

## II. TINJAUAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS

### A. Industri Batik

Batik merupakan salah satu kekayaan budaya dari Indonesia yang diwariskan dari masa ke masa. Batik sendiri merupakan salah satu kesenian budaya dari Indonesia yang terkenal hingga ke mancanegara. Hal ini dikarenakan dari masing-masing daerah memiliki ciri khas sendiri pada masing-masing pola batik yang dimilikinya yang kemudian dikembangkan hingga ke luar daerah hingga ke luar negeri (Kurniawan *et al.*, 2023).

Batik sendiri diakui dunia sebagai warisan budaya tak benda bangsa Indonesia (*Indonesia cultural heritage*) yang ditetapkan oleh *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation* (UNESCO). Batik yang sudah mendunia ini terus dijaga warisannya sehingga banyak sekolah-sekolah yang dimulai dari tingkat sekolah dasar, sudah mempelajari mengenai batik dan tak sedikit yang sudah belajar bagaimana cara membuatnya. Hal seperti ini yang membuat industri batik kian melebar dan membesar akibat dari pembelajaran tentang batik sejak masa sekolah (Kurniawan *et al.*, 2023).

Industri batik kian hari kian membesar yang dikarenakan batik sendiri terus dikelola dan diwarisi turun temurun. Pewarnaan dalam industri sangatlah penting namun naasnya, pewarnaan ini lah yang akan terus menyebabkan pencemaran lingkungan. Pencemaran terutama bersumber dari limbah cair yang berasal dari zat pewarna dari proses pewarnaan, pencucian, dan pembilasan kain batik. Ada juga limbah lain yang terdiri dari sisa mori dan tetesan lilin (Apriyani, 2018).

Terdapat banyak jenis motif batik yang ada di Indonesia. Berbagai jenis motif batik juga berasal dari daerah-daerah yang berbeda dan memiliki cara pembuatan sendiri yang berbeda. Adapun teknik pembuatan batik menurut Sulaiman (2023) sebagai berikut:

1. Teknik canting tulis (batik tulis)

Teknik ini merupakan teknik yang digunakan untuk membuat batik klasik. Teknik ini menggunakan canting sebagai proses membuatnya. Fungsi dari canting tersebut untuk menulis atau mengukir cairan lilin atau malam pada proses pembuatan pola batik secara langsung pada kain.

2. Teknik cap

Teknik ini menggunakan alat canting cap yang terbuat dari tembaga. Teknik ini dilakukan dengan cara mencelupkan alat canting cat pada cairan malam yang kemudian ditekan di atas kain mori.

3. Teknik *printing*

Teknik ini merupakan salah satu jenis teknik terbatu pada pembuatan batik yang menggunakan alat cetak. Teknik *printing* ini hanya menggunakan satu sisi kain saja sehingga proses yang dilakukan secara cepat dan efisien.

4. Teknik ikat celup

Teknik ini dilakukan dengan cara mengikat kain dengan tali, benang, atau papan sebagai bahan penghambat atau perintang warna. Kain lalu dicelupkan, setelah itu diambil dari larutan pewarna batik dan dibuka ikatannya. Kain yang diikat menjadi tidak terkena warna dan yang tidak diikat tidak terkena warna sehingga dikenal juga dengan teknik jumputan.

#### 5. Teknik colet atau teknik Lukis

Teknik ini dilakukan dengan cara mengoleskan pewarna pada kain dengan kuas atau teknik melukis motif langsung di atas kain mori.

### **B. Limbah Cair Batik**

Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel batik yang menggunakan teknik batik dengan cara ditulis, dikarenakan pewarna yang banyak sehingga, menghasilkan air dengan kandungan pewarna yang banyak dan menghasilkan limbah cair. Pewarna pada batik sendiri biasanya menggunakan pewarna sintetis yang dibuat dengan bahan dasar buatan yaitu hidrokarbon, aromatik dan naftalena yang terbuat dari batubara. Ada juga pewarna batik yang menggunakan pewarna sintetis atau kimia yang berasal dari naftol, indigosol, rapide, ergan soja, kopel soja, chroom soja, dan procion, yang dimana pewarna ini sering digunakan karena pemakaian yang mudah dan harga yang tidak tinggi namun pewarna ini seringkali menghasilkan limbah yang lebih berpotensi mencemari lingkungan (Apriyani, 2018). Cemaran limbah di Indonesia pada setiap daerahnya memiliki standar baku mutunya masing-masing, hal itu dapat ditunjukkan pada kegiatan industri batik PERGUB DIY NO. 7 TAHUN 2016.

### C. Karakteristik Limbah Cair

Parameter yang terdapat dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor. 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri untuk Kegiatan Industri Lainnya merupakan parameter yang akan dilakukan pada penelitian ini. Tujuan dari pengukuran ini yaitu sebagai parameter pendukung dan mengetahui karakteristik pada air limbah industri batik selama prosesnya. Karakteristik limbah cair dibagi menjadi 3, hal ini disampaikan Farida & Hartanti (2021), sebagai berikut:

#### 1. Karakteristik Fisika Limbah Cair

##### a. Padatan (*solids*)

Limbah cair memiliki bermacam zat padat yang berasal dari material yang kasar hingga material yang bersifat koloidal. Dalam karakteristik air limbah, material kasar harus dihilangkan sebelum dilakukan analisis contoh terhadap zat padat. Terdapat dua jenis padatan, yaitu:

