

**FITOREMEDIASI KANDUNGAN BAHAN PENCEMAR BESI (Fe)
PADA AIR BAKU SUNGAI KALIGARANG MENGGUNAKAN
TUMBUHAN *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle**

SKRIPSI



Oleh:

YUNITA DWI LESTARI

2008016008

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO**

SEMARANG

2023

**FITOREMEDIASI KANDUNGAN BAHAN PENCEMAR BESI (Fe)
PADA AIR BAKU SUNGAI KALIGARANG MENGGUNAKAN
TUMBUHAN *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Dalam Ilmu Biologi



Oleh:

YUNITA DWI LESTARI

2008016008

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yunita Dwi Lestari

NIM : 2008016008

Jurusan : Biologi

Menyatakan bahwa Skripsi yang berjudul :

**FITOREMEDIASI KANDUNGAN BAHAN PENCEMAR BESI
(Fe) PADA AIR BAKU SUNGAI KALIGARANG
MENGUNAKAN TUMBUHAN *Hydrilla verticillata* (L.f.)
Royle**

Secara keseluruhan merupakan hasil penelitian/karya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 21 Desember 2023

Pembuat pernyataan



Yunita Dwi Lestari

NIM: 2008016008



LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Fitoremediasi Kandungan Bahan Pencemar Besi (Fe)
pada Air Baku Sungai Kaligarang Menggunakan
Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

Penulis : Yunita Dwi Lestari

NIM : 2008016008

Jurusan : S1 Biologi

Telah diujikan dalam sidang *tugas akhir* oleh Dewan Penguji
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima
sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam
Program Studi Biologi.

Semarang, 21 Desember 2023

DEWAN PENGUJI

Pengujian I,

Eko Purnomo, M.Si.
NIP : 198604232019031006

Pengujian II,

Chusnul Adib Ahmad, M.Si.
NIP : 198712312019031018

Pengujian III,

Niken Kusumarini, M.Si.
NIP : 198902232019032019031006

Pengujian IV,

Abdul Malik, M.Si.
NIP : 198911032018011001

Pembimbing I,

Eko Purnomo, M.Si.
NIP : 198604232019031006

Pembimbing II,

Chusnul Adib Ahmad, M.Si.
NIP : 198712312019031018

NOTA DINAS

Semarang, 21 Desember 2023

Yth. Ketua Program Studi Biologi

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo Semarang

Assalamualaikum wr.wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul : Fitoremediasi Kandungan Bahan Pencemar Besi (Fe) Pada Air Baku Sungai Kaligarang Menggunakan Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

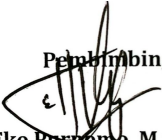
Nama : Yunita Dwi Lestari

NIM : 2008016008

Program Studi : Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk dijadikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamualaikum wr.wb.


Pembimbing I
Eko Purzanto, M.Si.
NIP. 198604232019031006

NOTA DINAS

Semarang, 21 Desember 2023

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamualaikum wr.wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul : Fitoremediasi Kandungan Bahan Pencemar Besi (Fe) Pada Air Baku Sungai Kaligarang Menggunakan Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

Nama : Yunita Dwi Lestari

NIM : 2008016008

Program Studi : Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk dijadikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamualaikum wr.wb.

Pembimbing II



Chusnul Adib Achmad, M.Si.

NIP. 198712312019031018

ABSTRAK

Sumber utama bahan pencemar air salah satunya imbas limbah domestik/rumah tangga yang menumpuk akibat tingkat penduduk yang tinggi. Penumpukkan limbah domestik menghasilkan air lindi yang mengandung logam berat termasuk besi (Fe) yang kemudian terserap ke tanah dan mengalir ke aliran sungai. Fitoremediasi merupakan salah satu metode yang dapat menghilangkan, menyerap, menghancurkan, dan mendegradasi kandungan bahan pencemar termasuk logam berat dalam air. *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle menjadi salah satu jenis tumbuhan yang dikenal sebagai agen fitoremediator yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan morfologi serta pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dalam meremediasi air Sungai Kaligarang dengan waktu pemaparan 5 dan 10 hari. Pengujian kandungan besi (Fe) dilakukan menggunakan analisis spektrofotometri serapan atom (SSA). Hasil yang didapatkan kandungan besi (Fe) yang semula 1,2222 mg/L mengalami penurunan sebesar 0,9539 mg/L pada perlakuan S1 dengan nilai rata-rata 0,1683 mg/L dan pada perlakuan S2 mengalami penurunan 0,3557 mg/L dengan nilai rata-rata 0,7665 mg/L.

Kata Kunci: Besi (Fe), Fitoremediasi, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

ABSTRACT

The main sources of pollutants is the impact of domestic/ household waste which pile up due to high population levels. The accumulation of domestic waste produces waste water containing heavy metals including iron (Fe) which is then absorbed into the ground and flows into rivers. Phytoremediation is a method that can remove, absorb, destroy and degrade pollutants including heavy metals in water. *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle become a one plant which is known as a good phytoremediators agent. This research aims to determine morphological changes and the effect of phytoremediation *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle to remediate water of river kaligarang wiht exposure time of 5 and 10 days. Testing of iron level (Fe) is using analysis with Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). the results obtained were that the iron (Fe) content was originally 1,2222 mg/L decreased as much as 0,9539 mg/L in treatment S1 with an average value 0,1683 mg/L and in treatment S2 decrease 0,3557 mg/L with an average value 0,7665 mg/L.

Keywords: Iron (Fe), Phytoremediation, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I. Nomor : 158/1987 dan Nomor : 0543b/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sandang [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

| | | | |
|---|----|---|----|
| ا | A | ط | t} |
| ب | B | ظ | z} |
| ت | T | ع | ' |
| ث | s\ | غ | g |
| ج | J | ف | f |
| ح | h} | ق | q |
| خ | kh | ك | k |
| د | D | ل | l |
| ذ | z\ | م | m |
| ر | R | ن | n |
| ز | Z | و | w |
| س | S | ه | h |
| ش | sy | ء | ' |
| ص | s} | ي | y |
| ض | d} | | |

Bacaan Madd :

a > = a panjang

i > = i panjang

u > = u panjang

Bacaan Diftong :

au = اُو

ai = اِي

iv = اِي

Lambang Dalam Transliterasi

Lambang/symbol titik dan garis diatas atau dibawah huruf untuk menunjukkan tanda bacaan *mad* (panjang) dalam bahasa Arab itu dibentuk dari jenis *font* (huruf) Times New Arabic. Karena itu, komputer yang mau digunakan menulis teks tersebut harus sudah di instal jenis huruf tersebut. Lambang-lambang tersebut dalam tombol *keypad* komputer adalah sbb :

PERBEDAAN SIMBOL ANTARA HURUF TIMES NEW ROMAN DENGAN TIMES NEW ARABIC

| Simbol dalam <i>Times New Arabic</i> | Simbol dalam <i>Times New Roman</i> | Conto h | Penulisan dengan <i>Times New Roman</i> |
|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------|---|
| Garis diatas huruf kecil | Lebih besar (>) | a> | a> |
| Garis diatas huruf besar | Lebih kecil (<) | A< | A< |
| Titik diatas huruf kecil | Garis miring kiri (\) | a\ (\) | a\ (\) |
| Titik diatas huruf Besar | Garis tegak () | A | A |
| Titik dibawah huruf kecil | Kurung kurawal tutup (}) | a} | a} |
| Titik dibawah huruf Besar | Kurung kurawal buka ({) | A{ | A{ |

Pastikan komputer sudah terinstal font jenis *Times New Arabic*. Kalau pilihan font yang digunakan mengetik/menulis itu jenis *Times New Arabic*, simbol-simbol tersebut otomatis muncul titik/garis dilayar ketika menekan/mencet tuts pada *keypad* komputer yang bersimbol <, >, {, }, |, dan \.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Yang Maha Penolong Dan Maha Pembuka Ilmu Pengetahuan, syukur senantiasa penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat berhasil menyelesaikan penulisan proposal skripsi yang dilaksanakan mulai bulan Oktober 2023 hingga Desember 2023 yang berjudul “Fitoremediasi Kandungan Bahan Pencemar Besi (Fe) Pada Air Baku Sungai Kaligarang Menggunakan Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle” untuk memenuhi sebagian syarat guna memperoleh gelar sarjana sains dalam ilmu biologi.

Skripsi ini penulis persembahkan untuk kedua orang tua penulis yakni, Bapak Riyadi dan Ibu Suripah kedua orang tua yang saat ini telah berhasil memperjuangkan pendidikan anaknya untuk mendapatkan gelar pendidikan strata 1. Mereka yang telah memberikan penulis semuanya, baik dukungan materi, restu, motivasi, semangat dan juga doa kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan Strata 1 di program studi Biologi UIN Walisongo Semarang.

Selama penyelesaian skripsi ini penulis menyadari skripsi ini tidak dapat berjalan dengan baik tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, oleh karenanya pada

kesempatan ini, penulis hendak mengucapkan terimakasih banyak kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Imam Taufiq, M.A. selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Bapak Dr. H. Ismail ,M.Ag. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang.
3. Ibu Dr. Baiq Farhatul Wahidah, M. Si. Selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains Dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang.
4. Bapak Eko Purnomo M.Si, serta Bapak Chusnul Adib Achmad, M.Si sebagai dosen pembimbing yang telah membantu membimbing serta memberi arahan penulis dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Abdul Malik, M.Si., Ibu Arnia Sari Mukharomah, M.Sc. serta Ibu Niken Kusumarini, M.Si. Sebagai dosen penguji yang telah membantu memberi masukan serta saran dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Imam, Bapak Eko, Bapak Deka, dan Bapak Saryono selaku Staf Perumda Air Minum Tirta Moedal Semarang yang telah membantu memberikan ijin dan juga membantu penulis dalam pengambilan sampel air Sungai Kaligarang
7. Alfian Wibisono S.Tr.Pel sebagai rekan yang sukarela memberikan dukungan dan bantuan selama proses

- berjalannya penelitian dari observasi tempat, pengambilan sampel hingga tahap penyelesaian skripsi
8. Mitha Kamilia A.Md.A.K sebagai rekan yang membantu penulis dalam proses pengambilan sampel air di Sungai Kaligarang, penimbangan dan juga pengukuran agen yang digunakan dalam berjalannya penelitian.
 9. Teman teman yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu, yang selalu memberikan dukungan terhadap penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik Allah SWT dan tentunya masih banyak kekurangan dalam diri penulis sendiri khususnya pada susunan skripsi yang telah dituliskan, oleh karenanya penulis mengharapkan saran serta kritik yang membangun dan bermanfaat sebagai upaya perbaikan karya tulis untuk kedepannya. Penulis hanya dapat berdoa semoga kebaikan dan keikhlasan dari pihak yang bersangkutan senantiasa mendapatkan ridho dan balasan dari Allah SWT. Semoga laporan ini juga dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca. *Aamiin*.

