3.3	Pembuatan Larutan AgNO ₃	31
3.3.4	Sintesis AgNP.....	31
3.3.5	Analisis AgNP.....	31
3.3.6	Pengaplikasian AgNP pada Limbah Tahu.....	31
3.3.7	Pengukuran Kadar pH, BOD, COD, dan TSS.....	32

a.	Analisis Pengukuran pH.....	32
b.	Analisis Pengukuran BOD	32
c.	Analisis Pengukuran COD	33
d.	Analisis Pengukuran TSS.....	34
3.4	Analisis Data.....	35
3.5	Diagram Alir Penelitian	36
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1	Analisis SEM	37
4.2	Analisis FTIR.....	40
4.3	pH.....	43
4.4	Hasil Uji COD.....	44
4.5	Hasil Uji BOD.....	46
4.6	Hasil Uji TSS	48
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	51
	DAFTAR PUSTAKA.....	52
	LAMPIRAN.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1	Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i> L.)	11
2	Limbah Industri Tahu	13
3	Diagram Skematik Pemindaian Mikroskop Elektron	21
4	Proses Perubahan Sinyal Pada Spektrofotometer FT-IR	24
5	Diagram Alir Penelitian	36
6	Morfologi SEM Nanopartikel Perak Perbesaran 150X dan 10.000X	37
7	Hasil Biosintesis Ekstrak Kayu Apu Menggunakan Spektrum FTIR	40

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1	Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Kedelai.....	14
2	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/Menlhk/Setjen /Kum.1/4/2019 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.....	18
3	Baku Mutu Pengujian Air Limbah	27
4	Data Analisis FTIR Dari Senyawa Nanopartikel Perak Hasil Biosintesis Menggunakan Ekstrak Kayu Apu.....	40
5	Hasil Pengukuran pH dengan pH meter	43
6	Tabel Hasil Uji COD Pada Limbah Tahu	45
7	Tabel Hasil Uji BOD Pada Limbah Tahu	46
8	Tabel Hasil Uji TSS Pada Limbah Tahu	49

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tahu di Indonesia didominasi oleh industri dalam negeri dan masih diproduksi dengan menggunakan teknik sederhana. Limbah industri tahu merupakan limbah yang dihasilkan pada saat produksi tahu. Limbah yang dihasilkan terdiri dari dua jenis, yaitu limbah padat dan cair. Limbah cair yang dihasilkan industri tahu dalam negeri biasanya langsung dibuang ke lingkungan (Sungkowo, 2015). Limbah tahu mengandung bahan organik yang mempengaruhi kadar BOD dan COD. Limbah pabrik tahu juga mengandung gas seperti oksigen (O_2), hidrogen sulfida (H_2S), karbon dioksida (CO_2), dan amoniak (NH_3), dimana apabila gas-gas tersebut melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan maka berpotensi mencemari lingkungan (Pagoray *et al.*, 2021).

Limbah dari industri tahu merupakan limbah yang dihasilkan selama produksi tahu. Limbah yang dihasilkan terdiri dari dua jenis yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yang disebut ampas tahu dapat diolah kembali menjadi oncom. Akan tetapi limbah cairlah yang merupakan bagian terbesar dan berpotensi untuk mencemari lingkungan. Air limbah dari industri tahu mengandung senyawa organik dengan konsentrasi tinggi seperti protein, karbohidrat, serta lemak dan minyak. Keberadaan industri tahu di Pekon Gading Rejo Kecamatan Gading Rejo, Kabupaten Pringsewu baik

industri rumah tangga maupun industri kecil dalam skala masal menjadi salah satu faktor pendukung pertumbuhan ekonomi di Pekon Gading Rejo. Selain itu juga pada tahun 2012 daerah Gading Rejo dijadikan ikon sebagai daerah sentral industri tahu oleh Pemerintah Kabupaten Pringsewu (Safitri, 2021).

Berdasarkan survei awal yang telah dilakukan di sentra industri tahu Pekon Gading Rejo Kabupaten Pringsewu diketahui bahwa terdapat 13 pengusaha tahu industri kecil skala rumahan yang berdiri sejak tahun 1940-an. Industri ini menggunakan bahan kedelai 100-150 kg perhari pada proses produksinya dan tidak melakukan pengolahan terhadap air limbah yang mereka hasilkan. Mereka langsung mengalirkan limbah ke selokan terbuka dan/atau tertutup menuju badan air lalu menuju ke sungai. Sebagian besar limbah cair tahu dari industri rumah tangga di Desa Gading Rejo Kabupaten Pringsewu langsung dibuang ke badan air tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Pencemaran air limbah tahu berupa oksigen terlarut yang rendah, airnya kotor dan berbau menyengat. Menurut Rahmawati dan Warsito (2020) eceng gondok merupakan salah satu tanaman air yang dapat mengolah air limbah dengan cara menyerap polutan-polutan yang ada pada limbah. Beberapa metode yang banyak digunakan untuk mengolah air limbah tahu tanpa mencemari lingkungan, antara lain metode reaktor aerobik, biofilter aerobik, dan fitoremediasi.

Bioremediasi merupakan salah satu teknologi alternatif untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan melalui pemanfaatan mikroorganisme. Selain pemanfaatan mikroorganisme, tumbuhan air juga dapat dimanfaatkan untuk bioremediasi. Tumbuhan air mempunyai kemampuan menetralkan komponen tertentu pada badan air dan sangat berguna dalam proses pengolahan air limbah (Artiyani, 2014). Pemanfaatan tumbuhan air dalam proses bioremediasi biasa disebut dengan fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan salah satu teknik yang digunakan dalam upaya membersihkan polutan yang berada di lingkungan, baik di tanah maupun di air dengan menggunakan tumbuhan (Afifudin, 2022). Teknik fitoremediasi dipilih dengan tujuan memulihkan lingkungan yang

tercemar, dan dianggap sebagai teknologi yang maju, ekonomis, dan relatif aman bagi lingkungan (Sidauruk dan Patricius, 2015). Metode fitoremediasi sering kali menggunakan tanaman air di lahan basah buatan untuk mengolah air yang terkontaminasi limbah cair.

Tumbuhan air mempunyai banyak manfaat, selain sebagai tanaman hias, tanaman air juga dapat digunakan sebagai bahan kerajinan, bahan makanan, obat-obatan dan juga dapat digunakan untuk membuat minyak. Secara ekologis, tumbuhan air mempunyai keunggulan yang cukup signifikan. Namun sebagian besar masyarakat masih belum mengetahui tentang keberadaan tumbuhan air di alam. Menurut Irawanto (2010), tumbuhan air dapat berperan sebagai pengelola bahan pencemar/limbah cair. Salah satu tumbuhan yang dapat digunakan untuk meremediasi perairan yaitu tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes*). Kayu apu merupakan tanaman terapung yang tersebar luas di Indonesia. *P. stratiotes* memiliki beberapa keunggulan seperti pertumbuhan yang cepat, daya serap unsur hara dan air yang tinggi, mudah ditemukan dan daya adaptasi iklim yang baik. *P. stratiotes* merupakan tumbuhan air yang mengapung. Jenis ini biasa hidup di daerah tropis, subtropis dan hangat di seluruh dunia.

Kandungan senyawa metabolit sekunder pada tanaman kayu apu seperti flavonoid, steroid, glikosida antrakuinon, antosianin, saponin, karbohidrat, dan tanin. Berdasarkan penelitian dari Soheti, dkk (2020) penggunaan kayu apu untuk fitoremediasi limbah radioaktif hasil penelitian menunjukkan biomassa tumbuhan kayu apu mengalami penurunan setelah fitoremediasi menjadi 96,2% dengan efisiensi remediasi sebesar 97,4% dari konsentrasi awal limbah radioaktif cair Thorium sebesar 10 ppm. Hal ini disebabkan terjadinya penyerapan Thorium sehingga mengakibatkan akumulasi Thorium pada tumbuhan kayu apu sebesar 4069,4 mg/kg.

Tumbuhan kayu apu juga mampu menurunkan radioaktivitas limbah cair Thorium menjadi 0,631 Bq/L dari radioaktivitas awal sebesar 2,819 Bq/L. Tingkat radioaktivitas sudah di bawah Tingkat Klierens dan limbah dapat dilepas ke lingkungan dengan aman.

Di Indonesia jenis kayu apu mudah dijumpai di daerah persawahan, danau, kolam dan rawa yang kondisi airnya tenang. Jenis ini dikenal sebagai tumbuhan liar. Reproduksiya relatif cepat dan melimpah, sehingga melimpah di lingkungan perairan (Handoko, 2016). Karena pertumbuhan tanamannya yang cepat, kapasitas akumulasi logam yang tinggi dan toleransi terhadap zat beracun, maka tanaman air cocok ini untuk fitoremediasi, sehingga mempunyai potensi besar sebagai alat fitoremediasi. Namun pertumbuhan tanaman air yang cepat dan masif, juga dapat berdampak negatif bagi lingkungan. Oleh sebab itu, digunakan teknologi untuk mengekstrak tumbuhan tersebut agar dapat dimanfaatkan lebih efektif dan efisien.

Nanopartikel adalah partikel dengan ukuran dalam rentang nanometer yaitu 1 hingga 100 nanometer. Partikel berukuran nanometer memiliki sifat unik dan dapat menunjukkan perilaku berbeda dari partikel yang lebih besar secara makroskopis atau mikroskopis. Sifat ini sering kali disebabkan oleh luas permukaan partikel yang besar dibandingkan volumenya. Sifat khas nanopartikel meliputi, sifat kuantum dan aktivitas permukaan yang tinggi. Nanopartikel dapat memiliki berbagai bentuk dan komposisi, termasuk logam, oksida logam, polimer, dan bahan organik lainnya. Nanopartikel yang umum dikenal antara lain nanopartikel perak (AgNP), nanopartikel emas (AuNP), dan nanopartikel besi oksida (Fe_2O_3 , Fe_3O_4). Nanopartikel perak (AgNP) diketahui memiliki sifat antibakteri dan kemampuan katalitik yang dapat meningkatkan proses penguraian limbah organik. Metode sintesis hijau dengan menggunakan ekstrak tumbuhan sebagai zat pereduksi merupakan alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Rahim dkk (2020) telah melakukan penelitian tentang Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan

Bioreduktor Ekstrak Daun Teh Hijau (*Camellia sinensis*) dengan Iradiasi Microwave hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu sintesis optimal adalah 4 menit. Morfologi nanopartikel perak yang dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dihasilkan cenderung beragregasi. Adanya kecenderungan nanopartikel untuk beragregasi menyebabkan ukuran atau diameter nanopartikel tidak seragam. Pembuatan nanopartikel perak belum pernah dilakukan menggunakan tanaman kayu apu.