##### a.a. *Total Suspended Solid* (TSS)

TSS meliputi materi atau bahan tersuspensi yang bisa menyebabkan kekeruhan air yang terdiri dari lumpur ataupun pasir-pasir halus. TSS merupakan salah satu faktor penting menurunnya kualitas air sehingga menyebabkan perubahan secara fisika, kimia, dan biologi. TSS dapat menurunkan kesediaan oksigen terlarut. Oksigen yang berlangsung lama akan menyebabkan perairan menjadi anaerob yang bisa menyebabkan organisme aerob menjadi

mati sehingga tingginya TSS dapat secara langsung mengganggu biota perairan.

a.b. *Total Dissolved Solid (TDS)*

TDS didapatkan dari berbagai zat terlarut yang bisa terdiri dari zat organik, an organik ataupun lainnya dengan diameter  $< 10^{-3} \mu\text{m}$  yang terdapat pada larutan yang terlarut dalam air. TDS berawal dari limpahan-limpahan padatan yang ada. Perubahan dalam TDS dapat berbahaya karena akan menyebabkan perubahan salinitas, komposisi ion-ion, dan toksisitas masing-masing ion. Perubahan ini dapat menyebabkan toksisitas tinggi pada tahapan hidup suatu organisme.

b. Warna

Air limbah biasanya memiliki warna coklat muda keabu-abuan. Namun, dengan berjalannya waktu dalam sistem pengumpulan dan berkembangnya kondisi anaerobik, warna air limbah bisa berubah menjadi abu-abu gelap hingga menjadi hitam. Perubahan air limbah yang makin gelap tentunya menandakan kondisi air limbah yang semakin tercemar.

c. Suhu

Suhu dari air limbah merupakan parameter penting yang bisa memengaruhi reaksi kimia, laju reaksi, kehidupan dalam air, dan keberlangsungan air untuk hal yang bermanfaat. Peningkatan laju reaksi biokimia bersamaan dengan kenaikan suhu yang akan menurunkan kadar jumlah oksigen yang tersedia pada air.

d. Kekeruhan (*turbidity*)

Kekeruhan merupakan parameter yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan air. Kekeruhan ini disebabkan oleh benda atau padatan yang tercampur pada air.

2. Karakteristik Kimia Limbah Cair

a. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan populasi campuran dari mikroorganisme untuk melakukan oksidasi aerobik. Pemeriksaan BOD dilakukan untuk prosedur oksidasi dimana organisme hidup bertindak sebagai medium untuk menguraikan bahan organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Pemeriksaan ini berpengaruh untuk keberlangsungan hidup suatu organisme pada perairan.

b. *Dissolved Oxygen* (DO)

DO dibutuhkan untuk pernapasan suatu mikroorganisme atau makhluk hidup lainnya. Adanya larutan oksigen di dalam air limbah sangat dibutuhkan karena mencegah pembentukan bau busuk.

c. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD merupakan sebagai jumlah oksigen ( $\text{mg O}_2$ ) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 mL sampel air.

d. Logam Berat

Logam berat pada perairan merupakan hal yang bisa terjadi yang dapat meningkat akibat masuknya bahan pencemar yang mengandung

logam. Keberadaan logam berat dapat menjadi polutan apabila kandungannya melebihi ambang batas. Penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya karena logam berat tidak dapat dihancurkan oleh organisme hidup di lingkungan dan tersebar ke lingkungan. Pencemaran bahan logam berat biasanya seperti timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu), cadmium (Cd), dan lainnya yang bisa meningkatkan kasus keracunan dan gangguan kesehatan masyarakat.

e. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan derajat keasaman yang berfungsi untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. pH diartikan sebagai kologaritma aktivitas ion hydrogen ( $H^+$ ) yang terlarut. Skala pH bersifat relative terhadap sekumpulan larutan standar yang pH-nya ditentukan berdasarkan persetujuan internasional

3. Karakteristik Biologi Limbah Cair

Karakteristik biologi limbah cair bersifat penting karena merupakan salah satu pengendali penyakit yang disebabkan oleh organisme patogen dan peran mikroorganisme pada dekomposisi dan stabilitas zat organik yang berada di alam ataupun instalasi pengolahan limbah. Organisme yang ditemukan pada air limbah antaranya seperti bakteri, jamur, protozoa, alga, hewan, tumbuhan dan virus.

**D. Seng (Zn)**

Seng merupakan logam yang berwarna biru putih yang memiliki unsur kimia bersimbol Zn. Seng sendiri logam yang banyak terkandung dalam kulit

bumi dan terdapat dalam tanah, air, dan udara sehingga banyak tersebar dimana-mana. Konsentrasi seng ditemukan di daerah-daerah industri, seperti pertambangan, pembakaran, dan limbah-limbah pembakaran. Daerah-daerah yang biasanya memiliki industri tersebut, memiliki zat-zat Zn yang tersebar entah pada tanah, air, ataupun udara yang biasanya memiliki konsentrasi tinggi bahkan melampaui kadar baku mutu. Seng biasanya digunakan untuk pembuatan cat ataupun pewarna (Sembel, 2015).

Seng (Zn) pada limbah batik bisa berasal dari proses pewarnaan ataupun pencucian. Hal ini bersumber dari wadah yang digunakan. Wadah yang digunakan pada proses pencucian atau pencelupan biasanya menggunakan besi yang tahan panas dan bahan kimia yang diperlukan untuk melarutkan lilin. Besi galvanis biasanya digunakan untuk bahan pembuatan wadah, besi ini tahan terhadap suhu tinggi namun dilapisi dengan seng (Zn) (Wulandari *et al.*, 2024).