Semarang, 21 Desember 2023

Penulis



Yunita Dwi Lestari
NIM. 2008016008

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| HALAMAN JUDUL | I |
| PERNYATAAN KEASLIAN | II |
| LEMBAR PENGESAHAN | III |
| NOTA DINAS | IV |
| ABSTRAK | VI |
| ABSTRACT | VI |
| KATA PENGANTAR | X |
| DAFTAR TABEL..Kesalahan! Bookmark tidak didefinisikan. | |
| DAFTAR GAMBAR | XV |
| DAFTAR LAMPIRAN | XVI |
| BAB I PENDAHULUAN | 16 |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Rumusan Masalah..... | 8 |
| C. Tujuan Penelitian..... | 8 |
| D. Manfaat Penelitian..... | 9 |
| 1) Secara teoritis..... | 9 |
| 2) Secara praktis..... | 9 |
| BAB II. LANDASAN PUSTAKA | 11 |
| A. Kajian Teori..... | 11 |
| 1. Fitoremediasi..... | 11 |
| 2. Logam berat besi (Fe)..... | 13 |
| 3. Pencemaran Air Sungai Kaligarang..... | 14 |
| 4. Tumbuhan Hydrilla verticillata (L.f.) Royle..... | 19 |
| B. Kajian Penelitian yang Relevan..... | 22 |

| | |
|---|-----------|
| C. Alur Kerangka Berfikir | 29 |
| BAB III. METODE PENELITIAN | 30 |
| A. Jenis Penelitian | 30 |
| B. Waktu dan Tempat Penelitian | 30 |
| C. Alat dan Bahan | 32 |
| 1. Alat | 33 |
| 2. Bahan | 33 |
| D. Rancangan Penelitian | 33 |
| E. Variabel Penelitian | 35 |
| F. Metode | 35 |
| 1. Pengambilan Air Baku Sungai Kaligarang dan Sampel Tumbuhan | 35 |
| 2. Aklimatisasi | 36 |
| 3. Proses Fitoremediasi dan Pemaparan Sampel | 37 |
| 4. Destruksi | 37 |
| 5. Pengukuran Nilai Zat padat terlarut (TDS) , pH, dan Suhu Air Baku Sungai Kaligarang | 39 |
| 6. Pengamatan Morfologi <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle | 39 |
| 7. Pengujian spektrofotometri serapan atom (SSA) | 39 |
| 8. Analisis Data dan Pengolahan Data | 42 |
| 9. Hipotesis penelitian | 43 |

| | |
|--|-----------|
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 44 |
| A. Deskripsi hasil penelitian..... | 44 |
| 1) Uji Pendahuluan Analisis kandungan Besi (Fe), Zat Padat Terlarut, pH, dan Suhu Air Sungai Kaligarang Sebelum Fitoremediasi..... | 44 |
| 2) Hasil Analisis kandungan Besi (Fe), Zat Padat Terlarut, pH, dan Suhu Air Setelah Fitoremediasi Pada Air Sungai Kaligarang..... | 46 |
| 3) Pemaparan Tumbuhan Hydrilla verticillata (L.f.) Royle Dengan Sampel Air Sungai Kaligarang..... | 47 |
| 4) Pengamatan Fisik Tumbuhan Hydrilla verticillata (L.f.) Royle..... | 48 |
| B. Pembahasan Hasil Penelitian..... | 70 |
| C. Keterbatasan penelitian..... | 65 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN | 66 |
| A. SIMPULAN..... | 66 |
| B. SARAN..... | 67 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 68 |
| LAMPIRAN..... | 78 |
| RIWAYAT HIDUP | 92 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Judul | Halaman |
|------------------|---|----------------|
| Tabel 3.1 | Rancangan Penelitian | 34 |
| Tabel 4.1 | Pemeriksaan Parameter Uji Air Sungai Musim Kemarau | 45 |
| Tabel 4.2 | Pemeriksaan Parameter Uji Air Sungai Musim Penghujan | 45 |
| Tabel 4.3 | Analisis Zat Padat Terlarut, Ph, dan Suhu Air Setelah Fitoremediasi | 47 |
| Tabel 4.4 | Pengamatan Warna Daun Dan Batang Tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle | 50 |
| Tabel 4.5 | Pengukuran Berat Basah Tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle | 52 |
| Tabel 4.6 | Pengamatan Data Pembanding Warna Daun,Batang, dan Berat Basah Tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle Pada S ₀ Perlakuan 5 dan 10 Hari | 53 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Judul | Halaman |
|-------------------|--|----------------|
| Gambar 2.1 | TPA Jatibarang | 17 |
| Gambar 2.2 | <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle | 20 |
| Gambar 3.1 | Peta Lokasi Pengambilan Air Sungai Kaligarang | 31 |
| Gambar 3.2 | Titik Lokasi Pengambilan Sampel Air Sungai Kaligarang | 31 |
| Gambar 3.3 | Peta Daerah Aliran Sungai Utama Kota Semarang | 32 |
| Gambar 3.4 | Komponen-Komponen Spektrofotometri Serapan Atom | 40 |
| Gambar 4.1 | Grafik Pengaruh Fitoremediasi Terhadap Kadar Besi (Fe) Pada Air Baku Sungai Kaligarang | 46 |
| Gambar 4.2 | Proses Pemaparan <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle | 48 |
| Gambar 4.3 | Proses Aklimatisasi | 49 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----------|
| Lampiran 1. Rancangan Peneitian..... | 79 |
| Lampiran 2. Diagram Alir..... | 80 |
| 1. Pengambilan sampel air Sungai Kaligarang..... | 80 |
| 2. Uji pendahuluan..... | 80 |
| 3. Aklimatisasi tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> | 80 |
| 4. Pemaparan tumbuhan fitoremediasi pada air Sungai Kaligarang..... | 81 |
| 5. Pengujian sampel air setelah fitoremediasi..... | 81 |
| Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan..... | 82 |
| 1. Pengukuran berat basah tumbuhan..... | 82 |
| 2. Pengukuran nilai pH dan suhu..... | 83 |
| 3. Pengukuran Zat Padat Terlarut Air..... | 84 |
| Lampiran 4. Hasil pengujian Fe menggunakan instrumen SSA..... | 85 |
| 1. Fe musim kemarau..... | 85 |
| 2. Fe musim penghujan..... | 86 |
| 3. Fe setelah fitoremediasi pemaparan 5 hari (S1)..... | 87 |
| 4. Fe setelah fitoremediasi pemaparan 10 hari (S2)..... | 88 |
| 5. Tabel Analisis kandungan Besi (Fe) Setelah Fitoremediasi. | 89 |
| Lampiran 5. Hasil Uji Statistik..... | 90 |
| 1. Logam Besi (Fe)..... | 90 |
| 2. Berat basah tumbuhan..... | 91 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran air secara umum merupakan masuknya bahan-bahan polutan ke dalam air meliputi, zat kimia, fisika, biologi, maupun unsur lainnya yang dapat merubah bentuk asli air menjadi berubah warna hingga mengeluarkan aroma yang tidak sedap (Handani *et al.*, 2017). Pencemaran air menjadi salah satu masalah utama lingkungan yang terjadi di seluruh kota di Indonesia. Hal ini dibuktikan dengan sepanjang tahun 2010 terjadi 79 kasus pencemaran lingkungan yang mencemari 65 sungai di Indonesia (Saputra *et al.*, 2020). Sumber dari tercemarnya air sungai ini terdiri dari beberapa penyebab antara lain limbah domestik, limbah industri, kegiatan pertanian, perikanan, pariwisata dan kegiatan lainnya (Yudo, 2006). Saputra *et al.*, (2020) menyebutkan sumber utama bahan pencemar air paling besar adalah limbah domestik / rumah tangga.

Limbah domestik yang menumpuk akan menyebabkan terjadinya serapan air limbah dari tanah menuju ke aliran air, cairan limbah tersebut dapat terakumulasi dan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan perairan khususnya sungai. Salah satu pencemaran sungai yang diakibatkan oleh limbah domestik

telah terjadi di Kota Semarang. Hal ini karena jumlah penduduk Kota Semarang mempunyai tingkat jumlah penduduk yang cukup banyak. Data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022, Kota Semarang dengan luas wilayah 373,78 m² mempunyai jumlah penduduk 1.659.975 jiwa yang dimana jumlah tersebut mengalami peningkatan sebanyak 3.411 jiwa dari tahun 2021 yang bernilai 1.656.564 jiwa.

Tingginya tingkat penduduk di Kota Semarang tentu akan menyebabkan terjadinya lonjakan jumlah sampah di Kota Semarang. Salah satu pusat tempat pembuangan akhir di Kota Semarang yang terbesar terletak di TPA Jatibarang yang lokasinya dekat dengan pemukiman warga dan juga aliran sungai. Harjanti & Anggraini, (2020) menyatakan setiap hari sedikitnya 800-850 ton sampah warga Semarang di pasok ke TPA Jatibarang. Limbah yang berasal dari TPA Jatibarang ini terdiri dari sebagian besar limbah domestik/rumah tangga yang menumpuk sehingga menghasilkan air limbah yang akan terakumulasi ke dalam air sungai dengan jarak kurang lebih 300 meter dari lokasi TPA Jatibarang (Supriyadi, et al. 2013).

Salah satu sungai yang letaknya berdekatan dengan lokasi TPA Jatibarang adalah Sungai Kaligarang Semarang. Daerah aliran Sungai Kaligarang mencakup wilayah kabupaten semarang (Hulu), Kabupaten Kendal (Tengah), dan Kota Semarang (Hilir) dan mempunyai luas dengan kurang lebih 185,4 km² (Rahmawati & Siwiendrayanti, 2023). Karena

lokasinya yang tidak terlalu jauh dari pusat TPA Jatibarang tentu Sungai Kaligarang mempunyai potensi mengalami pencemaran air. Data limbah dari TPA Jatibarang tanggal 11 November 2022 melebihi batas maksimum, sehingga akumulasi peyerapan polutan akibat serapan limbah dari TPA Jatibarang dapat berpotensi mengancam pencemaran Sungai Kaligarang (Setiawan, 2022). Hal ini dibuktikan kembali dalam penelitian Etnovanese *et al.* (2021) mengenai kualitas air Sungai Kaligarang, pada pengambilan sampel air di titik bagian hilir dari Sungai Kaligarang di bagian muara menunjukkan kualitas air yang buruk.

Pemanfaatan sungai umumnya untuk sumber air yang digunakan oleh seluruh makhluk hidup dan sebagai tempat hidup biota air. Namun kualitas air di Sungai Kaligarang telah terkontaminasi akibat dari limbah TPA Jatibarang. Apabila akumulasi penyerapan polutan dari limbah TPA Jatibarang semakin meningkat tentu dapat menurunkan kualitas air baku dan minum PDAM Tirta Moedal Kota Semarang. Berdasarkan hasil survei mingguan pemeriksaan kualitas air baku Sungai Kaligarang di water intake PDAM Tirta Moedal Semarang, pada bulan Januari 2023 menunjukkan bahwa kandungan logam berat besi (Fe) setiap minggunya melebihi batas kandungan maksimum 0,3 mg/lit menurut PP. No. 22 Tahun 2021 Kelas 1 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dan

menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

Pencemaran Sungai Kaligarang terjadi akibat dari akumulasi limbah TPA Jatibarang yang membawa zat non organik berupa logam berat yang terserap ke dalam tanah dan mengalir melalui aliran Sungai Kaligarang. Hal ini diperkuat dengan penelitian dari Supriyadi *et al.* (2013) mengenai pola sebaran limbah TPA Jatibarang, bahwa aliran cairan limbah TPA Jatibarang yang terserap menuju sungai kreo kemudian terbawa kearah utara menyatu bersama aliran Sungai Kaligarang. Logam berat merupakan zat pencemar yang dalam penyebarannya harus dapat diuraikan, karena mempunyai pengaruh besar dalam menurunkan serta dapat merusak kelestarian wilayah perairan sungai (Azizah & Maslahat, 2021).