Dalam aplikasi bioremediasi, nanopartikel dapat digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan polutan dari lingkungan yang tercemar. Menurut Qu *et al.* (2013) ada banyak hal yang terkait dengan nanopartikel dan bioremediasi, seperti meningkatkan bioavailabilitas, meningkatkan kecepatan reaksi, mengirimkan kontrol polutan, detoksifikasi, dan penguraian. Fokus utama nanoteknologi adalah sintesis nanopartikel dengan berbagai bentuk, ukuran, komposisi kimia, dan penyebaran yang dapat dikendalikan, serta kemungkinan penggunaannya pada manusia. Meskipun metode fisika dan bahan kimia dapat dengan sukses menghasilkan nanopartikel murni dan terdefinisi dengan baik, teknik-teknik ini cukup mahal dan berpotensi berbahaya bagi lingkungan. Produksi nanopartikel dengan cara yang ramah lingkungan dapat dilakukan dengan menggunakan organisme biologis seperti mikroorganisme, ekstrak tanaman, atau biomassa tanaman (Muhanporia *et al.*, 2008). Metode konvensional dalam pemulihan limbah cair industri tahu mungkin memiliki keterbatasan dalam efisiensi, biaya, dan dampak lingkungan.

Berdasarkan hal tersebut maka penelitian mengenai ekstrak kayu apu sebagai agen bioremediasi limbah cair industri tahu menggunakan metode sintesis hijau nanopartikel perak (AgNP) perlu dilakukan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Membuat nanopartikel perak (AgNP) menggunakan ekstrak kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan;
2. Mengetahui efektivitas ekstrak nanopartikel kayu apu (*Pistia stratiotes*) dengan parameter pH, TSS, COD dan BOD yang diaplikasikan pada sampel air limbah industri tahu.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai AgNP yang disintesis menggunakan bioreduktor kayu apu sehingga dapat dijadikan sebagai agen bioremediasi pada limbah cair industri tahu dan mengetahui efektivitas AgNP yang diaplikasikan kedalam limbah cair industri tahu dengan parameter pH, BOD, COD, dan TSS.

1.4 Hipotesis

1. Terbentuknya nanopartikel perak (AgNP) dari ekstrak kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan;
2. Adanya kenaikan pH, penurunan COD, TSS dan BOD pada sampel air limbah industri tahu yang diaplikasikan menggunakan ekstrak nanopartikel kayu apu (*Pistia stratiotes*).

1.5 Kerangka Pemikiran

Desa Gading Rejo, Kecamatan Gading Rejo, Kabupaten Pringsewu, Lampung merupakan salah satu daerah industri tahu yang dilakukan dengan skala konvensional atau skala rumahan. Industri tahu tersebut menghasilkan limbah berupa limbah cair dan limbah padat. Limbah padat diolah kembali menjadi oncom dan limbah cair dibuang ke aliran air sungai yang berada di sekitar

industri tersebut. Limbah cair tahu (*whey*) merupakan sisa dari proses pencucian, perendaman, penggumpalan, dan pembentukan pada saat produksi tahu. Cairan ampas tahu lebih banyak mengandung bahan organik dengan kandungan protein 40-60%, kandungan karbohidrat 25-50%, dan kandungan lemak 10%. Bahan organik berpengaruh terhadap tingginya kandungan fosfor, nitrogen, dan sulfur dalam air (Nurul Nikmah, 2016). Hasil penelitian Agustin (2017) pada industri pengolahan tahu di Desa Gunung Sula Kecamatan Way Halim Provinsi Bandar Lampung menunjukkan bahwa mempunyai nilai pH 4,57, BOD 5070 mg/L, COD 1014 mg/L, dan TSS 1090 mg/l melebihi baku mutu. Karena baku mutu yang ditetapkan, maka harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air atau sungai untuk menghindari pencemaran lingkungan.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menanggulangi pencemaran yaitu menggunakan metode bioremediasi. Bioremediasi merupakan mekanisme meremediasi lahan terkontaminasi yang dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan mikroorganisme dan tanaman dalam mereduksi senyawa organik (Marsandi dkk, 2016). Fitoremediasi merupakan suatu proses yang dilakukan menggunakan tanaman untuk mengubah bahan pencemar yang ada di dalam tanah menjadi tanaman yang tidak beracun tanpa diolah terlebih dahulu diserap ke dalam tanaman. Penggunaan tumbuhan dapat menjadi alternatif pengolahan air yang ramah lingkungan atau disebut juga *green synthesis nanoparticel* (sintesis hijau nanopartikel). Sintesis nanopartikel hijau adalah teknologi pengolahan air yang ramah lingkungan. Sistem biologis yang dihasilkan dari sintesis nanopartikel hijau dapat mengubah ion logam anorganik menjadi partikel nano logam melalui proses reduksi protein dan metabolit organisme. Karena metode ini tidak menggunakan bahan kimia beracun atau berbahaya, sintesis hijau nanopartikel memiliki potensi untuk menghasilkan nanopartikel yang sangat besar (Soni *et al.*, 2018).

Nanopartikel dapat dibuat oleh senyawa metabolit sekunder tumbuhan, seperti polifenol, flavonoid, alkaloid, terpenoid, dan steroid (Ahmad *et al.*, 2019). Flavonoid, steroid, glikosida antrakuinon, antosianin, saponin, karbohidrat, dan tanin ditemukan dalam tanaman kayu apu. Sebagian besar organisme memiliki senyawa fenol yang dikenal sebagai flavonoid (Wirdani *et al.*, 2008). Flavonoid mengandung sejumlah bioaktivitas seperti antiinflamasi, analgesik, antioksidan, antibakteri, dan antikarsinogenik (Ahad *et al.*, 2011).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

2.1.1 Morfologi Kayu Apu

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) merupakan tumbuhan dalam famili Araceae dan merupakan satu-satunya tumbuhan dalam genus *Pistiaceae*. Daunnya berwarna hijau atau biru kehijauan, menjadi kekuningan seiring bertambahnya usia, membulat di ujungnya dan agak meruncing di pangkalnya. Daunnya memiliki panjang sekitar 2 sampai 10 cm dan lebar 2 sampai 6 cm. Tepi daunnya berlekuk, dan permukaannya ditumbuhi bulu-bulu yang tebal dan lembut. Daunnya berdaging, lentur, dan lembut membentuk pahatan seperti mahkota bunga mawar. Tulang daun berbentuk sejajar. Daun-daun ini tersusun dalam roset di dekat akar, membentuk bagian tanaman yang mirip batang. Apu-apu merupakan tumbuhan air dengan akar berwarna putih panjang (sampai 80 cm). Akarnya menggantung di bawah roset dan memiliki pelari. Rambut akar membentuk struktur seperti keranjang yang dikelilingi oleh gelembung udara, yang meningkatkan daya apung tanaman. Kayu apu memiliki dua jenis daun yang sangat berbeda. Daun yang tumbuh di permukaan air berbentuk agak bulat dan berwarna hijau karena mengandung klorofil, dan permukaannya ditutupi bulu-bulu berwarna putih agak transparan.

Tanaman kayu apu mempunyai kemampuan menyerap bahan radioaktif secara fisiologis sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengurangi limbah pencemaran radioaktif di lingkungan. Kemampuan tersebut memungkinkan tanaman ini dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediasi. Bahan radioaktif diserap oleh akar dan kemudian berpindah ke dalam tanaman dan terlokalisasi di jaringan.

2.1.2 Taksonomi Kayu Apu

Kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tanaman terapung yang tersebar luas di Indonesia. *P. stratiotes* memiliki beberapa keunggulan seperti pertumbuhan yang cepat, daya serap unsur hara dan air yang tinggi, mudah ditemukan dan daya adaptasi iklim yang baik. *P. stratiotes* merupakan tumbuhan air yang mengapung. Jenis ini biasanya hidup di daerah tropis, subtropis dan hangat di seluruh dunia.

Klasifikasi kayu apu menurut *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheopyta
Class	: Liliopsida
Ordo	: Alismatales
Famili	: Araceae
Genus	: <i>Pistia</i>
Spesies	: <i>Pistia stratiotes</i> L.



Gambar 1. Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.)

2.1.3 Kandungan dan Manfaat Kayu Apu

Berdasarkan Wasahla (2015) tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) mengandung senyawa metabolit sekunder seperti tanin, fenol, flavonoid, saponin, alkaloid, dan steroid. Menurut Yusuf (2001) tanaman kayu apu termasuk tanaman yang hidup di atas permukaan perairan seperti eceng gondok. Kayu apu (*P. stratiotes*) merupakan tanaman terapung yang tersebar luas di Indonesia. *P. stratiotes* memiliki beberapa keunggulan seperti pertumbuhan yang cepat, daya serap unsur hara dan air yang tinggi, mudah ditemukan dan daya adaptasi iklim yang baik. Jenis ini biasanya hidup di daerah tropis, subtropis dan hangat di seluruh dunia. Di Indonesia kayu apu mudah dijumpai di daerah persawahan, danau, kolam dan rawa yang kondisi airnya tenang (Nurfitri, 2010). Jenis ini dikenal sebagai tumbuhan liar. Reproduksi relatif cepat dan melimpah, sehingga melimpah di lingkungan perairan (Raras *et al.*, 2015). Karena pertumbuhan tanamannya yang cepat, kapasitas akumulasi logam yang tinggi dan toleransi terhadap zat beracun, maka tanaman air cocok ini untuk fitoremediasi, sehingga mempunyai potensi besar sebagai alat fitoremediasi (Farnese *et al.*, 2014; Victor *et al.*, 2016).