Logam berat Zn pada batik juga bisa berasal dari pewarna yang digunakan dalam membatik ataupun air yang digunakan untuk membilas dan merebus kain. Logam Zn dalam limbah biasanya terlarut menjadi ion logam maupun terikat dengan senyawa lain sehingga dapat membentuk senyawa yang lebih kompleks. Logam Zn yang sulit diuraikan bisa mencemarkan lingkungan dan bisa diserap oleh tumbuhan ataupun hewan bahkan dikonsumsi manusia yang bisa menyebabkan kanker pada manusia (Nur *et al.*, 2023).

Pewarna yang digunakan pada pewarnaan batik biasanya menggunakan pewarna sintesis berupa naftol dan juga indigosol. Penelitian yang dilakukan oleh Oginawati *et al.*, menghasilkan bahwa kandungan logam berat seperti Zn

pada zat warna naftol dan indigosol pada tanah di desa wisata Krebet dilaporkan 70-2947 mg/kg dan 3,77 mg/L zat Zn pada air. Hal ini dikarenakan desa tersebut yang memiliki kerajinan batik dengan menggunakan pewarna naftol dan indigosol. Logam Zn dengan konsentrasi tinggi ini jika dikonsumsi akan berbahaya bagi hewan ataupun tanaman bahkan sistem tubuh manusia karena sifat logam yang karsinogenik dan *toxic* (Wibowo *et al.*, 2025).

#### **E. Fitoremediasi**

Fitoremediasi awalnya dimunculkan oleh Chaney pada tahun 1983 dengan tujuan mengurangi konsentrasi atau mengurangi pengaruh racun bahan pencemar dalam lingkungan dengan menggunakan tanaman dan asosiasi mikrobial. Fitoremediasi bisa digunakan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan logam berat, radionuklida, dan pencemar organik. Fitoremediasi sendiri berasal dari gabungan 2 kata, yaitu "*phyto*" yang berarti tumbuhan dan "*remedium*" yang berarti memperbaiki atau membuang makhluk jahat. Tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap bahan pencemar dari lingkungan tumbuhnya dan menetralkan daya racun bahan pencemar (Handayanto *et al.*, 2017).

Fitoremediasi merupakan salah satu strategi yang dikendalikan oleh sinar matahari yang murah, efisien, dan dapat diterapkan "*in-situ*", serta ramah lingkungan. Tumbuhan nantinya menangani bahan pencemar tanpa mempengaruhi lapisan atas sehingga tetap mempertahankan kegunaan dan kesuburan tanah. Tumbuhan juga dapat memperbaiki kesuburan tanah dengan masukan bahan organik (Handayanto *et al.*, 2017).

Fitoremediasi bisa dilakukan untuk tujuan menegatasi permasalahan lingkungan. Pengaplikasian fitoremediasi biasanya menggunakan agen fitoremediator yang sudah teruji dalam segi ekonomi tidak perlu menggunakan biaya yang tinggi. Metode ini mampu menurunkan konsentrasi zat pencemar yang terkandung di atas baku mutu (Fatiha *et al.*, 2025).

Menurut Handayanto *et al.*, (2017) teknik dalam fitoremediasi mencakup fitoekstraksi, fitofiltrasi (rhizofiltrasi), fitostabilisasi, fitovolatilisasi, dan fitodegradasi (fitotransformasi). Dari ke lima teknik tersebut, teknik yang paling sering digunakan adalah fitoekstraksi. Oleh sebab itu, fitoremediasi dan fitoeksktraksi sering dianggap memiliki arti yang sama, padahal fitoremediasi hanyalah sebuah konsep dan fitoekstraksi merupakan teknologi pembersihan yang spesifik. Penjelasan mengenai kelima teknik tersebut dapat dilihat, sebagai berikut:

a. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi atau yang dikenal juga dengan fitoakumulasi, fitoabsorpsi atau fitosekuestrasi merupakan penyerapan senyawa pencemar dari tanah ataupun air oleh akar tanaman serta translokasi dan akumulasi senyawa pencemar di dalam bagian atas tanah. Fitoekstraksi tertuju pada penyerapan dan translokasi unsur logam pencemar di tanah oleh tumbuhan tertentu yang disebut “hiperakumulator”, yang merupakan tumbuhan yang dapat menyerap unsur logam dalam jumlah besar dan tanpa terlihat gejala kerusakan ataupun kematian tanaman. Tumbuhan hiperakumulator mampu menyerap logam 100 kali lebih besar seperti 10 mg/kg Hg; 100 mg/kg Cd;

1000 mg/kg Co, Cr, Cu dan Pb; 10000 mg/kg Zn dan Ni yang dimana tanaman hiperakumulator ini terdiri dari 400 spesies dan sedikitnya 45 famili yang telah dilaporkan sebagai hiperakumulator logam.

Fitoekstraksi dapat dibedakan menjadi 2 kategori, yaitu fitoekstraksi induksi (*induced phytoextraction*) dan fitoekstraksi terus-menerus (*continuous phytoextraction*). Fitoekstraksi yang terus-menerus membutuhkan penggunaan tumbuhan yang mampu mengakumulasi bahan pencemar dalam jumlah besar sepanjang masa tumbuhnya. Fitoekstraksi induksi biasanya bertujuan untuk meningkatkan akumulasi bahan beracun pada waktu tertentu melalui penambahan bahan pemacu atau pengikat untuk meningkatkan ketersediaan logam tersebut.