Logam berat yang sering ditemukan dalam perairan terbuka seperti sungai biasanya meliputi timbal (Pb), Kadmium (Cd), Besi (Fe), Mangan (Mn), dan Nikel (Ni) (Farobi, 2019). Logam berat apabila sering terakumulasi dalam perairan secara berlebihan akan menciptakan dampak negatif serta bersifat racun dalam lingkungan biologi maupun ekologi perairan (Pratiwi, 2020). Suryani., et al. (2018) menyatakan logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh suatu organisme dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang

panjang sehingga akan menjadi zat racun bagi organisme tersebut, dan dapat mengancam kelestarian lingkungan perairan yang baik. Lingkungan perairan yang baik biasanya dicirikan dengan kondisi air yang tidak berwarna, tidak berbau, bersih dan tidak tercemar.

Upaya pemecahan masalah terhadap pencemaran air akibat limbah yang mengandung logam berat salah satunya adalah dengan cara fitoremediasi. Aulia, (2020) mendefinisikan fitoremediasi sebagai penggunaan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, menghilangkan, menstabilkan, dan menghancurkan bahan pencemar baik senyawa organik maupun logam berat. Metode fitoremediasi sudah banyak dilakukan para peneliti untuk menurunkan konsentrasi senyawa logam berat. Fitoremediasi dianggap sebagai pendekatan yang mudah, praktis dan efektif dalam mereduksi pencemaran dengan memanfaatkan tumbuhan di sekitar (Martin. N.A, 2019). Jenis tumbuhan yang dapat dimanfaatkan dalam metode fitoremediasi salah satunya adalah tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Farobi (2019) menyatakan tumbuhan ini mempunyai kemampuan hiperakumulator yang dapat mengakumulasi logam.

Kajian penelitian ini indikator yang akan digunakan dalam pengujian adalah logam berat besi (Fe) yang terdapat di dalam aliran Sungai Kaligarang. Jika konsentrasi besi (Fe) tinggi dapat menumpuk di dalam tubuh dan akan meracuni

tubuh makhluk hidup (Lazulva, 2012). Ekosistem lingkungan perairan logam berat termasuk besi (Fe) masuk ke dalam tubuh biota laut melalui jalan dari saluran pernafasan (Insang) atau saluran pencernaan (Murraya *et al.*, 2018). Logam besi (Fe) mempunyai sifat racun yang dapat berdampak juga terhadap kesehatan manusia, dapat menyebabkan keracunan dengan gejala muntah-muntah, kerusakan usus pencernaan, penuaan dini, kematian mendadak, radang pada sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, diabetes, sembelit, diare, mudah lelah, hipertensi, hepatitis dan insomnia (Parulian, 2009).

Berdasarkan penelitian oleh Aulia, (2020) mengenai fitoremediasi logam Pb dan Fe pada limbah laboratorium UIN Maulana Malik Ibrahim menggunakan taumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle menunjukkan kandungan Pb yang semula 168,067 mg/L mengalami penurunan pada hari ke 10 menjadi 29,4278 mg/L, sedangkan kandungan Fe yang semula 1615,12 mg/L mengalami penurunan pada hari ke 5 menjadi 109,9337 mg/L dengan perlakuan menggunakan aerator. Penelitian dari Puspita *et al.* (2011) tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle sebagai agen fitoremediator logam Cromium (Cr) dalam limbah cair industri pabrik mampu mengakumulasi logam Cr dengan presentase 10,84%. Penelitian dari Aminatun & Lestari (2018) tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle berpengaruh dalam penurunan kandungan BOD dan COD pada limbah batik. Penelitian dari

Putriarti *et al.* (2021) *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mampu menurunkan kandungan detergen *Alkylbenzene Sulphonate* (LAS) dengan presentase penurunan sebesar 99,71%.

Kajian fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dengan logam berat (Fe) terbilang masih jarang dilakukan. Logam besi (Fe) merupakan salah satu jenis logam esensial yang dalam batas tertentu dibutuhkan oleh setiap organisme hidup, namun apabila melebihi batas tertentu dapat memberikan dampak racun. Berbeda dengan jenis logam non esensial seperti merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan kromium (Cr) dimana keberadaanya tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup dan dapat bersifat racun (Palar, 1994). Penelitian Fitoremediasi dengan agen tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle masih banyak dijumpai pada perlakuan terhadap logam non esensial, namun jarang dilakukan pada logam esensial terutama logam Besi (Fe).

Berdasarkan hal tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian fitoremediasi logam besi (Fe) dengan judul "Fitoremediasi Kandungan Bahan Pencemar Besi (Fe) Dalam Air Baku Sungai Kaligarang Dengan Menggunakan Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle". Untuk mengetahui tingkat efektivitas tumbuhan dalam menanggulangi pencemaran besi (Fe) dalam aliran air Sungai

Kaligarang karena kemampuan hiperakumulator yang dimilikinya dianggap cukup efektif dalam fitoremediasi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang terdapat pada latar belakang yang telah dituliskan, rumusan masalah yang muncul dalam pelaksanaan penelitian ini terdiri dari :

- 1) Bagaimana pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle terhadap kandungan besi (Fe) pada air Sungai Kaligarang?
- 2) Bagaimana perubahan kondisi morfologi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dalam fitoremediasi pencemaran besi (Fe) pada air Sungai Kaligarang?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah yang muncul dalam penelitian ini, tujuan penelitian ini terdiri dari :

- 1) Menganalisis pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle terhadap kandungan besi (Fe) air Sungai Kaligarang.
- 2) Menganalisis perubahan kondisi morfologi dari tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dalam fitoremediasi pencemaran besi (Fe) pada air Sungai Kaligarang.

D. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini kiranya dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1) Secara teoritis

Menjadi sebuah upaya dalam memperluas wawasan serta ilmu pengetahuan yang dapat dimanfaatkan sebagai informasi dan referensi bagi Mahasiswa, Dosen, Masyarakat ataupun peneliti lain mengenai fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle terhadap kemampuannya dalam meremediasi logam besi (Fe) dalam sampel air sungai.

2) Secara praktis

- a. Bagi penulis penelitian ini dapat bermanfaat sebagai pembuktian hasil implementasi ilmu pengetahuan dalam bidang ekologi dan kimia yang telah dipelajari di UIN Walisongo Semarang.
- b. Bagi masyarakat penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi terkait fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle terhadap lingkungan terutama Sungai Kaligarang, serta meningkatkan penggunaan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dalam bidang ekologi dan lingkungan.

- c. Bagi kampus UIN Walisongo dapat bermanfaat sebagai upaya kontribusi mahasiswa dalam pencapaian Visi & Misi Kampus menjadi Universitas Islam Riset Terdepan Berbasis Kesatuan Ilmu Pengetahuan.
- d. Bagi mahasiswa/mahasiswi, dosen ataupun peneliti lain, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai salah satu sumber referensi penelitian berkelanjutan khususnya dalam bidang fitoremediasi.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Fitoremediasi

Fitoremediasi diartikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, menghilangkan, menstabilkan, dan menghancurkan bahan pencemar baik senyawa organik maupun logam berat. Youngman (1999) menyatakan dalam fitoremediasi jenis tumbuhan yang dapat digunakan adalah tumbuhan yang mempunyai sifat sebagai berikut :

- 1) Cepat tumbuh
- 2) Dapat mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat
- 3) Mampu meremediasi lebih dari satu polutan
- 4) Toleransi yang tinggi terhadap polutan

Jenis - jenis tumbuhan yang biasa digunakan sebagai agen fitoremediasi dalam menurunkan kandungan bahan pencemar di suatu lingkungan perairan antara lain eceng gondok, kayu apu, genjer, kiambang, kangkung, dan juga salah satunya dengan menggunakan tumbuhan air *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle sebagai agen fitoremediator, karena kemampuan akumulasinya yang dapat mengikat kandungan logam berat pada suatu lingkungan perairan (Nisa, 2021).

Menurut Fitria *et al.* (2013) mekanisme kerja dalam sistem fitoremediasi mencakup 5 proses utama, yakni :

- 1) Fitoekstraksi adalah penyerapan logam berat oleh akar tumbuhan dan mengakumulasi logam berat tersebut ke bagian-bagian tumbuhan seperti akar, batang dan daun.
- 2) Rhizofiltrasi adalah memanfaatkan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam berat dari aliran limbah.
- 3) Fitodegradasi adalah metabolisme logam berat di dalam jaringan tumbuhan oleh enzim seperti dehalogenase dan oksigenase.
- 4) Fitostabilisasi adalah kemampuan tumbuhan dalam mengekresi (mengeluarkan) suatu senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi logam berat pada daerah rhizosfer (perakaran)
- 5) Fitovolatilisasi terjadi ketika tumbuhan menyerap logam berat dan melepaskannya ke udara lewat daun dan ada kalanya logam berat mengalami degradasi terlebih dahulu sebelum lewat daun.

Metode fitoremediasi mempunyai keuntungan yakni, dapat bekerja pada senyawa organik maupun anorganik, dapat dilakukan secara insitu maupun eksitu, tidak membutuhkan biaya yang mahal, operasionalnya mudah, ramah lingkungan serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah besar. Fitoremediasi juga mempunyai kerugian yakni,

prosesnya memerlukan waktu yang cukup lama, bergantung terhadap kondisi iklim, menyebabkan terpengaruhnya keseimbangan rantai makanan pada lingkungan dan ekosistem, serta menyebabkan terakumulasinya logam berat pada jaringan dan biomassa tumbuhan (Santriyana *et al.*, 2013).

2. Logam berat besi (Fe)

Logam berat besi (Fe) merupakan jenis logam yang ciri fisiknya mempunyai warna putih perak, liat dan juga mudah untuk dibentuk. Dalam susunan unsur berskala logam besi (Fe) masuk dalam golongan 8 dengan berat atom $55,85 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Logam besi dalam limbah industri biasanya berasal dari pipa-pipa air serta material logam yang sebagai hasil dari proses reaksi elektro kimiawi yang terjadi pada permukaan. Apabila kandungan logam berat besi (Fe) mempunyai kandungan yang melebihi 1 mg/L pada lingkungan ekosistem perairan, maka dianggap dapat membahayakan organisme akuatik.

Logam berat besi (Fe) adalah salah satu logam esensial yang apabila dalam jumlah sesuai batas akan sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup, sayangnya apabila jumlah logam Fe melebihi batas akan memberikan efek racun baik pada tumbuhan, hewan maupun manusia. Sifat logam berat khususnya besi (Fe) pada umumnya cukup sulit untuk

diuraikan, sehingga dapat dengan mudah terakumulasi pada lingkungan perairan serta secara alamiah keberadaan logam berat besi (Fe) sulit untuk dihilangkan (Murayya, 2015).

Logam Fe mempunyai sifat racun yang dapat berdampak juga terhadap kesehatan manusia, dapat menyebabkan keracunan dengan gejala muntah-muntah, kerusakan usus pencernaan, penuaan dini, kematian mendadak, radang pada sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, diabetes, sembelit, diare, mudah lelah, hipertensi, hepatitis dan insomnia (Parulian, 2009).