Sebagai tanaman air, kayu apu berpotensi mengurangi tingkat pencemaran pada air limbah yang mengandung bahan organik tingkat tinggi. Tanaman tersebut menggunakan akarnya untuk menjebak lumpur guna memurnikan air yang tercemar. Dalam industri, tanaman ini digunakan sebagai penyerap unsur - unsur beracun dalam air limbah. Keunggulan tanaman ini antara lain daya berkecambah tinggi, pertumbuhan cepat, daya serap hara dan air tinggi, mudah ditemukan, dan daya adaptasi iklim tinggi (Fachrurozi *et al.*, 2014). Pemanfaatan kayu apu sebagai biofilter mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan eceng gondok. Kayu apu memiliki akar seperti bulu berbentuk labirin lembut dan cerah berwarna putih, ungu, dan hitam. Akarnya menyebar, panjang akar tunggang mencapai 90 mm, perkembangbiakan dengan tunas vegetatif lebih cepat, panjangnya bisa mencapai 60 cm, dan perawatannya relatif mudah (Mustaniroh dkk., 2009).

2.2 Limbah Industri Tahu

Industri tahu biasanya dilakukan di rumah tangga, dan air limbah yang dihasilkan umumnya tidak terkendali dan mengalir langsung ke saluran air terdekat. Jumlah industri tahu di Indonesia mencapai 84.000 usaha, dengan kapasitas produksi tahunan lebih dari 2,56 juta ton. Air limbah yang dibuang ke lingkungan berjumlah kurang lebih 20 juta meter kubik per tahun (Darsono, 2007). Air limbah dari pabrik tahu dihasilkan selama pencucian, perebusan, pengepresan, dan pembentukan tahu, sehingga menghasilkan air limbah dalam jumlah besar. Limbah cair tahu mengandung kontaminan organik serta padatan tersuspensi dan terlarut yang sangat tinggi. Karena adanya senyawa organik tersebut, limbah industri tahu mengandung *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi.

Limbah cair tahu diperoleh dari proses perendaman, pembersihan kedelai, pembersihan peralatan proses pembuatan tahu, penyaringan dan pembentukan tahu. Beberapa industri mengetahui bahwa sejumlah kecil limbah cair dapat digunakan kembali sebagai bahan pengisi. Limbah tahu cair mengandung jenis protein, asam amino, dan zat organik lainnya dalam bentuk padatan tersuspensi dan terlarut. Sebanyak senyawa organik pada limbah cair tahu mengandung BOD, COD, dan TSS dalam jumlah besar. Pada Gambar 2 dijelaskan bahwa limbah-limbah tersebut dapat mencemari lingkungan karena langsung dibuang ke badan air tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu (Said, 2002). Limbah yang berasal dari industri tahu di Pekon Gading Rejo tidak mengalami pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah tersebut langsung dialirkan ke sungai yang berada di sekitar lokasi industri tersebut.



Gambar 2. Limbah Industri Tahu

Sifat cairan limbah industri ada dua yaitu sifat fisik dan sifat kimia. Sifat fisik meliputi padatan total, padatan tersuspensi, suhu, warna, dan bau. Sifat kimia meliputi bahan dan gas organik dan anorganik. Temperatur gas buang industri tahu dihasilkan dari proses perebusan kedelai. Suhu limbah cair tahu umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan air standar, yaitu 40°C hingga 46°C.

Peningkatan suhu di lingkungan perairan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lainnya, serta kepadatan, viskositas, dan tegangan permukaan air.

Sebagai usaha atau kegiatan pembuatan tahu yang memiliki potensi dapat menimbulkan pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup wajib melakukan upaya pencegahan pencemaran air dengan menetapkan baku mutu limbahnya, maka diperlukan suatu standar yang mengatur buangan limbah cair dari usaha pabrik tahu. Adapun standar yang mengatur buangan limbah cair industri tahu mengacu kepada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/ Atau Kegiatan Pengolahan Kedelai. Berikut disajikan **Tabel 1** tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pengolahan kedelai.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Kedelai

Parameter	Pengolahan Kedelai					
	Kecap		Tahu		Tempe	
	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	1,5	150	3	150	1,5
COD	300	3	300	6	300	3
TSS	100	1	200	4	100	1
pH	6 – 9					

*Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/ Atau Kegiatan Pengolahan Kedelai

2.3 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan mekanisme remediasi lahan terkontaminasi yang dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan mikroorganisme dalam mereduksi senyawa organik (Marsandi dkk, 2016). Tujuan dari remediasi biologis adalah untuk mengklasifikasikan polutan menjadi zat tidak beracun, yang juga dapat disebut sebagai pengendalian polutan dari lingkungan. Bioremediasi telah membawa manfaat luar biasa bagi orang dalam mengatasi berbagai permasalahan lingkungan (Lumbanraja, 2014).

Ada tiga metode teknis yang dapat digunakan dalam bioremediasi yang memanfaatkan mikroorganisme untuk merangsang pertumbuhannya yaitu (Lumbanraja, 2014).

a. Biostimulasi

Biostimulasi adalah proses yang dilakukan dengan menambahkan nutrisi tertentu, seperti nutrisi atau oksigen, pada mikroorganisme. Namun bisa juga terjadi dengan adanya rangsangan pada kondisi lingkungan, seperti penyediaan ventilasi yang memungkinkan mikroorganisme berkembangbiak dan menjalankan aktivitasnya dengan baik.

b. Bioaugmentasi

Bioaugmentasi adalah proses penambahan satu atau lebih spesies dari mikroorganisme yang mengandung karakteristik alami dan ditingkatkan. Kemudian, menambahkan mikroorganisme ke air atau tanah yang terkontaminasi dapat membantu menghilangkan kontaminan tertentu. Pada proses memiliki hambatan yaitu sulit mengendalikan kondisi lingkungan yang terkontaminasi agar mikroorganisme dapat tumbuh secara optimal.

c. Bioremediasi Intrinsik

Bioremediasi intrinsik ini terjadi secara alami tanpa campur tangan manusia terhadap air atau tanah yang terkontaminasi.

Menurut Priyanto dan Prayitno (2005), fitoremediasi berasal dari kata *phyto* (Asal kata Yunani *phyton*) yang berarti tumbuhan/tanaman dan kata *remediation* (asal kata Latin *remediare = to remedy*) yaitu memperbaiki/menyembuhkan atau membersihkan sesuatu. Fitostabilisasi merupakan suatu proses yang dilakukan tanaman untuk mengubah bahan pencemar yang ada di dalam tanah menjadi senyawa tidak beracun tanpa terlebih dahulu diserap ke dalam tubuh tanaman.

Fitoremediasi menyediakan metode untuk mengurangi kontaminasi lingkungan karena dapat diterapkan pada berbagai kontaminan, seperti hidrokarbon minyak bumi, pelarut, logam, hidrokarbon aromatik polisiklik, dan pestisida dari semua kelas (Ali *et al*, 2013). Fitoremediasi sebagai salah satu teknologi pengolahan air limbah tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan. Keunggulan fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara *in situ* dan *ex situ*, mudah dalam pelaksanaannya dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, teknologi ini ramah lingkungan dan memiliki nilai keindahan bagi lingkungan serta dapat mengurangi polutan dalam jumlah besar. Sedangkan kelemahan dari fitoremediasi adalah prosesnya memakan waktu yang lama, bergantung pada kondisi iklim, dapat menyebabkan penumpukan logam berat pada jaringan tanaman dan biomassa, sekaligus dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan dalam ekosistem (Santriyana, 2013).

Mekanisme kerja fitoremediasi mencakup beberapa konsep dasar yaitu fitoekstraksi, fitoevaporasi, fitodekomposisi, fitostabilisasi, rhizofiltrasi dan interaksi dengan mikroorganisme pengurai polutan. Fitoekstraksi adalah proses dimana tumbuhan menyerap zat-zat pencemar dari air atau tanah kemudian menumpuk/ menyimpannya pada tumbuhan (daun atau batang), tumbuhan tersebut disebut hiperakumulator. Fitovolatilisasi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan polutan tersebut diubah menjadi zat-zat yang mudah menguap kemudian dikeluarkan oleh tanaman. Fitodekomposisi merupakan

proses penyerapan bahan pencemar oleh tanaman dan kemudian bahan pencemar tersebut mengalami metabolisme di dalam tanaman.

Fitostabilisasi merupakan suatu proses yang dilakukan tanaman untuk mengubah bahan pencemar yang ada di dalam tanah menjadi senyawa tidak beracun tanpa terlebih dahulu diserap ke dalam tubuh tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah. Rhizofiltrasi adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman tetapi biasanya konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan (Yuniarti, 2012).

2.4 Pencemaran Air

Karena pencemaran air membahayakan manusia dan makhluk lain, ada cara untuk mengendalikan pencemaran air. Dengan menggunakan air bersih untuk kegiatan sehari-hari, manusia pasti terhindar dari penyakit. Segala sistem tubuh manusia terdiri dari air, yang merupakan sebagian besar tubuh manusia (Dawud dkk, 2006). Menurut Suparjo (2009), aktivitas industri, pertanian, dan pertambangan secara bersamaan menyebabkan masalah lingkungan seperti pencemaran air, penurunan kualitas sumber daya alam, gangguan kesehatan, penurunan potensi sumber daya alam hayati, bencana alam, dan sedimentasi di bagian hilir.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 32 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air menetapkan pencemaran air sebagai masuknya zat, energi, makhluk hidup, atau komponen lain ke dalam air oleh manusia sehingga kualitas air menurun sampai tingkat tertentu yang mengakibatkan air tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Menurut Widiyanto dkk (2015), penyebab pencemaran air berasal dari limbah industri sebesar 33,33%, limbah rumah tangga sebesar 47,62%, dan limbah perkotaan sebesar 19,04%. Padahal, setiap individu bisa mengurangi sampah

rumah tangga. Oleh karena itu, sebagai manusia kita mempunyai kewajiban untuk menjaga kondisi lingkungan, khususnya air, sumber kehidupan. Limbah industri adalah limbah yang diperoleh dari sisa kegiatan industri. Salah satu contoh limbah industri adalah limbah industri tahu. Dalam proses pengelolaannya, industri tahu menghasilkan limbah berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu dalam negeri seringkali dibuang langsung ke lingkungan. Limbah cair ini dapat menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air, karena oksigen diperlukan untuk penguraian bahan organik. Hal ini sangat berbahaya bagi makhluk yang ada di perairan. Untuk lebih jelas mengenai parameter air limbah dalam kawasan industri disajikan dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Kedelai

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	pH	-	6-9
2	BOD	mg/L	150
3	COD	mg/L	300
4	TSS	mg/L	200

Keterangan : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Kedelai

2.5 Nanopartikel

Nanopartikel adalah partikel berukuran nanometer, yaitu partikel berukuran sekitar 1–100 nm (Hosokawa *et al.*, 2007). Material atau struktur berukuran nano memiliki sifat yang berbeda dengan material asli. Sifat spesifik dari nanopartikel ini bergantung pada ukuran, distribusi, morfologi dan fase (Willems dan Wildenberg 2005). Salah satu bahan yang disintesis sebagai nanopartikel adalah perak. Nanopartikel perak dapat dibuat dengan

menggunakan berbagai metode seperti fotokimia, sonokimia, radiasi ultrasonik, sintesis solvotermal, poliol, reduksi kimia ion perak dengan atau tanpa zat penstabil (Guzman *et al.*, 2009).