Keberhasilan dari fitoekstraksi secara alami tergantung pada karakteristik tumbuhan. Fitoekstraksi membutuhkan kemampuan genetic tanaman dan pengembangan praktek agronomi yang optimal. Tanaman fitoekstraksi harus dapat tumbuh di luar daerah tumbuhnya, memiliki sistem akar berlimpah dan mampu mengangkut logam, memiliki toleransi terhadap logam terutama dengan jumlah yang besar.

Tanaman yang digunakan juga harus mudah dirawat, tumbuh cepat, memiliki kanopi dan sistem akar yang padat, dan toleran terhadap logam pencemar serta kondisi lokasi lainnya yang dapat membatasi pertumbuhan tanaman. Fitoekstraksi berguna untuk lokasi dengan kandungan logam yang rendah dengan tingkat pencemaran sedang karena pertumbuhan tanaman tidak akan berlangsung normal. Efektivitas

fitoekstraksi logam berat juga tergantung pada tingkat ketersediaan logam untuk dapat diserap tanaman.

b. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi atau yang sering disebut juga dengan fitoimobilisasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk stabilisasi bahan pencemar dalam tanah. Teknik ini digunakan untuk mengurangi mobilitas ketersediaan hayati bahan pencemar di lingkungan sehingga mencegah masuk ke dalam lingkungan. Tanaman akan mengeluarkan enzim redoks khusus yang kemudian tanaman akan mengkonversi logam berbahaya menjadi bentuk yang relatif kurang beracun sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan tanaman akibat cekaman logam.

c. Fitovolatalisasi

Fitovolatalisasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk menyerap unsur atau zat beracun yang kemudian mengkonversi dan melepaskannya dalam bentuk kurang beracun ke atmosfer, menyerap unsur logam yang mudah menguap dari dalam tanah dan menguapkannya dari daun.

d. Fitodegradasi

Fitodegradasi atau yang sering disebut juga dengan fitotransformasi adalah degradasi pencemar oleh tumbuhan dengan bantuan enzim seperti dehalogenase dan oksigenase, dan tidak tergantung mikroorganisme rizosfer. Fitodegradasi hanya berfokus pada penyingkiran pencemar organik karena logam berat tidak bisa didegradasi untuk pencemar organik, termasuk

herbisida dan insektisida sintetik dengan menggunakan tanaman hasil rekayasa genetik.

e. Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi merupakan penggunaan akar tumbuhan atau bibit yang hampir mirip dengan teknik fitoekstraksi yang digunakan untuk menyerap bahan pencemar terutama logam dari air, tanah, atau air limbah. Tumbuhan yang digunakan tidak ditanam terlebih dahulu tetapi diaklimatisasi terlebih dahulu untuk menyesuaikan kondisi lingkungan yang tercemar. Tanaman yang sudah bisa menyesuaikan diri, akan ditanam di daerah tercemar dimana akar menyerap air tercemar.

Fitoremediasi memiliki hasil yang menjanjikan untuk memperbaiki pencemaran logam berat. Namun menurut Handayanto *et al* (2017)., fitoremediasi memiliki kelemahan sebagai berikut:

1. Memerlukan waktu yang lama
2. Efisiensi fitoremediasi oleh beberapa tanaman hiperakumulator biasanya dibatasi oleh lambatnya pertumbuhan tanaman hiperakumulator dan rendahnya biomasa yang dihasilkan
3. Kesulitan dalam mengikat logam dalam tanah
4. Hanya berlaku untuk lokasi dengan tingkat cemaran ringan sampai sedang karena pertumbuhan tanaman untuk fitoremediasi tidak akan berkelanjutan pada lokasi dengan cemaran berat
5. Terdapat resiko kontaminasi rantai makanan jika pelaksanaan dan pengelolaannya tidak cepat

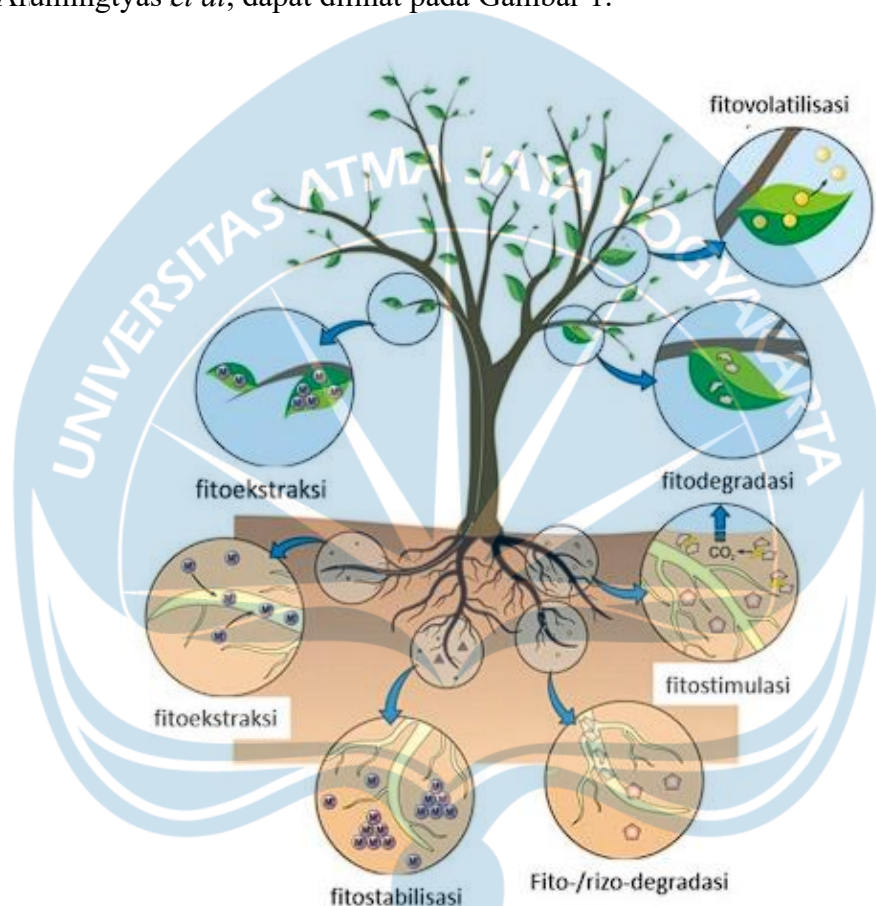
Fitoremediasi juga memiliki keuntungan salah satu nya proses yang secara alami. Proses ini termasuk uptake air dan bahan kimia, metabolisme di dalam tanaman, dan dampak fisika biokimia dari akar tanaman. Fitoremediasi memiliki keuntungan lainnya menurut Pratiwi (2022), sebagai berikut:

1. Harga murah
2. Volume limbah yang rendah
3. Menambah nilai estetika
4. Terbentuknya biodiversitas
5. *Green Technology*
6. Secara publik, mudah diterima
7. Pengendalian erosi
8. Mengurangi emisi debu
9. Dampak menjadi berkurang (*in situ*)

Mekanisme fitoremediasi tidak hanya berdasarkan jenis kontaminan dan media yang tercemari, tetapi juga pada tujuan remediasi itu sendiri. Tujuan dari fitoremediasi biasanya untuk meremediasi kandungan-kandungan pada air, tanah ataupun air limbah. Untuk mencapai nya tujuan fitoremediasi itu sendiri tentunya harus dipilih metode yang tepat, dirancang, dikembangkan, dioperasikan, dengan menggunakan pengetahuan rinci tentang tata letak, kondisi iklim, dan pemeliharaan (Titah *et al.*, 2022).

Proses fitoremediasi terdiri dari lebih dari 5 strategi berbeda secara bersamaan. Fitoremediasi meliputi rhizofiltrasi (penyerapan, konsentrasi, dan pengendapan logam berat oleh akar tanaman), fitoekstraksi (ekstraksi dan

akumulasi pencemar pada jaringan tanaman yang dapat dipanen seperti akar dan pucuk), fitostabilisasi (penyerapan dan pengendapan pencemar oleh tanaman) dan fitovolatilisasi (Arumingtyas *et al.*, 2024). Proses fitoremediasi menurut Arumingtyas *et al.*, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Fitoremediasi (Arumingtyas *et al.*, 2024).

#### F. Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tanaman *fitoremediator* yang dimana tanaman tersebut memiliki kemampuan untuk mengolah limbah yang mengandung logam berat, zat organik, ataupun anorganik. Tumbuhan fitoremediator biasanya memiliki keunggulan seperti menurunkan jumlah BOD, COD, dan warna yang terkandung pada limbah cair

serta menurunkan kadar pencemar air limbah yang memiliki kadar organik tinggi. Kayu apu sering dijumpai mengapung di perairan ataupun di kolam dan juga pelindung akuarium. Orang-orang biasanya memanggil tanaman kayu apu sebagai tanaman apu-apu atau kapu-kapu (Firdaus, 2021). Berikut adalah gambar tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) (Firdaus, 2021).

Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) memiliki 2 tipe daun yang berbeda. Daun kayu apu ada yang tumbuh di permukaan air berbentuk kuping agak melingkar, berklorofil sehingga berwarna hijau, dan permukaannya ditutupi rambut berwarna putih agak transparan. Rambut-rambut ini yang memiliki manfaat untuk mencegah daun menjadi basah dan juga membantu kayu apu mengapung. Daun berikutnya berada di dalam air berbentuk sangat mirip akar, tidak berklorofil, dan berfungsi menangkap hara dari air seperti akar. Kayu apu tidak menghasilkan bunga karena termasuk golongan paku-pakuan. Kayu apu bersifat heterospor yang dimana memiliki 2 tipe spora, makrospora yang akan

tumbuh menjadi protalus betina dan mikrospora yang akan tumbuh menjadi protalus jantan (Pratiwi, 2022).

Tanaman ini memiliki tinggi 5-10 cm dengan akar menggantung dalam air. Batang yang pendek, tebal, tegak lurus, dengan tunas menjalar. Daun berjejal rapat, berdiri serong. Tanam ini hidup air tawa yang menggenang atau mengalir lambat. Rambut pada pangkal daun mencegah daun menjadi basah (Maisyaroh, 2014). Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) memiliki klasifikasi menurut Maisyaroh, sebagai berikut:

|           |                               |
|-----------|-------------------------------|
| Kerajaan  | : Spermatophyta               |
| Divisi    | : Magnoliophyta               |
| Kelas     | : Liliopsida                  |
| Sub Kelas | : Arecidae                    |
| Bangsa    | : Arales                      |
| Suku      | : Araceae                     |
| Marga     | : Pistia                      |
| Jenis     | : <i>Pistia stratiotes</i> L. |

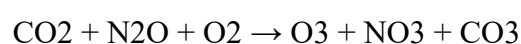
Tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) biasanya hidup pada aliran air yang tenang dan perairan lambat karna memiliki kapasitas absorpsi tinggi sehingga berpotensi menyerap polutan. Kayu apu mampu tumbuh pada suhu 22-23°C dan pH air 6,0-7,0. Tumbuhan biasanya dijumpai di daerah tropis dan sangat cocok hidup di tempat yang teduh. Tanaman ini mempunyai kemampuan menyerap logam walaupun lama, khususnya logam non essensial. Fungsi dari tanaman ini sebagai bioremediasi sebagai inovatif pengolahan limbah yang mampu menjadi alternatif dalam menangani pencemaran yang memiliki biaya operasi relatif murah dan ramah lingkungan (Herniwanti, 2021).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Oktaviani *et al.*, menyatakan bahwa tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) mampu menurunkan kadar presentase zat Zn pada limbah cair. Presentase penyerapan sudah mulai terjadi sejak hari pertama sebesar 33,66%. Presentase penyerapan terbesar terjadi pada hari ke-9 sebesar 83,85% (Oktaviani *et al.*, 2020).