3. Pencemaran Air Sungai Kaligarang

Pencemaran berarti adanya perubahan sifat baik fisika, kimia maupun biologi yang tanpa dikehendaki terjadi pada udara, tanah ataupun air. Pencemaran air secara harfiah berarti masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, energi, zat, serta komponen lain menuju aliran air oleh manusia, hingga menyebabkan kualitas air menurun dan menjadi penyebab air tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya lagi (Yudo. S, 2006). Pencemaran air dapat disebabkan oleh berbagai limbah misalnya, limbah industri, limbah domestik, limbah pertanian dan juga limbah peternakan. Pencemaran air yang mengandung limbah khususnya logam berat akan masuk ke dalam aliran air sungai yang kemudian akan berkumpul menjadi satu menuju ke pantai ataupun laut,

logam berat yang masuk dalam perairan pada umumnya akan terjadi pengendapan, pengenceran lalu dispersi dan kemudian terakumulasi dalam tubuh organisme yang berada di lingkungan perairan tersebut (Murraya *et al.*, 2018).

Oleh karena itu, secara langsung maupun tidak langsung kandungan bahan pencemar logam berat pada perairan berbahaya terhadap kehidupan organisme serta berdampak pada kesehatan manusia apabila mengkonsumsinya, seperti terjadinya kerusakan jaringan bahkan menyebabkan kematian karena akumulasi logam berat (Murraya *et al.*, 2018). Selain sifatnya yang *toxic*, bahan pencemar logam berat terakumulasi dalam biota melalui metode biokonsentrasi, biomagnifikasi dan bioakumulasi oleh biota air. Logam yang masuk dalam tubuh biota air akan terus menumpuk pada tubuh mereka di sepanjang rantai makanan (Yudo, 2006). Baku mutu kandungan pencemar yang menjadi parameter kualitas air bersih telah diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/ 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Sehingga dalam kajiannya baku mutu tersebut dapat digunakan sebagai acuan kualitas air bersih dari bahan pencemar yang dapat membahayakan lingkungan ekosistem perairan juga kesehatan manusia.

Terjadinya pencemaran suatu lingkungan perairan biasanya di sebabkan akibat ulah dari manusia, hal ini tercantum pada QS. Ar-Rum [30]: 41 :

بَعْضَ لِيُذِيقَهُمُ النَّاسَ آيَاتِي كَسَبَتْ يَمًا وَالْبَحْرَ الْبُرِّيَّ فِي الْفَسَادِ ظَهَرَ
يَرْجِعُونَ لَعَلَّهُمْ عَمِلُوا الَّذِي

Artinya : Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).

Tafsir : “Secara jelas dan terang-terangan telah terjadi kerusakan di daratan dan di lautan. Yaitu berupa kerusakan eksistensi sumber-sumber kehidupan dan semakin menyusut, maraknya epidemi, berbagai penyakit dan wabah menyerang diri mereka, dan lain-lain. Yang demikian itu terjadi karena perbuatan tangan-tangan manusia yang melakukan perbuatan-perbuatan yang merusak dan merusakkan karena perangai mereka” (Assa’di, 2002).

Salah satu faktor dari terjadinya pencemaran air sungai adalah limbah domestik yang salah satunya adalah sampah. Sampah merupakan salah satu permasalahan besar yang harus dihadapi oleh beberapa kota besar di negara Indonesia, salah satu kota besar dengan tingkat penduduk

yang cukup tinggi adalah Kota Semarang. Peningkatan jumlah penduduk ini menyebabkan tingkat konsumsi makanan dan konsumsi non makanan pun semakin meningkat. Peningkatan konsumsi yang terjadi di Kota Semarang tentu menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah sampah di TPA Jatibarang (Sidiq & Makruf., 2018). Salah satu TPA terbesar di Kota Semarang terletak di Dusun Bambankerep, Kelurahan Kedungpane, Kecamatan Mijen, Kota Semarang dengan total luas 460.183 m², yang disebut dengan nama TPA Jatibarang.



Gambar 2. 1 TPA Jatibarang

Sumber : <https://www.hmicabangsemarang.or.id/>

Pengoperasian TPA Jatibarang dimulai pada Maret, Tahun 1992. TPA Jatibarang ini mempunyai posisi yang berdekatan dengan pemukiman, hal ini dapat menimbulkan dampak positif dan dampak negatif. Dampak positifnya adalah terbukanya lapangan pekerjaan baru sehingga menurunkan angka pengangguran serta dapat digunakannya sampah anorganik yang berbahan dasar plastik untuk dapat didaur ulang (Sidiq & Makruf., 2018). Sedangkan dampak

negatifnya adalah dapat menyebabkan gangguan kesehatan penduduk setempat, karena buangan limbah yang mengundang lalat sehingga dapat menularkan penyakit, serta menimbulkan bau yang tidak sedap (Pahlefi, 2014). Jumlah sampah yang masuk ke lokasi pemrosesan akhir jatibarang kurang lebihnya berkisar 800-900 ton per hari dengan komposisi sampah organik 62% dan komposisi sampak anorganik 38 % dengan dominansi sampah paling besar di duduki dengan sampah makanan dengan presentase 43% (BLH, 2017).

Efek negatif dari penyebaran limbah air lindi yang terjadi di TPA Jatibarang ini selain menyebabkan terjadinya penularan penyakit oleh lalat, dapat juga menjadi indikator pencemaran air Sungai Kaligarang karena kandungan bahan pencemar yang terdapat di dalam kandungan limbah, pernyataan tersebut diperkuat dengan penelitian dari Supriyadi *et al.* (2013) mengenai pola sebaran limbah TPA Jatibarang, bahwa aliran lindi limbah TPA Jatibarang terserap menuju sungai kreo kemudian terbawa kearah utara menyatu bersama aliran Sungai Kaligarang selain itu beberapa pabrik industri juga berpotensi menimbulkan pencemaran Sungai Kaligarang.

4. Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle merupakan salah satu jenis tumbuhan air yang hidup di bawah permukaan air (Aqli, 2019). Dalam pertumbuhannya, tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dapat tumbuh bercabang-cabang, mempunyai bentuk daun kecil berwarna hijau karena kandungan klorofil di dalamnya, dan kehidupannya tidak terlepas dari sinar matahari karena aktif berfotosintesis untuk proses pertumbuhannya (Hidayatullah. A, 2021). Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle 90% jaringannya terdiri dari air, sehingga menyebabkan tumbuhan ini dapat tumbuh dalam lingkungan perairan yang terbatas nutrisi esensialnya seperti fosfor, karbon maupun nitrogen, tumbuhan ini juga dapat hidup dalam salinitas 7% pada air laut serta mampu tumbuh dalam kondisi lingkungan air dengan presentase kimia yang cukup tinggi (Ruhmawati. T, 2017).

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mempunyai ciri ciri daun yang berukuran kecil dengan tepi daun bergerigi dan lanset yang tersusun disekeliling batang (Silalahi, 2010). *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mempunyai akar kekuning-kuningan tumbuh di dasar air dengan ke dalaman hingga 2 m. Ukuran batang memiliki panjang 1 sampai 2 Cm dengan 2 hingga 8 helai daun yang tumbuh. *Hydrilla verticillata* (L.f.)

Royle mempunyai sistem perkembangbiakan yang pesat karena adanya stolon (Aulia, 2020).



Gambar 2. 2 *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

<https://colplanta.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:14224-3>

Klasifikasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle adalah sebagai berikut :

| | |
|---------|---|
| Kingdom | : Plantae |
| Divisi | : Magnoliophyta |
| Kelas | : Liliopsida |
| Ordo | : Hydrocharitales |
| Suku | : Hydrocharitaceae |
| Genus | : <i>Hydrilla</i> |
| Spesies | : <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle (<i>Plants Of The World Online, 2023</i>) |

Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle secara umum dapat ditemui dalam perairan terbuka dan tumbuh secara liar pada lingkungan seperti danau, kolam, sawah maupun sungai yang memiliki kondisi air yang relatif jernih

(Zulsusyanto, 2015). Dalam hubungannya dengan lingkungan perairan biasanya tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle digunakan sebagai tempat hidup bagi organisme avertebrata (Hewan tanpa tulang belakang) sedangkan umbi atau bonggol yang dimilikinya biasanya dikonsumsi oleh unggas (Hidayatullah, 2021). Karena hidupnya yang berada di lingkungan air tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle juga mempunyai peranan penting terhadap kehidupan ekosistem air sebagai produsen penghasil energi (Afiyah *et al.* 2020).

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Terdapat beberapa penelitian yang relevan dalam penelitian mengenai kajian fitoremediasi diantaranya sebagai berikut :

| Penulis | Judul | Metode | Hasil | <i>Research Gap</i> |
|-------------------------------------|---|---|--|---|
| Ferdiansah & Ubaidillah, M. (2023). | Efektivitas Bioakumulator Tanaman Hydrilla verticillata pada Cemar Tanah pada Budi Daya Padi Genangan | Perlakuan fitoremediasi RAL dengan 5 taraf yakni : padi tanpa kontaminan Cu & Hydrilla, padi tanpa Hydrilla namun dengan kontaminan Cu, Padi dengan kontaminan Cu dengan 3 tumbuhan Hydrilla, Padi dengan kontaminan Cu dengan 5 tumbuhan Hydrilla, dan padi dengan kontaminan Cu dengan 7 tumbuhan Hydrilla. | Fitoremediasi selama 30 hari menunjukkan hasil bahwa tumbuhan Hydrilla mampu mengurangi kandungan Cu yang semula 25 mg/L, berturut turut menjadi 4,5 mg/L, 4,49 mg/L, dan 5,31 mg/L. | Indikator pengujiannya yakni logam berat Cu dan juga pemaparan yang dilakukan terhadap sampel selama 30 hari. Hal ini berbeda dengan penelitian yang akan penulis lakukan yakni pengujian terhadap kandungan Fe dengan waktu pemaparan 5 dan 10 hari. |

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| <p>Putriarti, D., MudloifaRosyida & Putri, M.(2021)</p> | <p>Kemampuan Hydrilla verticillata Sebagai Agen Fitoremediasi Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) Detergen. Prosiding SEMNAS BIO 2021 Universitas Negeri Padang</p> | <p>Perlakuan fitoremediasi tanaman hydrilla menggunakan konsentrasi LAS yang setiap toples sebesar 20 ppm pada 3 ember berisi 5 L air dengan pemaparan 7 hari.</p> | <p>kandungan LAS pada media air menunjukkan penurunan dari 20 ppm menjadi tersisa 0,058 ppm dengan presentase penurunan 99,71%. bio massa basah tumbuhan juga terjadi penurunan karena mengalami klorosis dari rata-rata 200 ± 0 gram menjadi 90 ± 45.825 gram dengan persentase penurunan sebesar 55%</p> | <p>Indikator pengujiannya yakni LAS berbeda dengan penelitian yang akan dilakukan, karena dalam penelitian yang akan dilakukan indikator pengujiannya adalah logam berat Fe.</p> |
|---|--|--|--|--|

| | | | | |
|----------------------------|--|--|--|---|
| <p>Aulia, M (2020)</p> | <p>Fitoremediasi Logam Berat Pb Dan Fe Pada Limbah Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Menggunakan <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle dari Danau Ranu Grati Pasuruan</p> | <p><i>Hydrilla</i> yang digunakan adalah 20 gr, dengan waktu pemaparan 5, 10, & 15 hari. Fitoremediasi dilakukan dengan RAK menggunakan aerator dan tidak menggunakan aerator.</p> | <p>Dengan perlakuan menggunakan aerator, Pb semula 168,067 mg/L terjadi penurunan terendah hari ke 10 menjadi 29,4278 mg/L, sedangkan kandungan Fe semula 1615,12 mg/L penurunan terendah hari ke 5 menjadi 109,9337 mg/L. Tanpa aerator pengukuran Pb terendah hari ke 10 menjadi 49,5555 sedangkan pengukuran Fe terendah pada hari ke 10 menjadi 113,7576. Menggunakan aerator.</p> | <p>Sampel yang digunakan yaitu sampel air limbah laboratorium kimia. Menggunakan faktor perbandingan perlakuan dengan memanfaatkan aerator serta melakukan pengujian terhadap logam Pb. Sehingga berpeluang mempunyai hasil yang berbeda dengan hasil penelitian yang akan dilakukan.</p> |
|----------------------------|--|--|--|---|