Proses sintesis nanopartikel merupakan langkah penting dalam pengembangan nanoteknologi. Umumnya sintesis AgNP dilakukan dengan tiga metode: fisik, kimia, dan biologi. Metode fisik adalah proses yang secara mekanis mereduksi logam perak padat menjadi partikel perak berukuran nano dan membutuhkan peralatan mahal. Metode kimia umumnya dilakukan dengan menggunakan bahan kimia yang sangat reaktif, beracun, dan mencemari lingkungan dan organisme hidup. Metode reduksi dengan menggunakan ekstrak tumbuhan sebagai zat pereduksi aman dan mudah didapat serta dapat menjadi alternatif dalam produksi nanopartikel (Renugadevi *et al.*, 2012).

Nanopartikel perak (AgNP) adalah salah satu bahan nano yang paling banyak dipelajari karena stabilitasnya yang tinggi dan reaktivitas kimianya yang rendah dibandingkan dengan logam lain. Nanopartikel ini biasanya disintesis menggunakan zat pereduksi kimia beracun yang mereduksi ion logam menjadi nanopartikel yang tidak bermuatan seperti natrium borohidrida (Pinho, 2019). Sintesis AgNP melalui penggunaan ekstrak tumbuhan dapat mengurangi penggunaan bahan kimia berlebihan yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Menurut Nilavukkarasi (2020), sintesis AgNP menggunakan ekstrak tumbuhan berperan sebagai bioeduksi agen untuk menghasilkan nanopartikel perak merupakan proses yang sederhana, murah, ramah lingkungan, dan stabil yaitu metode sintesis. Sintesis dengan tanaman dapat terjadi karena adanya fitokimia, yang melibatkan flavonoid, terpenoid, keton, aldehida, amida, dan asam karboksilat. Senyawa seperti terpenoid, flavonoid, fenol, alkaloid, protein, dan karbohidrat dalam ekstrak berperan sebagai zat pereduksi nanopartikel perak yang ramah lingkungan (Alshehri *et al.*, 2020).

2.6 Mikroskop *Scanning Electron Microscope* (SEM)

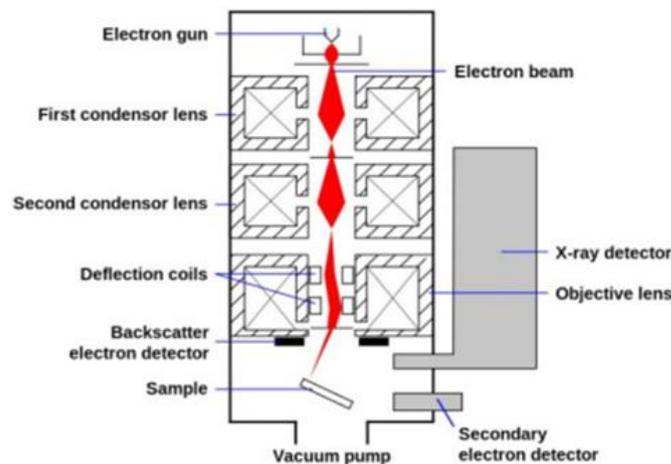
Mikroskop elektron menggunakan prinsip dasar yang sama dengan mikroskop cahaya, namun alih-alih menggunakan cahaya, memfokuskan berkas elektron berenergi tinggi untuk memperbesar objek. *Scanning electron microscopy* (SEM) digunakan untuk menganalisis morfologi nanopartikel yang terbentuk dan *transmisi electron microscopy* (TEM) digunakan untuk menganalisis ukuran AgNP yang terbentuk, bentuk, dan morfologi (Umadevi *et al.*, 2013). SEM adalah jenis mikroskop elektron yang menggambarkan sampel dengan memindai berkas elektron berenergi tinggi dalam pola pemindaian raster (Ponarulselvam *et al.*, 2012). Gambar SEM sampel yang diamati menunjukkan bahwa ukuran partikel bervariasi dari sangat kecil hingga sangat besar. Partikel dengan ukuran seragam (*monodisperse*) jarang diperoleh dari nanopartikel. Ketika ahli mengatakan mereka telah berhasil menghasilkan partikel monodispersi, sebenarnya partikel tersebut adalah partikel polidispersi dengan distribusi ukuran partikel yang sempit. Komposisi unsur nanopartikel logam umumnya ditentukan menggunakan spektroskopi dispersif energi (EDS) (Mittal *et al.*, 2012).

Metode karakterisasi nanopartikel untuk mengamati permukaan secara visual menggunakan mikroskop SEM. Pada tahun 2017, SEM telah memungkinkan untuk mengamati dan mengkarakterisasi bahan organik dan anorganik heterogen pada skala nanometer (nm) hingga mikrometer (μm). SEM menawarkan kemungkinan untuk memvisualisasikan permukaan tiga dimensi dari berbagai material. Fitur penting lainnya dari SEM adalah kedalaman bidang yang disediakan oleh representasi tiga dimensi dari gambar sampel. Prinsip kerja SEM adalah mencitrakan permukaan suatu benda atau material dengan menggunakan berkas elektron pantulan berenergi tinggi (Kurniawan dan Perdana, 2022).

Skema kerja SEM menurut Beri dan Sanjaya (2012) terdiri dari beberapa tahapan:

1. Pistol elektron menghasilkan sinyal elektron yang dipercepat oleh anoda
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron ke sampel
3. Sinyal elektron terfokus memindai seluruh sampel pada dan melewati koil pemindai
4. Ketika elektron mengenai sampel, sampel tersebut memancarkan elektron baru, yang ditangkap oleh detektor dan dikirim ke monitor.

Keuntungan pemindaian mikroskop elektron mencakup beragam aplikasi, pencitraan dan topografi tiga dimensi yang terperinci, dan informasi serbaguna yang dikumpulkan oleh banyak detektor. SEM mudah digunakan dengan pelatihan yang tepat, dan kemajuan teknologi komputer serta perangkat lunak terkait telah membuat pengoperasian lebih mudah digunakan. Kekurangan dari mikroskop elektron pemindaian dimulai dari ukuran dan biaya. SEM mahal, berukuran besar dan harus ditempatkan di area yang bebas dari kemungkinan gangguan listrik, magnet, atau getaran. Pemeliharaannya meliputi menjaga tegangan tetap, arus ke kumparan elektromagnetik, dan sirkulasi air dingin.



Gambar 3. Diagram skematik Pemindaian Mikroskop Elektron (Choudhary dan priyanka, 2017)

Pemindaian Mikroskop Elektron atau *Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan salah satu alat karakterisasi penting yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan suatu material dengan resolusi tinggi. Berdasarkan diagram skematik yang dijelaskan oleh Choudhary dan Priyanka (2017), prinsip kerja SEM dimulai dari sebuah sumber elektron (*electron gun*) yang menghasilkan berkas elektron berenergi tinggi. Berkas ini kemudian difokuskan oleh sistem lensa kondensor dan diarahkan melalui kumparan pemindai (*scan coil*), sehingga dapat menyapu permukaan sampel secara sistematis dalam pola raster. Setelah difokuskan lebih lanjut oleh lensa objektif, berkas elektron menumbuk permukaan sampel yang diletakkan di atas meja spesimen (*specimen stage*) yang dapat diatur posisinya. Interaksi antara berkas elektron dan permukaan sampel menghasilkan berbagai sinyal, seperti elektron sekunder dan elektron pantul balik.

Detektor elektron sekunder (*Secondary Electron Detector*) menangkap sinyal yang memberikan informasi tentang topografi permukaan, sedangkan detektor elektron pantul balik (*Backscattered Electron Detector*) memberikan informasi tentang komposisi material berdasarkan perbedaan nomor atom. Semua proses ini berlangsung dalam ruang hampa udara (*vacuum chamber*) untuk mencegah gangguan dari partikel udara terhadap lintasan elektron. Sinyal-sinyal yang diterima kemudian diproses oleh sistem komputer dan ditampilkan dalam bentuk gambar di monitor. SEM menjadi alat yang sangat penting dalam berbagai bidang, terutama dalam penelitian material, bioteknologi, dan nanoteknologi karena kemampuannya menampilkan detail permukaan dengan sangat baik.