### G. *Ecoenzyme*

*Ecoenzyme* merupakan sebuah konsentrat atau cairan kompleks yang berupa produk fermentasi yang biasanya didiamkan selama 3 bulan. Cairan ini berupa campuran limbah sisa makanan yang biasanya berupa sayuran ataupun buahan yang dicampur dengan gula merah atau molase dalam air. *Ecoenzyme* biasanya mengandung kulit buah nanas ataupun buah jeruk yang bisa berfungsi sebagai aroma segar untuk cairan *ecoenzyme*. *Ecoenzyme* salah satu cairan yang multifungsi, hal ini dikarenakan bisa digunakan keperluan rumah tangga, membunuh kuman ataupun serangga, serta dapat digunakan sebagai pupuk organik (Saputri & Anisya, 2024).

*Ecoenzyme* dikenalkan oleh Dr. Rasukan Poompanvong dari Thailand yang mengenalkan formula dengan manfaat meningkatkan usaha pertanian. Penemuan ini memiliki dampak yang besar untuk lingkungan dengan meningkatkan produk pertanian tanpa merusak lingkungan (Sari & Haris, 2023). Proses fermentasi pada *ecoenzyme* menurut Sari dan Harris (2023), sebagai berikut



Hasil akhir *ecoenzyme* berupa cairan berwarna coklat gelap dan hasil akhir ini menghasilkan residu berupa sisa sayur ataupun buah pada bagian bawah. Menurut Sari dan Harris, cairan *ecoenzyme* dapat dimanfaatkan sebagai berikut:

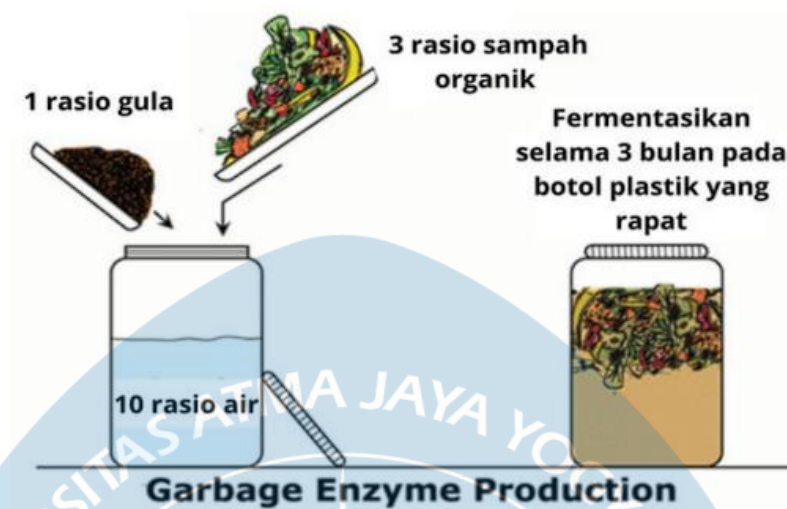
- a. Pembersih lantai, efektif untuk membersihkan lantai
- b. Disinfektan, sebagai antibakteri pada bak mandi
- c. Insektisida, untuk membasmi serangga dengan cara mencampurkan nya pada air lalu disemprot
- d. Cairan penjernih air, missal pada selokan kecil tempat saluran pembuangan air kotor.

Salah satu kandungan pada *ecoenzyme* adalah Asam Asetat ( $\text{H}_3\text{COOH}$ ) yang dapat memubunuh kuman, virus, dan bakteri. Kandungan lainnya seperti enzim yang terdiri dari Lipase, Tripsin, dan Amilase, yang dapat membunuh atau mencegah bakteri patogen. *Ecoenzyme* juga menghasilkan  $\text{NO}_3$  (Nitrat) dan  $\text{CO}_3$  (karbon trioksida) yang merupakan nutrien yang dibutuhkan oleh tanah (Sari & Haris, 2023).

Keunggulan dari *ecoenzyme* sendiri tidak memerlukan lahan yang luas untuk fermentasi seperti pada pembuatan kompos. Wadah yang digunakan tidak terlalu sulit, bisa berupa botol-botol ataupun galon-galon bekas yang bisa dimanfaatkan, sehingga mampu mendukung konsep *reuse* dalam menyelamatkan lingkungan. *Ecoenzyme* dapat digunakan sebagai faktor penumbuh tanaman, campuran deterjen pembersih lantai, dan pembersih kerak (Sari & Haris, 2023).

Enzim pada *ecoenzyme* dihasilkan oleh campuran gula, air, limbah dapur berupa sayuran ataupun buahan. Proses fermentasi yang dilakukan selama 3 bulan menghasilkan karbohidrat yang berubah menjadi asam volatile dan asam organik yang larut ke dalam fermentasi karena pH enzim berubah menjadi asam. Selama proses fermentasi, glukosa menghasilkan asam piruvat dengan kondisi anaerob yang akan mengalami penguraian oleh piruvat dekarboksilase menjadi asetaldehid, lalu asetaldehid diubah oleh alkohol dehidrogenase menjadi etanol dan karbondioksida, di mana bakteri *Aectobacter* akan mengubah alkohol menjadi asetaldehid dan air yang selanjutnya asetaldehid diubah menjadi asam asetat. Hal ini dikarenakan kandungan gula yang merupakan substrat menghasilkan alkohol (Sari & Haris, 2023).