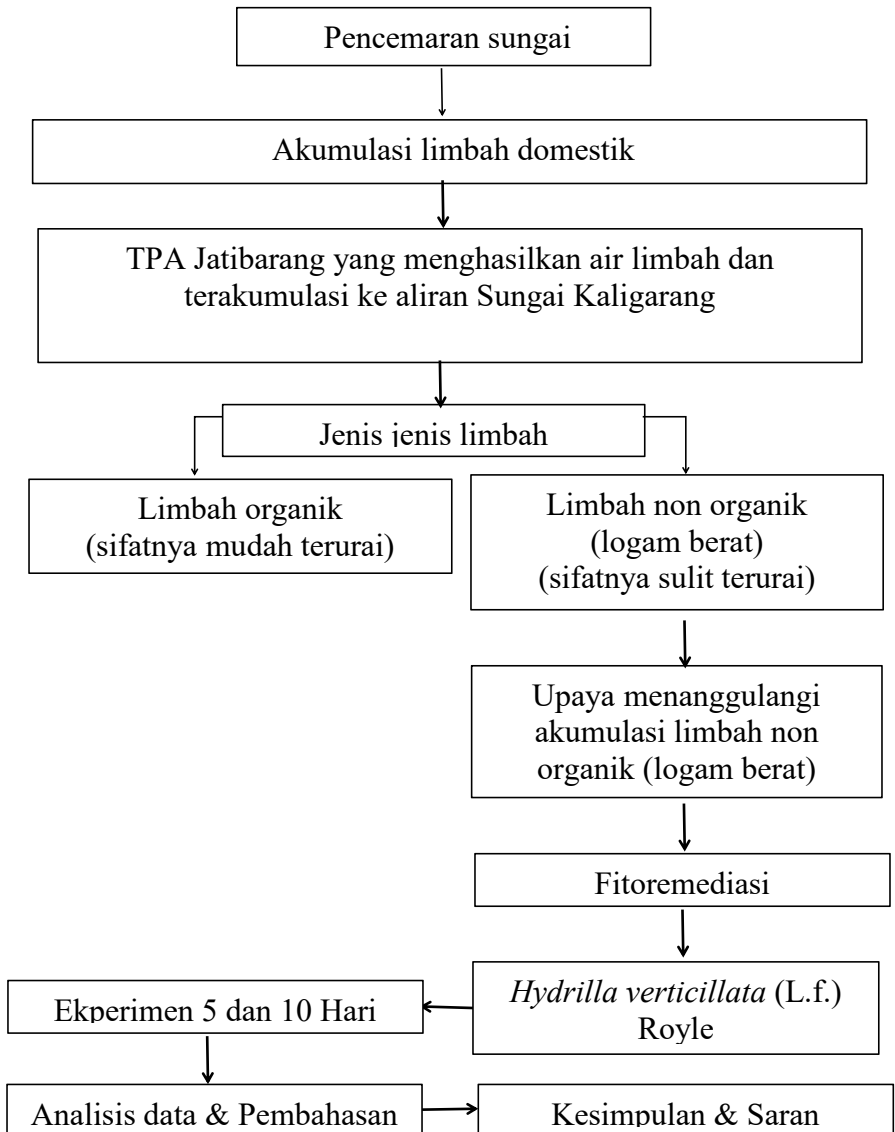
| | | | | |
|--|--|---|---|---|
| <p>Maryana, M., Oktorina, S., Auvaria, S. W., & Setyowati, R. diah N. (2020)</p> | <p>Fitoremediasi Menggunakan Variasi Kombinasi Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta M</i>) dan Tanaman Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes L</i>) dalam Menurunkan Besi (Fe) dengan Sistem Batch</p> | <p>Eksperimen fitoremediasi dengan sampel 15 L air sumur dengan sistem batch menggunakan variasi kombinasi (75:25), (50:50), (25;75).</p> | <p>Terjadi penurunan kandungan Fe pada hari ke 12. Pada kelompok perlakuan reaktor 1 efisiensi sebesar 47%, reaktor 2 efisiensi sebesar 93%, dan reaktor 3 efisiensi sebesar 9%. Nilai efisiensi tertinggi menggunakan variasi kombinasi tanaman kiambang dan tanaman kayu apu terdapat pada reaktor 2 yaitu sebesar 93% pada hari ke-12.</p> | <p>Agen tumbuhan yang digunakan jelas berbeda dengan agen tumbuhan yang akan dilakukan dalam penelitian. Karena dalam penelitian yang akan dilakukan menggunakan agen <i>Hydrilla verticillata</i>. Metode fitoremediasi kandungan Fe yang dilakukanpun menggunakan metode kombinasi yang tentunya akan berpeluang memiliki hasil yang berbeda karena hanya menggunakan 1 agen tumbuhan saja.</p> |
|--|--|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|--|--|---|
| <p>Aminatun, T. & Lestari, Y.P (2018)</p> | <p>“Efektivitas Variasi Biomassa tumbuhan <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle dalam Fitoremediasi Limbah Batik”</p> | <p>Fitoremediasi yang dilakukan selama 3 minggu menggunakan variasi biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> yaitu 200, 250 dan 300 gram dengan konsentrasi limbah 50%. Untuk parameter yang diukur meliputi : suhu, pH, BOD, COD, kandungan krom (Cr), biomassa tanaman dan daya hidup ikan.</p> | <p>kandungan BOD sebelum fitoremediasi menunjukan angka 541,0 mg/l, setelah perlakuan variasi biomassa <i>Hydrilla</i> menunjukan penurunan menjadi 36,1, 30,2, 24,5, & 33,5 mg/l.. Pada kandungan COD semula 1546,0 mg/l mengalami penurunan berturut turut 160,5, 205,5 & 215,5mg/l.</p> | <p>Indikator pengujian COD & BOD, variasi biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle dan sampel untuk pemaparannya berpeluang akan adanya perbedaan dalam hasil penelitian yang akan dilakukan, karena menggunakan perlakuan biomassa yang sama yakni 15 gr dengan waktu pemaparan 5 dan 10 hari.</p> |
|---|---|--|--|---|

| | | | | |
|-------------------------------------|--|---|---|--|
| <p>Nurlina <i>et al.</i> (2016)</p> | <p>“Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kiapu <i>Pistia stratiotes L.</i> Dari Air Sumur Sekitar Workshop Unhas”.</p> | <p>Fitoremediasi sampel air sumur sekitar workshop Unhas dengan berat kiapu 15gr. Pengujian kandungan logam Fe dilakukan setiap 7 hari sampai hari 14 menggunakan instrumen SSA</p> | <p>akumulasi logam Fe pada jaringan Kiapu <i>P.stratiotes L.</i> diawal perlakuan sebesar 767.750 ppm, lalu meningkat pada hari ke-7 setelah perlakuan menjadi 1747.065 ppm dan mengalami penurunan pada hari ke-14 hingga tersisa 625.395.</p> | <p>Agen tumbuhan yang digunakan jelas berbeda dengan agen tumbuhan yang akan dilakukan dalam penelitian.</p> |
|-------------------------------------|--|---|---|--|

| | | | | |
|---|--|---|---|--|
| <p>Mutmainah F., Arinafril & Suheryanto. (2015)</p> | <p>“Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Menggunakan <i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle Dan <i>Najas Indica</i>”.</p> | <p>Pola faktorial <i>Najas Indica</i> dan <i>Hydrilla verticillata</i> dengan perlakuan 3 konsentrasi timbal 5, 10,15mg/l dimasukan dalam 20L air pam pada hari ke-5, 10, 15 dan 20</p> | <p><i>Hydrilla verticillata</i> hidup dalam konsentrasi 15mg/l sampai hari ke-20 dengan kemampuan penyerapan 3.653 - 24,700.4 mg/kg dari konsentrasi 5mg/l - 15 mg/l. <i>Najas indica</i> hidup sampai hari ke-20 pada konsentrasi Pb paling rendah yaitu 5mg/l dan hidup sampai hari ke-15 pada konsentrasi pb 15mg/l. dengan kemampuan penyerapann 25.267, 2 mg/kg.</p> | <p>logam Pb yang menjadi indikator penelitian tentunya berbeda dengan penelitian yang akan dilakukan yakni menggunakan logam Fe. Dan agen yang digunakan tidak dibandingkan dengan tumbuhan lain</p> |
|---|--|---|---|--|

C. Alur Kerangka Berfikir



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan pendekatan secara kualitatif untuk pengamatan morfologi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, serta pendekatan kuantitatif untuk menentukan absorpsi kandungan besi (Fe) dalam sampel air Sungai Kaligarang menggunakan spektrofotometri serapan atom (SSA). Jenis penelitian eksperimental berfungsi untuk mencari hubungan sebab-akibat antara satu variabel dengan variabel lain, di dalam metode eksperimen terdapat pengontrolan terhadap variable penelitian dan adanya pemberian perlakuan terhadap kelompok eksperimen yang dalam penelitian ini meliputi berat tumbuhan yang digunakan serta waktu pemaparannya.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2023 - Desember 2023. Pengambilan sampel dilakukan di aliran Sungai Kaligarang dekat Reservoar Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang, untuk lokasi pemaparan dilakukan di Halaman rumah dan untuk lokasi pengujian dilakukan di

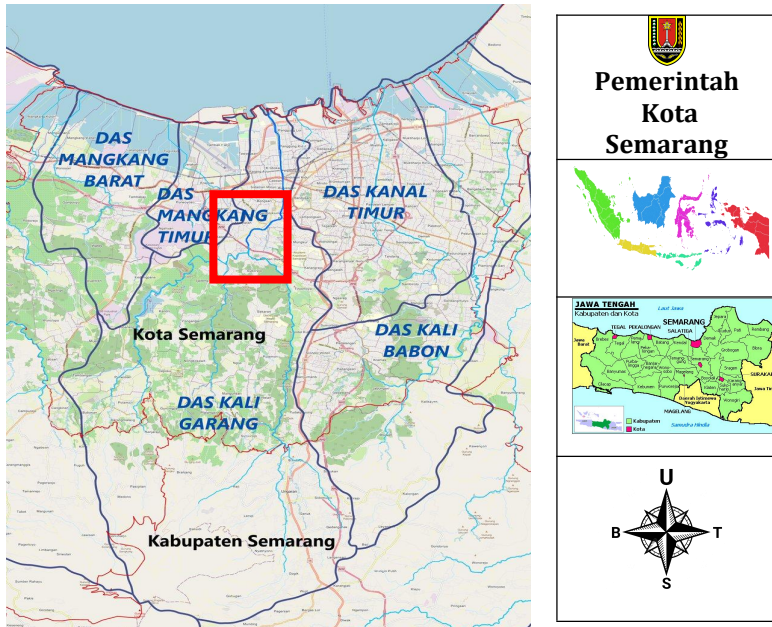
Laboratorium fakultas Sains dan Teknologi UIN
Walisongo Semarang.