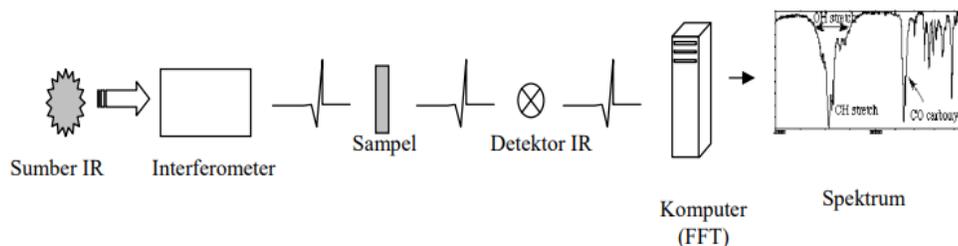
2.7 *Fourier Transform Infrared* (FT-IR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah teknik yang banyak digunakan yang memanfaatkan radiasi inframerah untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam bahan (gas, cairan, padatan). Spektroskopi inframerah mengukur penyerapan

radiasi IR yang diberikan oleh setiap ikatan dalam suatu molekul, menghasilkan spektrum yang umumnya didefinisikan sebagai transmisi versus bilangan gelombang (cm^{-1}). Berbagai zat yang mengandung ikatan kovalen menyerap radiasi elektromagnetik. Perkembangan spektroskopi pada panjang gelombang tak kasat mata (rentang IR) maju bersamaan dengan perkembangan spektroskopi visual pada tahun. Cahaya inframerah pertama kali ditemukan pada tahun oleh Sir Frederick William Herschel selama percobaan dengan termometer kaca raksa yang diterangi oleh sinar matahari yang ditransmisikan melalui prisma kaca (Herschel 1800).

Spektroskopi inframerah bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang berperan dalam proses reduksi logam pada sintesis nanopartikel. Analisis gugus fungsi dapat digunakan untuk mengetahui gugus dari senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai zat pereduksi dalam sintesis nanopartikel. Metode FTIR didasarkan pada ikatan antara dua atom yang bergetar pada frekuensi tertentu. Sinar infra merah yang diserap meningkatkan amplitudo gerak getaran ikatan dalam molekul, dan sinar infra merah yang tidak diserap ditransmisikan dan dideteksi oleh detektor, yang diwujudkan sebagai data spektral. Data spektral menunjukkan ikatan mana yang terdapat dalam sampel dan ikatan mana yang diubah oleh reaksi redoks dengan logam perak (Uner, 2015).

Prinsip dasar dari FT-IR yaitu ketika cahaya inframerah mengenai sampel, cahaya tersebut diserap, menghasilkan berbagai mode getaran. Penyerapan ini berkaitan erat dengan jenis ikatan di dalam molekul. Rentang frekuensi biasanya diukur sebagai bilangan gelombang dalam rentang 4000 hingga 600 cm^{-1} . Spektrum FTIR diukur dalam bilangan gelombang untuk memberikan gambaran sederhana, karena bilangan gelombang berhubungan langsung dengan energi dan frekuensi.



Gambar 4. Proses Perubahan Sinyal Pada Spektrofotometer FT IR (Suseno Dan Firdausi, 2008)

Spektrofotometer FTIR bekerja dengan mengubah sinyal inframerah menjadi informasi spektrum melalui beberapa tahap. Cahaya inframerah dari sumber diarahkan ke interferometer Michelson, yang menghasilkan interferogram—sinyal campuran dalam domain waktu. Interferogram ini belum dapat langsung dibaca sebagai spektrum. Melalui transformasi Fourier, interferogram diubah menjadi spektrum inframerah yang menunjukkan serapan terhadap berbagai bilangan gelombang. Spektrum ini kemudian digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi senyawa berdasarkan pola serapan karakteristiknya. Keunggulan utama metode FTIR adalah kecepatan dan sensitivitasnya. Dengan hanya satu kali pengukuran interferogram, seluruh spektrum dapat diperoleh secara simultan, berbeda dengan metode konvensional yang harus memindai setiap panjang gelombang satu per satu.

Menurut Suseno dan Firdausi (2008), proses pengolahan sinyal pada spektrofotometer FTIR merupakan tahapan penting dalam memperoleh data spektrum yang akurat. Mereka menjelaskan bahwa penggunaan interferometer memungkinkan perekaman seluruh informasi frekuensi secara bersamaan dalam bentuk interferogram, yang kemudian dikonversi melalui transformasi Fourier menjadi spektrum inframerah. FTIR juga memungkinkan interpretasi data yang lebih tajam dan reproduktif. Oleh karena itu, metode ini banyak digunakan dalam riset dan pengujian bahan di berbagai bidang ilmu.

2.8 Pengelolaan Limbah

2.8.1 *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah kebutuhan oksigen biologis yang dibutuhkan mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mendegradasi bahan organik secara aerobik (Santoso, 2018). Proses penguraian bahan organik ini berarti mikroorganisme memperoleh energi dari proses oksidasi dan memakan bahan organik yang ada di lingkungan perairan. Mengetahui nilai BOD suatu badan air berguna untuk memperoleh informasi mengenai besarnya beban pencemar yang terkandung dalam badan air oleh air limbah perumahan atau industri dan untuk merancang sistem pengolahan biologis pada badan air yang tercemar (Pour *et al.*, 2014). Kandungan BOD yang tinggi menandakan minimnya oksigen terlarut yang terdapat di dalam perairan. Nilai BOD membantu untuk mengetahui apakah air limbah dapat terurai secara hayati atau tidak. Oksidasi sangat lambat dan secara teoritis dapat memakan waktu yang sangat lama. Dalam waktu 5 hari (BOD_5), oksidasi karbon organik mencapai 60-70% dan mencapai 95% dalam waktu 20 hari (Ashar, 2020).

Dalam penelitian ini penetapan nilai BOD mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pengolahan kedelai. Peraturan tersebut menetapkan baku mutu air untuk air limbah domestik dengan nilai BOD maksimum sebesar 150 mg/L. Studi tingkat BOD diperlukan untuk menentukan paparan terhadap polusi air limbah perumahan dan untuk merancang sistem pengolahan biologis yang tepat untuk air yang terkontaminasi.

2.8.2 *Chemical Oxygen demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai atau mengoksidasi bahan organik secara kimia, baik yang dapat dioksidasi secara biologis maupun yang sukar dioksidasi secara biologis (Agustiningsih, 2012). Menurut Li, dkk (2009) dalam Aji, dkk (2016) bahwa bahan-bahan organik pada air limbah kebal terhadap degradasi biologis ada beberapa diantaranya yang beracun walaupun pada konsentrasi rendah. Bahan biologis yang tidak terdegradasi tersebut akan digradasi secara kimia melalui proses oksidasi dengan memerlukan jumlah oksigen atau yang dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand*.

Chemical oxygen demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi atau banyaknya oksigen-oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO₂ dan H₂O. COD merupakan salah satu parameter kunci sebagai pendeteksi tingkat pencemaran air. Semakin tinggi COD, maka semakin buruk kualitas air yang ada (Andara dkk, 2014).

Chemical Oxygen Demand (COD) menjadi salah satu parameter penting dalam pengolahan air limbah. COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat - zat organik secara kimiawi. COD atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar limbah organik yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Nilai COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran oleh bahan organik.

2.8.3 *Total Suspended Solid (TSS)*

Salah satu parameter yang digunakan untuk mengidentifikasi kontaminasi di perairan adalah total padatan tersuspensi (TSS). Konsentrasi parameter TSS dapat digunakan sebagai ukuran untuk menunjukkan tingkat pencemaran yang ada. Jumlah TSS yang tinggi akan berdampak pada ekosistem perairan (Baxter, 2017). Kekeruhan yang disebabkan oleh banyaknya material yang tersuspensi dalam air dapat menghalangi cahaya matahari masuk ke dalam tanaman air (Purnawati, 2015).

TSS merupakan padatan yang tersuspensi dalam air berupa zat organik dan anorganik. Padatan TSS dapat mencakup pasir, lumpur, tanah, dan logam berat. Nilai TSS yang tinggi menunjukkan tingginya tingkat kontaminasi (Fathiyah *et al.*, 2017). Tingginya TSS pada suatu badan perairan menyebabkan sinar matahari sulit menembus ke dalam sehingga dapat merusak ekosistem dan menyebabkan menjadi dangkal (Siswantari, 2018). Tinggi rendahnya kadar TSS dapat disebabkan oleh kondisi hidrologi perairan antara lain pasang surut, suhu, salinitas, pH, arus laut, dan kecerahan (Arifelia *et al.*, 2015). Baku mutu BOD, COD, TSS, dan nilai pH ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Baku Mutu Parameter Pengujian Air Limbah

Parameter	Satuan	Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	150
COD	mg/L	300
TSS	mg/L	200

* Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pengolahan kedelai.

2.8.4 pH (Potensi Hidrogen)

Derajat keasaman atau pH adalah suatu ukuran yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat, larutan, atau benda dalam bentuk suatu nilai. pH adalah satuan ukuran yang menggambarkan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan (Noorulil & Adil, 2010). pH normalnya adalah ± 7 . Jika $\text{pH} > 7$ maka zat tersebut bersifat basa, tetapi jika $\text{pH} < 7$ mempunyai sifat asam. pH 0 menunjukkan tingkat keasaman yang tinggi dan pH 14 menunjukkan tingkat kebasaan yang tinggi. pH suatu larutan dapat ditentukan dengan menggunakan indikator pH seperti kertas lakmus atau pH meter (Putra & Viswanatha, 2017).

Konsentrasi pH mempengaruhi kelangsungan hidup mikroorganisme dan kesuburan badan air. Air asam dapat menyebabkan kematian ikan, begitu pula tingkat alkalinitas yang terlalu tinggi. Proses penguraian bahan organik lebih cepat dalam kondisi basa. Oleh karena itu, perubahan kadar pH mempengaruhi distribusi kimiawi air yang selanjutnya mempengaruhi organisme yang terkandung dalam air (Supriatna *et al.*, 2020).

Air limbah industri tahu memiliki sifat yang cenderung asam, pada keadaan asam akan terlepasa zat-zat akan mudah untuk menguap. Semakin tinggi limbah tahu juga berpengaruh terhadap pH air. pH industri tempe dan tahu yang masuk ke perairan berkisar 3,62–5,56. Air limbah tahu apabila masuk ke badan air berpotensi menurunkan pH air, dan berpengaruh terhadap biota perairan (organisme perairan) (Mardhia dan Abdullah, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada Mei 2024 – Juni 2024. Persiapan sampel dilaksanakan pada bulan Mei 2024 dilanjutkan dengan preparasi sampel, pembuatan larutan AgNO₃, serta sintesis AgNP dilakukan di Laboratorium Botani Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Karakterisasi AgNP menggunakan Uji FT-IR dan analisis menggunakan SEM dilakukan di Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT), Universitas Lampung pada bulan Juni 2024. Selanjutnya, pengaplikasian limbah tahu dengan melihat perubahan parameter BOD, COD, TSS dan pH dilakukan di Laboratorium Terpadu Kesehatan Lingkungan Poltekkes Tanjung Karang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu timbangan analitik, mortal pestel, erlenmeyer 250 ml, spatula, gelas ukur 500 ml, gelas ukur, gelas winkler, spatula, batang pengaduk, buret, pipet, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *hot plate stirrer*, *magnetic stirrer*, oven, botol kaca, desikator, mikroskop SEM, dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan kayu apu, limbah cair tahu, kertas whatman no. 42, serbuk AgNO_3 (*Merck*), akuades, kertas saring, MnSO_4 , H_2SO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, reagen nitrat, Feroin, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, indikator amilum dan aluminium foil.