*Ecoenzyme* dibuat dengan sisa sayur ataupun buah dengan campuran gula dan air dengan perbandingan 3 : 1 : 10 dan gula yang digunakan biasanya gula merah dan limbah yang digunakan disarankan lebih banyak kulit buah berupa nanas ataupun jeruk. Proses fermentasi dilakukan 3 bulan yang dimana pada bulan pertama, alkohol akan dilepaskan sehingga tercium bau alkohol pada larutan *ecoenzyme*. Bulan kedua akan tercium bau asam yang merupakan bau asam asetat karena dengan banyak senyawa mineral dan vitamin itu akan terus merusak secara alami dan membentuk enzim. Sehingga selesai difermentasi hasil pada *ecoenzyme* memiliki aktivitas mikroba yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai penghambat pertumbuhan mikroba (Widyastuti *et al.*, 2022). Perbandingan kandungan pada *ecoenzyme* menurut Prasasti *et al.*, (2023), dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3. Perbandingan Kandungan pada *Ecoenzyme* (Prasasti *et al.*, 2023).

Adapun langkah-langkah pembuatan *ecoenzyme* menurut Prasasti *et al.*, sebagai berikut:

1. Sisa kulit atau biji pada buah atau sayur dicampurkan dengan gula dan air pada botol
2. Botol ditutup dengan rapat dan disimpan pada suhu ruang yang kering dan sejuk.
3. Botol disimpan dan dibiarkan selama 3 bulan.
4. Warna ideal pada *ecoenzyme* adalah berupa coklat tua, jika berubah menjadi hitam maka tambahkan gula yang sama pada saat awal fermentasi.
5. Jika menemukan lalat ataupun cacing dalam wadah, dibiarkan saja karena reaksi kimia enzim akan melarutkannya secara alami.
6. Setelah 3 bulan, *ecoenzyme* disaring
7. *Ecoenzyme* dapat digunakan untuk pupuk organik, pembersih hama, dan mengharumkan ruangan.

Adapun dampak *ecoenzyme* dibandingkan bahan kimia lain menurut Prasasti *et al.* (2023):

Tabel 1. Perbedaan Dampak Penggunaan *Eco-enzyme* dan Bahan Kimia Lain.

| No | Efek                                | <i>Eco-enzyme</i>                       | Bahan Kimia                                                             |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Produksi                            | Menggunakan bahan organik               | Menggunakan bahan kimia                                                 |
| 2  | Sifat bahan                         | Asam ke basa                            | Bersifat asam                                                           |
| 3  | Dampak ke lingkungan                | Ramah terhadap lingkungan               | Kurang bahkan tidak ramah terhadap lingkungan                           |
| 4  | Biaya                               | Murah                                   | Relatif mahal                                                           |
| 5  | Degradasi                           | Mudah terurai                           | Sulit terurai                                                           |
| 6  | Dampak terhadap sifat biologi tanah | Selalu mengaktifkan sifat biologi tanah | Cenderung mematikan sifat biologi tanah                                 |
| 7  | <i>Fumes</i>                        | Tidak terbentuk <i>fumes</i>            | Terbentuk <i>fumes</i> yang berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan |
| 8  | Efek keracunan                      | Tidak ada                               | Dapat membahayakan manusia dan lingkungan                               |

*Ecoenzyme* merupakan cairan fermentasi alami yang terbuat dari bahan organik yang memiliki banyak manfaat dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan *ecoenzyme* tentunya membuat kita akan sadarnya kesehatan lingkungan yang bisa diterapkan dan menghasilkan hasil yang baik dalam jangka panjang (Fau *et al.*, 2025). Menurut Fau *et al.*, *ecoenzyme* mampu memiliki manfaat pada kehidupan sehari-hari sebagai berikut:

a. Sebagai Pembersih Rumah Tangga Alami

- a. Manfaat: dapat digunakan untuk membersihkan lantai, meja, kaca dan permukaan lainnya karena memiliki kandungan asam organik yang mampu bekerja efektif dalam menghilangkan noda dan kotoran yang bisa memberi aroma yang segar.

- b. Cara Pengaplikasian: mulai mengganti pembersih lantai atau cairan pembersih lainnya dengan *ecoenzyme* dan membersihkan dengan cara yang sama.
- b. Mengatasi Masalah Hama dan Penyakit Tanaman
  - a. Manfaat: dapat mengusir hama, mengurangi jamur, hingga membantu memperbaiki kesuburan tanah.
  - b. Cara Pengaplikasian: menyemprot tanaman ataupun taman pada rumah yang dimulai dengan jumlah kecil untuk melihat efektivitasnya dan perlahan waktu mulai terlihat peningkatannya.
- c. Sebagai Pupuk Cair untuk Pertanian
  - a. Manfaat: mengandung nutrisi yang dapat membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan mikroorganisme tanah yang sehat, serta mempercepat proses penguraian bahan organik sehingga tanah tumbuh lebih sehat tanpa harus mengeluarkan biaya mahal dan berbahaya untuk pupuk kimia.
  - b. Cara Pengaplikasian: mengganti pupuk cair dengan *ecoenzyme* lalu bisa memperluas penggunaannya dengan menggunakannya pada pertanian atau perkebunan yang lebih besar.