Gambar 3. 1 Peta lokasi pengambilan sampel air baku Sungai
Kaligarang. ($7^{\circ}00'09''\text{S}$ $110^{\circ}24'03''\text{E}$) 190m
Sumber : <https://earth.app.goo.gl/zqi8oz>



Gambar 3. 2 Titik Lokasi Pengambilan Sampel Air Sungai
Kaligarang (Dokumentasi Penelitian)



Gambar 3.3 Peta Daerah Aliran Sungai Utama Kota Semarang
 Sumber : Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Aliran
 Sungai dan Hutan Lindung

C. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk proses fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle terdiri dari :

1. Alat

Alat yang di perlukan meliputi Jerigen 5 liter, toples transparan, timbangan digital (GSF), pH/TDS-986, hot plate (Benchmark), lemari asam (ISOCIDE), kertas saring (Whatmann), gelas beaker (Iwaki), labu ukur (Iwaki), gelas ukur (SCHOTT), seperangkat alat spektrofotometri serapan atom (iCE 3000), seperangkat pipet volume (Iwaki), kertas label, kamera, alat tulis, dan corong gelas.

2. Bahan

Bahan yang diperlukan meliputi air Sungai Kaligarang, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, HNO₃ 65%, aquades, larutan standar besi (Fe) (0,25, 0,5, 1, 2, dan 4)

D. Rancangan Penelitian

Metode eksperimental yang dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap dengan 2 perlakuan waktu yang berbeda yakni 5 hari dan 10 hari serta 1 perlakuan untuk kontrol. Setiap perlakuan dilakukan 3 kali ulangan (triplo), sehingga total unit percobaan terdiri dari 9 satuan perlakuan.

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

| No | S ₀ | S ₁ | S ₂ |
|----|---|---|--|
| 1. | 1 Liter air aquades <i>Hydrilla verticillata</i> 15 gr | 1 Liter air sungai + <i>Hydrilla verticillata</i> 15 gr (5 hari) | 1 Liter air sungai + <i>Hydrilla verticillata</i> 15 gr (10 hari) |
| 2. | 1 Liter air aquades <i>Hydrilla verticillata</i> 15 gr | 1 Liter air sungai + <i>Hydrilla verticillata</i> 15 gr (5 hari) | 1 Liter air sungai + <i>Hydrilla verticillata</i> 15 gr (10 hari) |
| 3. | 1 Liter air aquades <i>Hydrilla verticillata</i> 15 gr | 1 Liter air sungai + 15 gr <i>Hydrilla verticillata</i> (5 hari) | 1 Liter air sungai + <i>Hydrilla verticillata</i> 15 gr (10 hari) |

Keterangan :

S₀ : Perlakuan kontrol

S₁ : 1 Liter air sungai + *Hydrilla verticillata* 15gr waktu pemaparan 5 hari

S₂ : 1 Liter air sungai + *Hydrilla verticillata* 15gr waktu pemaparan 10 hari

E. Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 2 variabel, yakni variabel bebas, variabel terikat, dan variabel pendukung.

- 1) Variabel bebas : Waktu pemaparan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dalam air Sungai Kaligarang dan juga berat basah tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.
- 2) Variabel terikat : Konsentrasi Fe yang tersisa dalam air sungai, kondisi morfologi dan berat basah *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle setelah perlakuan fitoremediasi.

F. Metode

1. Pengambilan Air Baku Sungai Kaligarang dan Sampel Tumbuhan

Sampel air Sungai Kaligarang diambil sebanyak 2 kali yakni sampel pada saat musim kemarau dan saat musim penghujan di lokasi perairan Sungai Kaligarang sebanyak 10 liter dan dimasukkan ke dalam jerigen, setelah itu di simpan dalam suhu ruang selama 1 hari (Aulia, 2020). Setelah melalui masa penyimpanan selama 1 hari, sampel air Sungai Kaligarang di siapkan untuk pengujian awal konsentrasi logam Fe dengan destruksi basah terbuka menggunakan pemanasan hot plate, untuk kemudian dilakukan pengujian kandungan besi (Fe) menggunakan spektrofotometri serapan atom (SSA). Untuk pengambilan sampel tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle diambil dari pembudidaya tumbuhan

Hydrilla verticillata (L.f.) Royle dari toko ikan hias sebanyak 15 pot dan disimpan dalam wadah plastik untuk kemudian dilakukan aklimatisasi.

2. Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan pada tahapan awal untuk membantu tumbuhan dapat beradaptasi dengan lingkungan yang baru (Aulia, 2020). Aklimatisasi dilakukan dengan menyiapkan ember yang berisikan aquades sebanyak 10 L dengan menggunakan aerator sebagai sumber oksigen untuk pertumbuhan agen *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, sebelum dilakukan proses aklimatisasi, tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang ada pada permukaan tumbuhan, kemudian dimasukan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle ke dalam 10 L aquades dan diamkan selama 5 hari (Mutamainah *et al*, 2015). Selesai aklimatisasi, tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dipindahkan ke toples transparan untuk dilakukan proses pemaparan ke dalam sampel air Sungai Kaligarang sebanyak 15 gr.

3. Proses Fitoremediasi dan Pemaparan Sampel

Proses fitoremediasi dilakukan dengan 9 satuan perlakuan dengan 3 kali pengulangan (triplo), 3 wadah yang pertama atau S_0 digunakan sebagai perlakuan kontrol yang berisi air aquades 1 Liter + 15 gr *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle yang sebelumnya sudah diaklimatisasi kemudian dipilih bagian tumbuhan yang mempunyai ukuran panjang kurang lebih sama, setelah itu ditimbang berat basahnya dengan menggunakan timbangan digital sebanyak 15gr, kemudian pindahkan ke dalam wadah toples transparan yang di dalamnya sudah terdapat 1 Liter air sungai ke dalam perlakuan S_1 dan S_2 dengan 3 kali pengulangan.

4. Destruksi

Preparasi sampel dengan destruksi ini dilakukan 2 kali, destruksi pertama untuk uji awal kandungan Fe pada air Sungai Kaligarang sebelum diberi perlakuan, dan destruksi kedua untuk uji kandungan Fe setelah diberi perlakuan S_1 dan S_2 . langkah pengerjaannya dilakukan berdasarkan SNI 6989.4:2009 tentang Air dan air limbah – Bagian 4: Cara uji besi (Fe) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) - Nyala :

- 1) Contoh uji yang homogen dimasukkan 50 mL ke dalam gelas piala 100 mL .
- 2) HNO_3 ditambahkan sebanyak 5 mL, kemudian tutup dengan kaca arloji jika menggunakan gelas piala dan apabila menggunakan erlenmeyer tutup dengan corong.
- 3) Larutan sampel di panaskan dengan suhu 100°C - 150°C hingga larutan menjadi hampir kering menyisakan volume 15 mL - 20 mL.
- 4) Jika destruksi belum sempurna maka 5 mL HNO_3 pekat ditambahkan, kemudian tutup gelas piala dengan kaca arloji atau tutup Erlenmeyer dengan corong dan panaskan lagi (tidak mendidih). lakukan secara berulang hingga semua logam larut dan terlihat warna endapan contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih.
- 5) Kaca arloji dibilas dan air bilasnya dimasukkan ke dalam gelas piala.
- 6) Sampel dipindahkan ke labu ukur yang berukuran 25 mL menggunakan kertas saring Whatmann dan tambahkan aquades hingga tanda tera (dihomogenkan).

5. Pengukuran Nilai Zat padat terlarut (TDS) , pH, dan Suhu Air Baku Sungai Kaligarang

Pengukuran nilai zat padat terlarut air dilakukan dengan menggunakan alat pH/TDS-986 dengan cara :

- 1) Alat dikalibrasi terlebih dulu menggunakan akuades.
- 2) Alat dimasukkan ke dalam larutan sampel sesuai batas sensor dengan mengklik tombol TDS/pH.
- 3) Menunggu beberapa saat hingga angka yang tertera dalam alat stabil.
- 4) Mencatat hasilnya.

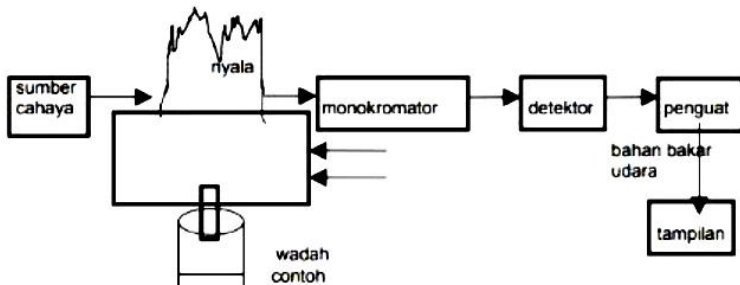
6. Pengamatan Morfologi *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

Pengamatan morfologi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle meliputi warna daun tumbuhan, warna batang tumbuhan dan berat basah tumbuhan yang dilakukan selama masa pemaparan pada perlakuan S_0 , S_1 , dan S_2 .

7. Pengujian spektrofotometri serapan atom (SSA)

Semua sampel hasil destruksi diambil dan didiamkan pada suhu ruang hingga mengalami pendinginan suhu sampai proses analisis SSA siap untuk dilakukan. Pengujian SSA merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan kandungan pada salah satu unsur yang terdapat dalam suatu senyawa didasarkan pada serapan atomnya (Aulia, 2020). Proses analisis kandungan Fe menggunakan instrumentasi

SSA yang dilengkapi dengan lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp* (HCL)) besi dengan panjang gelombang yang digunakan adalah 248,3 Berdasarkan aturan SNI 6989.4:2009. Setelah itu dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan SSA yang akan disajikan dalam bentuk tabel.



Gambar 3. 4 Komponen-komponen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) (Lucyan, 2021)

Secara umum dalam instrumen SSA terdapat sumber radiasi katoda berupa lampu berbentuk silinder berlapisan logam tertentu sebagai sumber cahaya. Wadah contoh sebagai tempat peletakan sampel yang akan dianalisis. Monokromator berfungsi untuk memilih sinar monokromatis dari sinar polikromatis. Detektor berfungsi sebagai alat untuk mengukur intensitas sinar yang terpancar dari atom. Amplifier berfungsi sebagai bagian yang memperkuat penerimaan sinar yang diterima oleh detektor agar mudah dibaca dengan rekorder. Selanjutnya semua sinar yang terbaca akan dicatat hasilnya oleh readout (Aqli, 2019).