3.3 Metode

Metode penelitian yang digunakan yaitu pengujian secara kuantitatif. Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yaitu preparasi sampel, penyaringan, pembuatan larutan AgNO_3 , sintesis AgNP, analisis AgNP, pengaplikasian AgNP dengan parameter pH, COD, BOD, dan TSS.

3.3.1 Preparasi Sampel Kayu Apu

Sampel kayu apu diperoleh dari wilayah persawahan Desa Kalirejo, Kecamatan Negeri Katon, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Penelitian ini menggunakan tanaman kayu apu yang telah dibersihkan dengan cara dicuci hingga bersih menggunakan aquades lalu kemudian dikeringkan selama 2 hari. Pengeringan pertama dilakukan pada suhu 30°C selama 24 jam. Hari kedua, dilakukan pengeringan pada suhu 40°C . Setelah sampel kering dilakukan proses penghalusan menggunakan mortal pestel dan ditimbang sebanyak 5g kemudian ditambahkan 100 ml akuades. Setelah tercampur, ekstrak kayu apu dipanaskan menggunakan hotplate hingga mendidih. Kemudian larutan didinginkan pada suhu ruang (Kasim, 2020).

3.3.2 Penyaringan Sampel

Ekstrak kayu apu disaring dengan menggunakan kertas Whatman no 42. Filtrat yang didapatkan akan digunakan ditahap berikutnya (Yanti dan Astuti, 2018).

3.3.3 Pembuatan Larutan AgNO₃

Pembentukan larutan AgNO₃ dicapai dengan melarutkan 0,08 g serbuk AgNO₃ ke dalam 250 ml aquades dalam beaker glass dan menghomogenkannya. Pada penelitian ini dibutuhkan sebanyak 3 L larutan AgNO₃ sehingga jumlah total serbuk AgNO₃ yang digunakan sejumlah 0,96 g (Asworo dkk, 2023).

3.3.4 Sintesis AgNP

Sintesis AgNP dilakukan dengan mereaksikan 40 ml AgNO₃ dengan 10 ml ekstrak kayu apu dalam labu erlenmeyer 250 ml. Larutan dilarutkan dengan spatula hingga terjadi perubahan warna (Taba dkk, 2019).

3.3.5 Analisis AgNP Ekstrak Kayu Apu

Pada penelitian ini, karakterisasi AgNP ditinjau dari bentuk permukaan, dan gugus fungsi dilakukan dengan menggunakan analisis laboratorium berupa observasi menggunakan analisis SEM dan FT-IR.

3.3.6 Pengaplikasian AgNP pada Limbah Tahu

Uji efektivitas ekstrak kayu apu dilakukan dengan mengaplikasikan larutan AgNP dan limbah cair tahu dengan perbandingan konsentrasi yang berbeda, seperti 1: 1 (1 L AgNP dan 1 L limbah cair tahu), 1: 5 (1 L AgNP dan 5 L limbah cair tahu), dan 1: 10 (1 L AgNP dan 10 L limbah cair tahu) dengan tiga kali ulangan. Selanjutnya pengaplikasian limbah tahu dengan melihat empat parameter antara lain pH, BOD, COD, dan TSS dengan rentang waktu 0 jam, 24 jam dan 72 jam yang di uji di Laboratorium Kesehatan Lingkungan Poltekkes Tanjung Karang.

3.3.7 Pengukuran Kadar pH, BOD, COD, dan TSS

a. Analisis Pengukuran pH

Pengukuran pH limbah cair dilakukan langsung pada sampel cairan limbah sebanyak 500 ml dan ditempatkan dalam gelas kimia. Sampel limbah cair kemudian diuji keasamannya menggunakan pH meter. Pengumpulan data dilakukan dua kali (diplo) untuk menghindari kesalahan data.

b. Analisis Pengukuran BOD

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu sifat yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk memecah atau menguraikan bahan organik dalam kondisi aerobik. Prinsip pengukuran BOD pada dasarnya sangat sederhana dengan cara mengukur kandungan oksigen terlarut (DO_i) awal sampel segera setelah pengambilan sampel, lalu mengukur kandungan oksigen terlarut dalam sampel. Sampel diinkubasi selama 5 hari dan kemudian disimpan pada suhu konstan ($20\text{ }^\circ\text{C}$) di tempat gelap disebut sebagai DO_5 . Selisih antara DO_1 dan DO_5 ($DO_1 - DO_5$) adalah nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Pengukuran oksigen dapat dilakukan secara analitik dengan menggunakan titrasi (metode Winkler, iodometri) atau menggunakan alat yang disebut DO meter. Oleh karena itu pada prinsipnya pada kondisi gelap diharapkan tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen, dan pada suhu konstan selama 5 hari hanya terjadi proses penguraian oleh mikroorganisme, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen, dan oksigen tersisa ditera sebagai DO_5 . Dalam hal ini, penting untuk memastikan bahwa oksigen masih ada pada hari ke 5 pengamatan

agar DO₅ tidak mencapai nol. Analisis BOD dilakukan dengan menggunakan rumus yang telah ditetapkan berdasarkan SNI 6989.72 2009 yaitu:

$$DO_0 = \frac{V_0 \times 8000 \times N}{p} \quad DO_5 = \frac{V_5 \times 8000 \times N}{p}$$

$$BOD_{total} = DO_0 - DO_5$$

Keterangan:

- DO : sampel yang tersuspensi
 BOD : nilai BOD contoh uji (mg/L)
 V₀ : volume larutan titrasi hari ke 0 (mL)
 N : larutan thiosulfat 0,0251
 V₅ : volume larutan titrasi hari ke 5 (mL)
 p : volume suspensi dalam botol uji (mL)

c. Analisis Pengukuran COD

Metode pengukuran COD agak rumit karena melibatkan peralatan refluks khusus, penggunaan asam pekat, pemanasan dan titrasi (APHA, 1989, Umay dan Cuvin, 1988). Peralatan refluks diperlukan untuk menghindari hilangnya air sampel akibat pemanasan. Menurut Dunggio dan Musa (2022) Pengukuran COD pada dasarnya melibatkan penambahan sejumlah kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) sebagai zat pengoksidasi ke sampel (volume diketahui) katalis asam pekat dan katalis perak sulfat, dan memanaskannya sebentar. Kelebihan kalium dikromat kemudian ditentukan dengan titrasi. Dengan cara ini, kalium dikromat yang digunakan untuk mengoksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan.

Berikut perhitungan COD menurut SNI 6989.15:2019 .

$$\text{COD} = \frac{(\text{V}_0 - \text{V}_s) \times \text{N} \times 8000}{\text{Volume sampel (ml)}}$$

Keterangan:

V_0 : volume larutan titran yang digunakan untuk titrasi blanko (ml)

V_s : volume larutan titran yang digunakan untuk titrasi sampel (ml)

N : Normalitas larutan titran

8000 : faktor konversi untuk mengubah hasil menjadi mg/L

d. Analisis Pengukuran TSS

Total padatan tersuspensi (TSS) menggunakan metode gravimetri dengan acuan SNI 6989.3:2019 untuk parameter TSS. Pengujian pertama untuk mengetahui kandungan TSS pada sampel air limbah tahu wilayah pekon Gading Rejo Pringsewu dengan menggunakan metode gravimetri. Setelah pengambilan sampel, terdapat dua tahap pengujian parameter TSS yaitu tahap persiapan media filter menggunakan kertas saring dan pengeringan penimbangan. Analisis parameter TSS menggunakan metode gravimetri. Penimbangan ini dilakukan dengan cara penyaringan, pemanasan dan pendinginan. Langkah pertama adalah kertas saring ditempatkan pada corong kaca yang diletakkan pada erlenmeyer, dituangkan sampel limbah cair pada kertas saring, dan tunggu sampai semua sampel limbah cair habis tersaring. Selanjutnya dilakukan pengovenan yang kemudian diaktifkan hingga suhu 104°C dan didinginkan dalam desikator selama 30 menit agar berat sisa limbah cair tidak mengganggu penimbangan. Kertas saring kemudian ditimbang dan

dilakukan pengukuran berat. Pada tahap kedua, perlakuan yang sama seperti pada tahap pertama. Sebelum disaring, sampel dihomogenisasi untuk memastikan zat-zat dalam sampel terdistribusi secara merata. Endapan yang tersisa pada kertas saring terdiri dari padatan tersuspensi. Kemudian dipanaskan, didinginkan dan ditimbang seperti pada tahap persiapan. Penelitian atau analisis TSS bertujuan untuk mengukur dan menentukan residu tersuspensi yang ada dalam sampel uji yang dikumpulkan, yaitu air limbah tahu. Untuk perhitungan TSS dapat ditunjukkan menggunakan rumus SNI 6989.3:2019

$$\text{TSS} = \frac{(A - B) \times 1000}{V_{\text{sampel}} \text{ (ml)}}$$

Keterangan :

A : Berat kertas saring sesudah ditimbang (mg)