#### **H. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)**

Spektrofotometer serapan atom (SSA) atau yang sering disebut dengan *Atomic absorption spectroscopy* (AAS) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk metode analisis untuk penentuan unsur logam dan metaloid berdasarkan pada penyerapan absorpsi radiasi oleh atom bebas. Alat ini

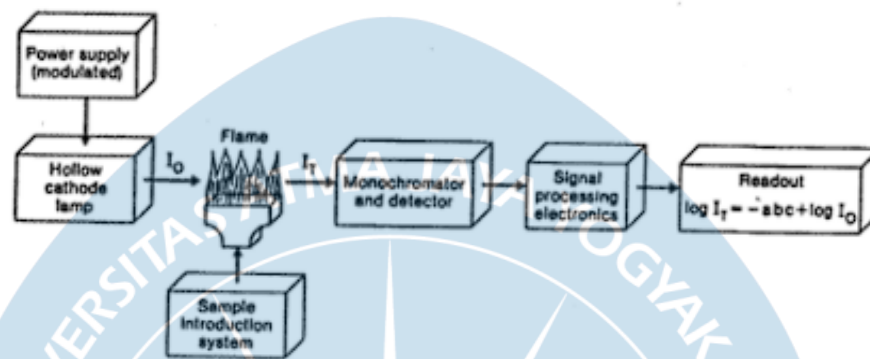
merupakan teknik analisis kuantitatif dari unsur-unsur yang pemakaiannya sangat luas di berbagai bidang. Hal ini dikarenakan alatnya yang memiliki prosedur selektif, spesifik, biaya analisisnya relatif murah, sensitivitasnya yang tinggi, dapat dengan mudah membuat matriks yang sesuai standar, waktu analisis yang cepat serta mudah dilakukan (Dewi *et al.*, 2021).

Spektrofotometer serapan atom berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu yang tergantung pada sifat unsurnya. Metode serapan atom ini hanya tergantung pada perbandingan dan tidak bergantung pada temperatur (Nasir, 2020).

Atom bebas pada alat ini berinteraksi dengan berbagai bentuk energi seperti energi panas, elektromagnetik, kimia, dan energi listrik. Interaksi ini menimbulkan proses-proses dalam atom bebas yang menghasilkan absorpsi dan emisi radiasi dan panas. Radiasi yang dipancarkan bersifat khas karena memiliki panjang gelombang yang karakteristik untuk setiap atom bebas. Adanya absorpsi atau emisi radiasi disebabkan adanya transisi elektronik yaitu perpindahan elektron dalam atom dari tingkat energi yang satu ke tingkat energi yang lain (Nasir, 2020).

Absorpsi ini mengikuti hukum Lambert-Beer yang dimana absorbansi berbanding lurus dengan panjang nyala yang dilalui sinar dan konsentrasi uap atom dalam nyala. Kedua variable tersebut sulit untuk ditentukan, tetapi panjang nyala dapat dibuat konstan sehingga absorbansi hanya berbanding langsung dengan konsentrasi analit dalam larutan sampel. Teknik-teknik analisisnya sama seperti pada spektrofotometri UV-Vis, yakni standar tunggal, kurva kalibrasi,

dan kurva adisi standar (Mudasir dan Wahyuni, 2024). Instrumentasi SSA dan foto alat SSA menurut Mudasir dan Wahyuni, dapat dilihat pada Gambar 4., dan Gambar 5., sebagai berikut:



Gambar 4. Instrumentasi Alat SSA (Mudasir dan Wahyuni, 2024).



Gambar 5. Foto Alat SSA (Mudasir dan Wahyuni, 2024).

## I. SPSS

SPSS merupakan kepanjangan dari *Statistical Package for Social Science*. SPSS sendiri merupakan program komputer yang banyak digunakan untuk menganalisis sebuah statistik dengan data secara sederhana ataupun tingkat lanjut dan analisis multivariant. SPSS merupakan salah satu contoh *software* analisis data dengan statistic cukup tinggi yang terdapat dua langkah utama di dalam nya untuk memasukkan data yang dapat diisi seperti *variable view* dan *data view* (Solikhah & Amyati, 2022).

Uji yang dilakukan pada aplikasi SPSS dengan uji anova satu arah (*One Way Anova*) yang dimana uji tersebut merupakan jenis uji statistika parametrik yang bertujuan untuk mengetahui terdapat perbedaan rata-rata antara lebih dari dua sampel. Terdapat perbedaan hasil dua uji dari hasil uji *one way anova*. Hasil uji jika menunjukkan  $\text{Sig.} > 0,05$  maka hasil uji menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan atau  $H_0$  diterima, apabila hasil uji menunjukkan  $\text{Sig.} < 0,05$  maka terdapat perbedaan signifikan atau  $H_1$  diterima (Rachman *et al.*, 2023).

#### **J. Hipotesis Penelitian**

1. Tanaman kayu apu dan *ecoenzyme* serta gabungan keduanya mampu meningkatkan serapan untuk menurunkan kadar logam Zn pada limbah cair batik.
2. Tanaman kayu apu dan *ecoenzyme* serta gabungan keduanya mampu meningkatkan serapan untuk menurunkan serta menaikkan kadar pH, suhu, TDS, BOD, dan DO pada limbah cair batik.
3. Tanaman kayu apu mengalami klorosis dan nekrosis hingga akar yang rontok akibat kadar logam berat yang terlalu tinggi dan sifat *ecoenzyme* yang terlalu asam.