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) adalah metode analisis kuantitatif yang berdasar pada serapan sumber cahaya oleh atom logam pada keadaan bebas dengan panjang gelombang tertentu sesuai dengan sifat unturnya. Prinsip kerja analisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom sampel diubah ke dalam bentuk larutan kemudian dikabutkan lalu disemprotkan ke bagian burner sehingga mengalami deatomisasi. Kemudian direaksikan dengan sumber energi (radiasi) maka atom pada keadaan dasar membutuhkan energi yang besar untuk proses absorpsi. Atom tersebut didapatkan karena atom tersebut menyerap energi dari sumber cahaya (foton) yang ada pada alat SSA. Penyerapan energi dalam SSA akan menyebabkan elektron atom akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (Lucyan, 2021)

Langkah Pengujian sebagai berikut :

a) Pembuatan larutan induk logam besi 100 mg/L

Menimbang 0,100 g logam besi kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, ditambahkan campuran 10 mL HCL dan 3 mL HNO₃ pekat hingga larut. Tambah kembali 5mL HNO₃, lalu encerkan dengan air bebas mineral hingga tanda tera.

b) Pembuatan larutan baku logam besi 10 mg/L

Larutan induk dipipet sebanyak 10 mL, kemudian di masukkan ke dalam labu ukur 100 mL, tepatkan dengan larutan pengencer hingga tanda tera lalu dihomogenkan.

c) Pembuatan kurva kalibrasi dan pengukuran contoh uji

- 1) Instrumen SSA di operasikan sesuai dengan petunjuk penggunaan alat untuk pengukuran besi (Fe),
- 2) Larutan blanko diujikan hingga serapannya nol.
- 3) Membuat kurva kalibrasi dilakukan untuk menentukan persamaan garis lurusnya. Apabila koefisien korelasi regresi linier (r) < dari 0,995 periksa kondisi alat dan ulangi pengaspirasian larutan blanko hingga diperoleh korelasi regresi linier (r) \geq 0,995.
- 4) lalu larutan kerja diujikan dengan menggunakan panjang gelombang 248,3 nm, setiap berpindah sampel, lakukan pembilasan pada selang aspirator dengan larutan pengencer, kemudian catat hasil serapannya.

8. Analisis Data dan Pengolahan Data

Analisis data dan pengolahannya menjadi tahap akhir dalam penelitian yang dilakukan. Analisis data dilakukan menggunakan analisa statistik dengan menggunakan aplikasi software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS).

Distribusi data diuji menggunakan analisis Uji Mann-Whitney Test. Mann-Whitney Test merupakan uji non parametrik yang digunakan untuk mengetahui perbedaan 2 kelompok bebas dengan variabel terikatnya adalah ordinal atau ratio.

Syarat Uji Mann-Whitney Test :

1. Skala data variabel terikat adalah ordinal (tidak terukur) atau ratio (terukur).
2. Hasil data berasal dari 2 kelompok
3. Data berasal dari kelompok variabel independen yang berbeda atau tidak berpasangan

9. Hipotesis penelitian

H₀ : Tidak ada pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle terhadap kandungan bahan pencemar Besi (Fe) pada air baku sungai kaligarang.

H₁ : Ada pengaruh fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle terhadap kandungan bahan pencemar Besi (Fe) pada air baku sungai kaligarang.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Hasil Penelitian

1) Uji Pendahuluan Analisis kandungan Besi (Fe), Zat Padat Terlarut, pH, dan Suhu Air Sungai Kaligarang Sebelum Fitoremediasi.

Penelitian mengenai fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle terhadap kandungan bahan pencemar besi (Fe) pada air baku Sungai Kaligarang, bertujuan untuk mengetahui seberapa pengaruh tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dalam meremediasi kandungan logam berat besi (Fe) dengan perlakuan eksperimen pada 2 waktu yang berbeda, yakni 5 hari dan 10 hari.

Preparasi sampel air Sungai Kaligarang yang digunakan sebelum dilakukan analisis kandungan besi (Fe) menggunakan spektrofotometri serapan atom, terlebih dahulu dilakukan proses destruksi basah secara terbuka menggunakan HNO_3 65% dengan pemanasan hot plate pada suhu 100°C - 150°C yang dilakukan di lemari asam. Fungsi dari HNO_3 65% adalah sebagai sebagai bahan pemecah senyawa organik dalam sampel menjadi atom yang lebih kecil, selain itu HNO_3 juga berperan dalam mengetahui konsentrasi logam yang akan dianalisis menggunakan spektrofotometri serapan atom (Aulia, 2020).

Pengukuran zat padat terlarut, pH, dan suhu air pada sampel air Sungai Kaligarang juga diperlukan untuk dapat dibandingkan dengan hasil sampel air Sungai Kaligarang setelah dilakukan fitoremediasi. Hasil pengukuran zat padat terlarut, pH, suhu, serta kandungan besi (Fe) dalam sampel air Sungai Kaligarang sebelum diberi perlakuan fitoremediasi, dapat dilihat pada tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1. Pemeriksaan Parameter Uji Air Sungai Musim Kemarau.

| No | Parameter uji | Hasil |
|----|------------------------|-------------|
| 1. | Kandungan besi (Fe) | 0,6246 mg/L |
| 2. | Zat padat terlarut air | 200 ppm |
| 3. | pH air | 8,05 |
| 4. | Suhu air | 34,3°C |

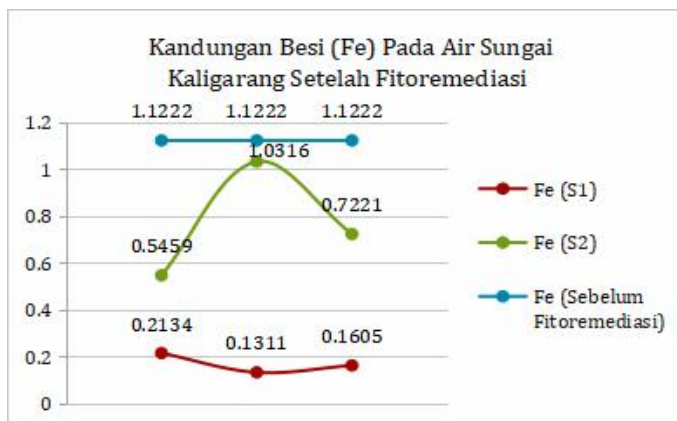
Tabel 4.2. Pemeriksaan Parameter Uji Air Sungai Musim Penghujan.

| No | Parameter uji | Hasil |
|----|------------------------|-------------|
| 1. | Kandungan besi (Fe) | 1,1222 mg/L |
| 2. | Zat padat terlarut air | 220 ppm |
| 3. | pH air | 7,72 |
| 4. | Suhu air | 32,5°C |

2) Hasil Analisis kandungan Besi (Fe), Zat Padat Terlarut, pH, dan Suhu Air Setelah Fitoremediasi Pada Air Sungai Kaligarang.

Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali terhadap kandungan besi (Fe), Zat Padat Terlarut, pH, dan suhu air yang dilakukan sebelum dan sesudah proses fitoremediasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kandungan besi (Fe) dan juga parameter pendukung seperti zat padat terlarut, pH, dan suhu air sebelum dan setelah perlakuan fitoremediasi. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.4.

Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Fitoremediasi Terhadap Kandungan Besi (Fe) pada Air Baku Sungai Kaligarang.



Keterangan :

Nilai rata-rata kandungan Fe (S₁) : 0,1683

Nilai rata-rata kandungan Fe (S₂) : 0,7665

Tabel 4.3 Analisis Zat Padat Terlarut, pH, dan Suhu Air Setelah Fitoremediasi.

| Sampel | Pengulangan | Zat padat terlarut | Suhu | pH |
|----------------|-------------|--------------------|--------|------|
| S ₁ | 1. | 130 ppm | 32,0°C | 8,51 |
| | 2. | 140 ppm | 31,5°C | 8,53 |
| | 3. | 160 ppm | 32,5°C | 8,84 |
| Rata- rata : | | 143 ppm | 32 °C | 8,63 |
| S ₂ | 1. | 160 ppm | 33,9°C | 8,97 |
| | 2. | 150 ppm | 33,3°C | 8,46 |
| | 3. | 160 ppm | 34,1°C | 8,89 |
| Rata-rata : | | 157 ppm | 33,7°C | 8,77 |

3) Pemaparan Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle Dengan Sampel Air Sungai Kaligarang.

Pemaparan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dilakukan pada wadah toples transparan berkapasitas 2L berbahan dasar plastik. Toples berisikan sampel air Sungai Kaligarang serta aquades sebagai data kontrol dengan masing-masing 3 kali pengulangan. Pemaparan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dengan sampel air Sungai Kaligarang dilakukan selama 5 dan 10 hari. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi fisik tumbuhan, zat padat terlarut, pH, suhu, serta kandungan besi (Fe) yang tersisa di dalam

sampel air Sungai Kaligarang selama proses fitoremediasi. Proses pemaparan seperti yang terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Proses Pemaparan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.

4). Pengamatan Fisik Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.

Sebelum pengamatan fisik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, dilakukan proses aklimatisasi terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk penyesuaian diri tumbuhan terhadap kondisi lingkungan yang baru selama 5 hari. Proses aklimatisasi dilakukan dengan menggunakan bantuan aerator sebagai sumber oksigen terhadap pertumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle yang diletakkan di dekat dengan ruang terbuka agar tumbuhan tetap mendapatkan persediaan cahaya yang mencukupi dalam proses fotosintesis (Aqli, 2019), seperti yang terlihat dalam gambar 4.2.



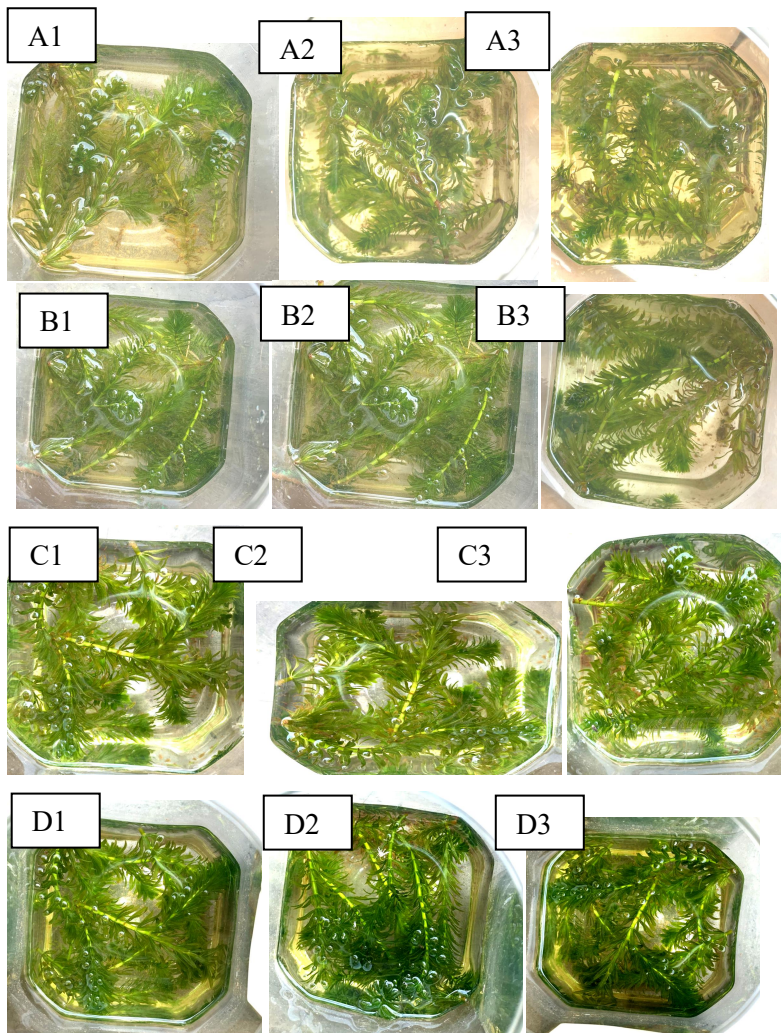
Gambar 4.3 Proses Aklimatisasi

Setelah melalui proses aklimatisasi, dilakukan pengamatan fisik terhadap tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle yang terdiri dari warna daun, warna batang, serta berat basah tumbuhan. Pengukuran berat basah tumbuhan yaitu 15gr selanjutnya dilakukan proses pemaparan sampel air baku Sungai Kaligarang. Selama perlakuan fitoremediasi, pengamatan fisik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dilakukan secara berkala yakni pada hari ke-0, ke-5, dan hari ke-10. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perubahan kondisi fisik tumbuhan sebelum maupun sesudah masa pemaparan dalam sampel air Sungai Kaligarang dalam waktu 0, 5, dan 10 hari. Hasil pengamatan kondisi fisik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle yang dilakukan selama 0, 5, dan 10 hari dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.4 Pengamatan Warna Daun dan Batang Tumbuhan
Hydrilla verticillata (L.f.) Royle