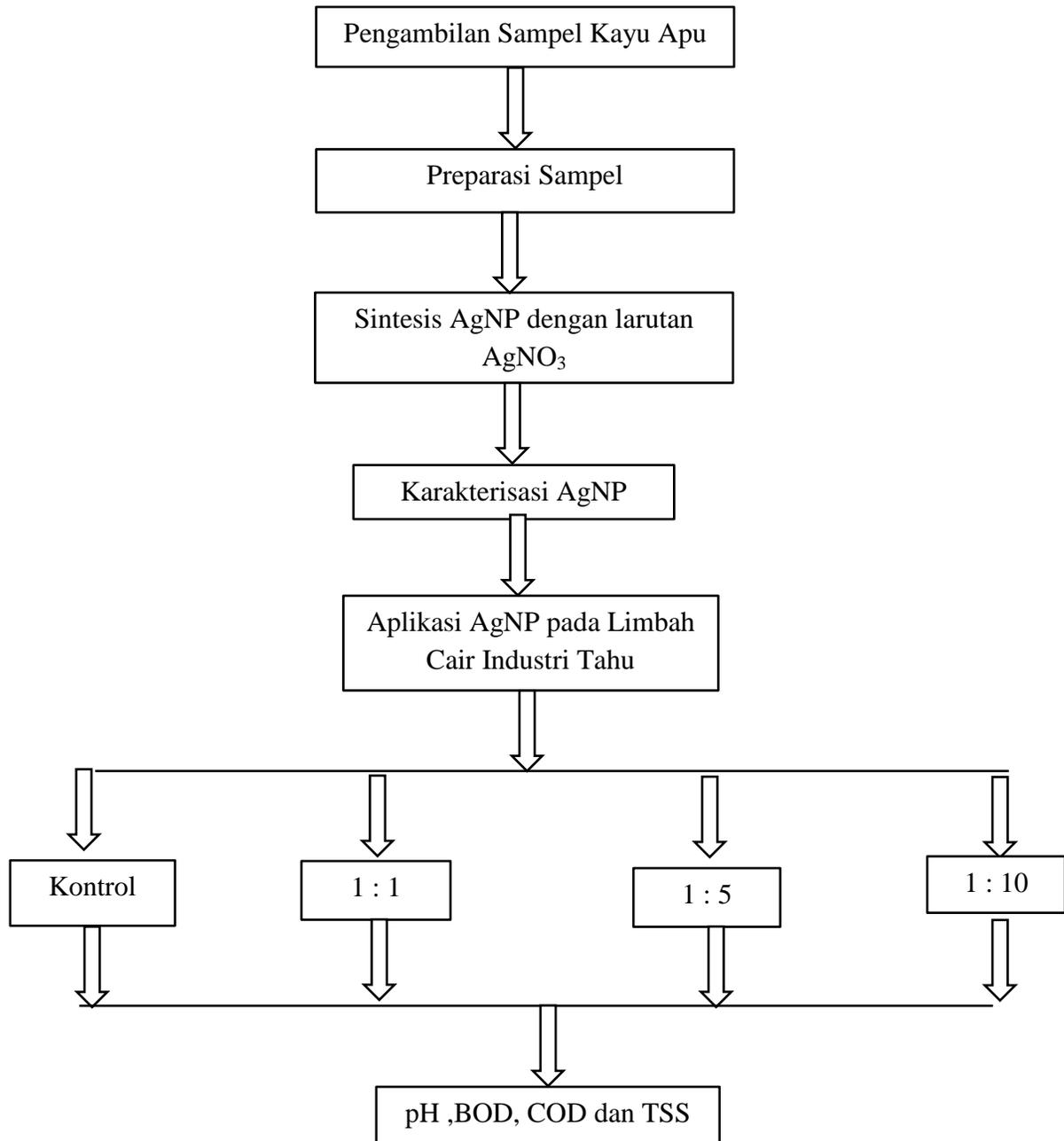
B : Berat kertas saring sebelum ditimbang (mg)

3.4 Analisis Data

Data hasil pengujian berupa perbandingan masing-masing konsentrasi AgNP dan empat parameter limbah cair industri tahu yaitu BOD, COD, TSS, dan pH. Data yang dihasilkan ditampilkan dalam format grafik dan tabel menggunakan uji *one way* ANOVA. Penggunaan uji ANOVA didasarkan pada jenis data yang diperoleh sebesar yaitu data kategorikal dan data numerik yang memuat dua atau lebih kelompok. Uji ANOVA dapat menganalisis perbedaan rata-rata yang signifikan antar kelompok dan dapat digunakan untuk desain penelitian yang berbeda dengan variasi yang berbeda, menjadikannya hipotesis yang kuat untuk membandingkan kelompok yang berbeda.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dari penelitian ini yaitu



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis Nanopartikel Perak (AgNP) dari Ekstrak Kayu Apu berhasil dilakukan dengan metode sintesis hijau.
2. Penggunaan nanopartikel perak yang disintesis dari ekstrak kayu apu untuk pengolahan limbah cair industri tahu menunjukkan hasil yang signifikan untuk pH dalam mengurangi tingkat polusi limbah cair serta efektif pada parameter COD, BOD, dan TSS pada perbandingan 1 : 1.

5.2 Saran

Saran dari peneliti yaitu:

1. Penelitian ini sebaiknya diperluas untuk menguji efektivitas nanopartikel perak pada limbah cair industri lain, seperti industri tekstil, untuk mengevaluasi potensi aplikasi yang lebih luas
2. Melakukan perbandingan efektivitas penurunan kadar pencemar antara penggunaan tanaman kayu apu langsung dengan ekstrak kayu apu.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifudin, A.F.M., dan Irawanto, R. 2022. *Fitoremediasi Suku Alismataceae*. Padang: PT Global Eksekutif Teknologi.
- Afridan dan Irfan, A. 2023. Gambaran Kualitas Air Limbah Industri Tahu Di Koto Lalang Kota Padang. *Jurnal Media Ilmu*. 2(2): 256-266
- Adnand, M. 2019. Fitoremediasi Limbah Cair Industri Pengolahan Tempe Dengan Menggunakan Tanaman Apu-Apu (*Pistia Stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) . *Jurnal Sanitasi dan Kesehatan*.3(1).
- Agustiani, K. dan Mirwan, M. 2024. Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran Berdasarkan Parameter COD, Amonia, Dan TSS. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*.2. (7):55 – 64.
- Agustiningsih, D. 2012. *Kajian Kualitas Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai*. Tesis. Program Mangister Ilmu Lingkungan Undip.
- Ahad, K. A. A., Prasanta P., Islam Md. T., Biswas NN., and Sadhu SK. 2011. Cytotoxicity, Antimicrobial and Neuropharmacological Evaluation of Ethanolic Extract of *Pistia Stratiotes* L. *Int. Res. J. Pharm*. 2(2): 82
- 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. Green Nanotechnology: a Review on Geen Synthesis of Silver Nanoparticles an Ecofriendly Approach. *International Journal of Nanomedicine*.14:5087–5107.
- Aji, P. 2016. *Penurunan Nilai COD Air Limbah Pabrik Tahu Menggunakan Reagen Fenton Secara Batch*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang
- Ali, H., Khan, E., dan Sajad, M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metalsd concepts and applications. *Chemosphere*. 91(7).

- Alshehri, M.A., Aziz, A.T., Trivedi, S., Alanazi, N.A., Panneerselvam, C., Baeshen, R., dan Alatawi, A. 2020. One-Step Synthesis of Ag nanoparticles using aqueous extracts from sundarbans mangroves revealed high toxicity on major mosquito vec-tors and microbial pathogens. *J Cluster Sci.* 31: 177–84.
- Artiyani, A. 2014. Penurunan Kadar N-Total dan P-Total pada Limbah Cair Tahu dengan Metode Fitoremediasi Aliran Batch dan Kontinyu Menggunakan Tanaman Hydrilla Verticillata. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan.* 9(18): 9-14
- Baxter, T.E. 2017. *Standard Operating Procedure Total Dissolved Solids by Gravimetric Determination.*
- Beri, D. dan Hary S. 2012. *Analisis Instrumen: XRD, XRF, SEM, DTA, TGA dan DSC.* Universitas Negeri Padang: Padang.
- Charisma, W., Zaman, B., dan Syafrudin. 2015. Pengaruh Waktu Tinggal dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) terhadap penurunan konsentrasi BOD, COD dan Warna. *Jurnal Teknik Lingkungan.* 4(2):1-8.
- Damanhuri, T.P., N. Halim, dan S. Nurtiono 1997. The role of recirculation in increasing efficiency of anaerobic and aerobic wastewater treatment of tofu industry. *Proceeding of The Indonesian Biotechnology Conference,* Jakarta.
- Dawud, M., Namara, I., Cahyati, N., dan Muhammad, F. 2006. Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Berbasis Masyarakat . *Seminar Nasional Sains dan Teknologi FT UMJ.* 1-10.
- Devy, SD., dan Kurniawan, A.S. 2022. Potensi Limbah Cair Tahu Sebagai Pupuk Organik Cair di RT. 31 Kelurahan Lempake Kota Samarinda. *ABDIKU Mulawarman Jurnal Pengabdian Masyarakat.* 1(1):36-41.
- Dewa, C., Susanawati.L.D., dan Widiatmono, B.R. 2016. Daya Tampung Sungai Gede Akibat Pencemaran Limbah Cair Industri Tepung Singkong di Kecamatan Ngadiluwih Kabupaten Kediri. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan (JSAL).*
- Dunggio, I dan Musa, W.J.A. 2022. Pengujian Kualitas Kimia dan Fisika Limbah Cair Pada Industri Kecil dan Menengah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Poso Kabupaten Gorontalo Utara. *Jamb.J.Chem.* 4 (2), 36-46

- Dragovic M, Pejovic M, Stepic J, Colic S, Dozic B, Dragovic S, Lazarevic M, Nikolic N, Milasin J, dan Milicic B. 2020. Comparison of four different suture materials in respect to oral wound healing, microbial colonization, tissue reaction and clinical features-randomized clinical study. *Clin Oral Investig.* 24(4):1527-1541
- Fachrurozi, M., Utami, L. B., dan Suryani, D. 2014. Pengaruh Variasi Biomassa *Pistia stratiotes* L. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, DAN TSS Limbah Cair Tahu DI Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Journal of Public Health)*. 4(1), 1–16.
- Farnese, F.S., Oliveira, J.A., Lima, F.S., Leao, G.A., Gusmana, G.S., dan Silva, L.C. 2014. Evaluation of The Potential of *Pistia Stratiotes* L. (*Water Lettuce*) For Bioindication and Phytoremediation of Aquatic Environments Contaminated With Arsenic. *Braz J Biol.* 74 (3) :108–112.
- Guzman, M.G., Jean, D., dan Stephan. G. 2009. Synthesis of silver nano particles by chemical reduction method and their antibacterial activity. *Int J Chem Biomol Eng.* 2(3).
- 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.
- Handoko, Y. A., Riani, I. P., dan Laurita, L. 2016. *Studi Pertumbuhan Pistia Stratiotes L. Terhadap Beberapa Jenis Logam*. Prosiding Konser Karya Ilmiah. 2, 105-115.
- Hanisa, E., Nugraha, W.D., dan Sarminingsih, A. 2017. Penentuan Status Mutu Air Sungai Berdasarkan Metode Indeks kualitas Air –National Sanitation Foundation (Ika-Nsf) Sebagai Pengendalian Kualitas Lingkungan (Studi Kasus : Sungai Gelis, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah). 6(1):2.
- Hatta, M. 2014. Hubungan Antara Parameter Oseanografi dengan Kandungan Klorofil-A Pada Musim Timur di Perairan Utara Papua. Torani. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan.* 24(3): 29-39.
- Hosokawa, M., Nishino, J., dan Kanno, Y. 2007. *Nanoparticle Technology Handbook, 1st edition*. UK: Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP.

- Irawan A, dan Asli F. 2020. Analisis Kualitas Air Sungai Batang Salido di Kecamatan Iv Jurai. *J Civ Eng Vocat Educ.*7(3):182.
- Irawanto, R. 2010. Fitoremediasi lingkungan dalam Taman Bali. *Jurnal Lokal Wisdom.* 2 (4): 29-35
- Irpan, A., dan Spalanzani, W. 2020. Penyuluhan Minimasi Pencemaran Air Di Kedaung Bekasi. *Sains Teknol dalam Pemberdaya Masyarakat.* 1(2):112.
- Khasanah, M., Moelyaningrum, A.D., dan Pujiati, R.S. 2018. Analisis Perbedaan Tanaman Kayu (*Pistia stratiotes*) sebagai Fitoremediasi Merkuri (Hg) pada Air. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan.* 9(3): 105-110.
- Lumbanraja, P. 2014. *Mikroorganisme dalam Bioremediasi.* Sekolah Pascasarjana. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- 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.
- Madaniyah. 2016. Efektifitas Tanaman Air dalam Pembersihan Logam Berat Pada Air Asam Tambang. IPB.
- Mangkoedihardjo, S., dan Ganjar, S. 2010. *Fitoteknologi Terapan.* Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Marian, Elisabet dan Sumiyati T. 2019. Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Pupuk Organik Cair pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Putih (*Brasica pekinensis*). *Agritrop.* 17(2), 135-145.
- Masakke, Y., Rasyid, M., dan Sulfikar. 2015. Biosintesis Partikel-nano Perak Menggunakan Ekstrak Metanol Daun Manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Jurnal Sainsmat,* 4(1): 28–41.
- Metcalf, dan Eddy. 2014. *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery.* Boston: McGraw-Hill International Edition. 1.
- Mustaniroh, S. A., Wignyanto, dan Bernardus, E. S. 2009. Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Sebagai Biofilter Decreasing Effectiveness of Organic and Inorganic Material in Liquid Waste of Leather Tanning by Using Waterlettuce (*Pistia stratiotes* L.) as Biofilter. *Teknologi Pertanian.* 10(1), 10–18.

- Mohanpuria, P., Rana, N.K. dan Yadav, S. K. 2008. Bio-synthesis of nanoparticles: technological concepts and future applications. *J Nanopart Res.*10.507-517.
- Ningrum, S.O. 2018. Analisis Kualitas Badan Air dan Kualitas Air Sumur di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan [Internet]*. 10(1) :1-12.
- Nlavukkarasi M., Vijayakumar S., dan Kumar SP. 2020. Biological synthesis and characterization of silver nanoparticles with *Capparis zeylanica* E leaf extract for potent antimicrobial and anti proliferation efficiency. *Mater Sci for Energ Technol* . 3. 371-376.
- Noorulil, B., dan Adil, R. 2010. Rancang Bangun Model Mekanik Alat untuk Preparation 1st . *Aptecs*, 1-9
- Nurfitri A, dan Rachmatiah I. 2010. Pengaruh kerapatan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L) terhadap serapan logam Cu pada air. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 16 (1): 42-51
- Pagoray, H., Sulistyawati, S., dan Fitriyani, F. 2021. Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*. 9(1), 53–65.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/Menlhk/Setjen/Kum.1/4/2019 36 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 32 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Purnawati. 2015. *Penurunan Kadar Rhodamin B dalam Air Limbah dengan Biofiltrasi Sistem Tanaman*. Bali. Pascasarjana Udayana.
- Purwanto, A. 2019. Analisis Kualitas Air Limbah dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 10(1): 45-55.
- Putra, K. A., dan Viswanatha, P. A. 2017. Keseimbangan Asam Basa. *SIMDOS UNUD*.
- Ponarulselvam, S., Panneerselvam, C., Murugan, K., Aarthi, N., Kalimuthu, K., dan Thangamani, S. 2012. Synthesis of silver nanoparticles using leaves of *Catharanthus roseus* Linn. G. Don and their antiplasmodial activities. *Asian Pac J Trop Biomed*. 2(7): 574–580.

- Priyanto, B. dan Prayitno, J., 2008. Fitoremediasi sebagai sebuah teknologi pemulihan pencemaran khusus logam berat, *Jurnal Informasi Fitoremediasi*.
- Priyanto, B., dan J. Prayitno., 2000. *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*. Seminar Nasional Peranan Teknologi Lingkungan Alam Pengembangan Industri dan Pengelolaan Sumber daya Alam yang Berkelanjutan: Jakarta.
- Raissa, D.G dan Tangahu, B.V. 2017. Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). *Jurnal Teknik ITS*. 6(2), 7-11.
- Raras DP, dan Alimuddin, Y.B., 2015. *Analisis Kandungan Ion Logam Berat (Fe, Cd, Cu dan Pb) pada Tanaman Apu-Apu (Pistia stratiotes) dengan Menggunakan Variasi Waktu*. Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA. Universitas Mulawarman, Samarinda.
- Renugadevi K, dan Aswini RV. 2012. Microwave irradiation assisted synthesis of silver nanoparticle using Azadirachta indica leaf extract as a reducing agent and in vitro evaluation of its antibacterial and anticancer activity. *Int J Nanomater Biostructure*. 2.5-10
- Sabur, M.A., Khan, A.A., dan Saflullah, S. 2012. Treatment of Textile Wastewater by Coagulation Precipitation Method. *Journal of Scientific Research*. 4. 623-633.
- Safitri, R. 2009. Phytoremediasi Greywater dengan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) serta Pemanfaatannya untuk Tanaman Selada (*Lactuca sativa*) secara Hidroponik. *Skripsi Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian IPB*. Bogor.
- Sahu, R. K., Roy, A., Jha, A. K., dan Sharma, U. 2018. Diuretic Activity Of Ethanolic Extract Of Pistia Stratiotes In Rats. *Biomedical And Pharmacology Journal*. 2(1) :149-152.
- Said, N.I. 2002. *Penggunaan Media Serat Plastik pada Proses Biofilter Tercelup untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga Non Toilet*. Jakarta, BPPT.
- Santriyana, D., Hayati, R., dan Apriani, I. 2013. Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) Yang Ditumbuhkan Pada Limbah Ipa Pdam Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. *Tesis*. Universitas Tanjungpura. Pontianak

- Sidauruk L, dan Patricius S. 2015. Fitoremediasi lahan tercemar di kawasan industri medan dengan tanaman hias. *Jurnal Pertanian Tropik* 2 (2): 178-186.
- Susilo, L,K,K. 2023. *Sintesis Hijau Nanopartikel Perak (AgNP) Menggunakan Ekstrak Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) Sebagai Agen Bioremediasi Perairan*. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung.
- Suseno, J. E., dan Firdausi, K. S. 2008. Rancang Bangun Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk Penentuan Kualitas Susu Sapi. *Berkala Fisika*. 11 (1).
- 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
- Schaechter, M. 1992. *Encyclopedia of Microbiology Vol 2*. Academic Press, New York.
- Sharma, S., and Sharma, N. 2021. Preparation of probiotic enriched functional beverage of Kodo millet (*Paspalum scrobiculatum*) a nutritionally enriched absolute new product for commercialization. *J. Pharmacogn. Phytochem*. 10, 752–758.
- Taba, P., Paramitha, N., dan Kasim, S. 2019. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) Sebagai Bioreduktor Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antioksidan. *J Chem Res*,7(1):51–60.
- Umadevi, M., Bindhu, M.R. dan Sathe, V. 2013. A Novel Synthesis of Malic Acid Capped Silver Nanoparticles using Solanum lycopersicums Fruit Extract. *J. Mater. Sci.Technol*. 29(4): 317-322
- Victor, K.K., Seka, Y., Norbert, K.K., Sanoga, T.A., dan Celestin,A.B. 2016. Phytoremediation of wastewater toxicity using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*). *Int J Phytoremed*. 18(10):949–955.
- Yuniarti, S. I. 2012. *Seleksi Tumbuhan Remediator Logam Kromium Di Daerah Industri Sukaregang Garut*. Skripsi. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung
- Yusuf, G. 2001. *Proses Bioremediasi Limbah Rumah Tangga Dalam Skala Kecil Dengan Kemampuan Tanaman Air Pada Sistem Simulasi*. Tesis. Institut Pertanian Bogor.

- Wasahla. 2015. *Uji Senyawa Fitokimia dan Aktivitas Antioksi dan Ekstrak Tumbuhan Apu-apu (Pistia stratiotes)*. Skripsi. Indralaya: Universitas Sriwijaya
- Wirdani, PNM., 2008. *Konsentrasi Flavonoid dan Lethal Concentration 50 (LC50) Ekstrak Daun Sirih Merah (Piper crocatum)*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Institut Pertanian Bogor.
- Willems dan Wildenberg VD. 2005. *Roadmap Report on Nanoparticle*. Barcelona, Spain: W and W España