| No | Warna daun | | | Warna batang | | |
|----|----------------|-----------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | S ₀ | S ₁ | S ₂ | S ₀ | S ₁ | S ₂ |
| 1. | Hijau tua | Hijau tua | Hijau tua sebagian | Hijau muda | Hijau muda | Hijau muda |
| | | sebagian kuning | kuning | | sebagian kuning | sebagian kuning |
| | | | | | | |
| 2. | Hijau tua | Hijau tua | Hijau tua sebagian | Hijau muda | Hijau muda | Hijau muda |
| | | sebagian kuning | kuning | | sebagian kuning | sebagian kuning |
| | | | | | | |
| 3. | Hijau tua | Hijau tua | Hijau tua sebagian | Hijau muda | Hijau muda | Hijau muda |
| | | sebagian kuning | kuning | | sebagian kuning | sebagian kuning |
| | | | | | | |

1. Pengamatan Kondisi Fisik Tumbuhan



Keterangan

A1 : S1 (1)

A2 : S1 (2)

A3 : S1 (3)

B1 : S2 (1)

B2 : S2 (2)

B3 : S2 (3)

C1 : S0 (1) pemaparan 5 hari

C2 : S0 (2) pemaparan 5 hari

C3 : S0 (3) pemaparan 5 hari D2 : S0 (2) pemaparan 10 hari
 D1 : S0 (1) pemaparan 10 hari D3 : S0 (3) pemaparan 10 hari

Tabel 4.5 Pengamatan berat basah tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle

| No | Berat Basah Tumbuhan | | |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | S ₀ | S ₁ | S ₂ |
| 1. | 15 gr | 14 gr ^a | 18 gr ^b |
| 2. | 15 gr | 13 gr ^a | 20 gr ^b |
| 3. | 15 gr | 14 gr ^a | 20 gr ^b |
| Rata-rata | 15 gr | 13,7 gr ^a | 19,3 gr ^b |

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan signifikan pengaruh fitoremediasi terhadap berat basah tumbuhan.

Sebagai data pembanding dengan warna pada daun, batang serta berat basah tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dengan pemaparan menggunakan aquades dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengamatan Data Perbandingan Warna Daun, Batang dan Berat Basah Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle Pada S₀ dengan Perlakuan 5 dan 10 Hari.

| | Ulangan | Warna daun | Warna batang | Berat basah | Rata-rata |
|--------------------------|---------|------------|--------------|-------------|-----------|
| S ₀ (5 hari) | 1. | Hijau tua | Hijau muda | 15 gr | 16 gr |
| | 2. | Hijau tua | Hijau muda | 17 gr | |
| | 3. | Hijau tua | Hijau muda | 16 gr | |
| S ₀ (10 hari) | 1. | Hijau tua | Hijau muda | 18 gr | 19,7gr |
| | 2. | Hijau tua | Hijau muda | 20 gr | |
| | 3. | Hijau tua | Hijau muda | 21 gr | |

B. Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil uji pendahuluan yang tertera pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 menunjukkan kandungan besi (Fe) Sungai Kaligarang yang diambil tanggal 10 Oktober 2023 (musim kemarau) yakni 0,6246 mg/L setelah dilakukan pengujian menggunakan spektrofotometri serapan atom (SSA). Hasil pengukuran tersebut mempunyai perbedaan dengan hasil kandungan besi (Fe) pada pengambilan sampel tanggal 25 Oktober 2023 (musim penghujan) yakni 1,1222 mg/L. Tingginya kandungan Fe pada musim penghujan tersebut terjadi akibat terbentuknya air lindi yang dipengaruhi oleh air hujan, dimana saat musim penghujan jumlah air lindi lebih tinggi dibandingkan pada saat musim kemarau (Faesal, 2022). Tingginya kandungan logam berat termasuk besi (Fe) saat musim penghujan diduga karena aliran air lindi TPA jatibarang di wilayah buangan air lindi bagian hulu sungai kreo membawa logam (Fe) pada aliran sungai kreo dan menyatu dengan aliran Sungai Kaligarang disaat musim penghujan (Wiharyanto, 2008).

Kandungan besi (Fe) sebelum fitoremediasi menunjukkan hasil melebihi ambang batas yakni 0,6246 mg/L dan 1,1222 mg/L. Menurut PP. No. 22 Tahun 2021 Kelas 1 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/2010 tentang

Persyaratan Kualitas Air Minum, kandungan besi (Fe) mempunyai ambang batas di angka 0,3 mg/L. Tingginya kandungan besi (Fe) terjadi karena wilayah daerah aliran Sungai Kaligarang yang digunakan dalam penelitian ini adalah wilayah hilir sungai. Sungai Kaligarang bagian hilir didominasi dengan tingkat penduduk yang cenderung padat, sehingga mengakibatkan pemukiman penduduk pun menjadi lebih tinggi di sekitar sungai dibandingkan wilayah hulu yang didominasi dengan wilayah pertanian. DAS kaligarang wilayah Semarang kota juga termasuk kategori tercemar sedang (Rahmawati & Siwiendrayanti., 2023). Tingginya tingkat penduduk di sekitar daerah aliran Sungai Kaligarang ini diduga menyebabkan kandungan besi (Fe) dalam air Sungai Kaligarang pun melebihi ambang batas.

Kandungan besi (Fe) setelah fitoremediasi pada perlakuan S_1 dengan 3 kali pengulangan menunjukkan hasil rata-rata 0,1683 mg/L, sedangkan kandungan besi (Fe) pada perlakuan S_2 menunjukkan hasil rata-rata 0,7665 mg/L. Kedua data tersebut menunjukkan terjadinya penurunan kandungan besi (Fe) yang semula bernilai 1,1222 mg/L, mengalami penurunan sebesar 0,9539 mg/L pada perlakuan S_1 dan penurunan sebesar 0,3557 mg/L pada perlakuan S_2 . Hal tersebut menunjukkan bahwa tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dengan waktu pemaparan 5 hari (S_1) dalam sampel air Sungai Kaligarang mempunyai kemampuan

akumulasi logam berat besi (Fe) lebih tinggi dibandingkan waktu pemaparan 10 hari (S₂). Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mempunyai kemampuan penyerapan logam besi (Fe) yang baik, sehingga dapat dikatakan sebagai salah satu tumbuhan fitoremediator karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam besi (Fe) dalam jaringan tubuhnya.

Fitoremediasi logam besi (Fe) oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle serapan paling tinggi ada pada perlakuan S₁ dengan nilai penurunan kandungan sisa logam besi (Fe) dalam air yakni 0,9539 mg/L. Berbeda halnya dengan perlakuan S₂ yang menunjukkan sisa kandungan Fe dalam air yang lebih tinggi, karena hanya mengalami penurunan sebesar 0,3557 mg/L. Hal ini terjadi karena tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle pada titik tertentu akan mengalami kejenuhan, yang diduga karena pada hari sebelumnya tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle telah menyerap hampir seluruh kandungan Fe pada air secara maksimal, sehingga pada hari ke-10 zat zat yang terserap menjadi menumpuk, dan penyerapannya pun menjadi terhambat (Mutmainah *et al.* 2015). Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses yakni, Penyerapan logam oleh akar, Translokasi logam dari akar menuju bagian tumbuhan lain, dan Lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme (Eko Purnomo *et al.*, 2023)

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan Mann-Whitney Test dari perlakuan pemaparan 5 hari (S_1) dan 10 hari (S_2) menunjukkan nilai yang signifikan pengaruh fitoremediasi terhadap kandungan besi (Fe). Nilai signifikansi menunjukkan angka $0,050 \leq 0,050$. Berdasarkan dari data tersebut menunjukkan nilai yang tidak lebih dari 0,050, sehingga dapat disimpulkan bahwa fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini Menunjukkan bahwa waktu pemaparan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle berpengaruh signifikan terhadap akumulasi logam berat besi (Fe) pada air baku Sungai Kaligarang.

Pengaruh signifikansi perbedaan waktu pemaparan selama fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla verticillata*, sejalan dengan penelitian dari Aqli (2019) dimana waktu pemaparan selama 1,3,5 dan 7 hari terhadap larutan logam CuSO_4 dengan konsentrasi awal 3 mg/L menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan antara lama waktu pemaparan terhadap penyerapan logam Cu oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* dengan nilai statistik $0,0322 < 0,050$. Pernyataan tersebut juga serupa dengan penelitian dari Aulia, (2020) dimana waktu pemaparan 5, 10, dan 15 hari menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan antara lama waktu pemaparan terhadap penurunan kandungan Fe oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* dengan nilai statistik $0,006 < 0,050$.

Derajat keasaman (pH) menjadi salah satu objek pengukuran yang cukup penting dalam penelitian ini. Pengukuran nilai pH dalam penelitian ini berpengaruh terhadap pertumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, dimana hasil pengukuran pH berdasarkan tabel 4.3, perlakuan S_1 dengan 3 kali pengulangan mempunyai nilai rata-rata 8,63, sedangkan perlakuan S_2 mempunyai nilai rata-rata 8,77. Kedua data tersebut menunjukkan angka yang masih dalam kategori aman. Sesuai dengan PP. No. 22 Tahun 2021 Kelas 1 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dengan kandungan pH berkisar antara 6-9.

Kenaikan pH selama proses fitoremediasi yang semula 7,72 menjadi menjadi 8,63 pada perlakuan S_1 dan 8,77 pada perlakuan S_2 dapat disebabkan karena aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Fotosintesis akan meningkatkan O_2 dalam air yang menyebabkan proses degradasi bahan organik menjadi lebih cepat. Ketika bahan organik menurun, asam karbonat dari proses pendifusian CO_2 dengan air ikut berkurang sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan nilai pH dalam air (Safitri *et al.*, 2019). Menurut Prasetyo (2022) terjadinya perubahan nilai pH pada air berpengaruh nyata terhadap proses kimia, fisika maupun biologi terhadap organisme yang ada di dalamnya. Angka pH netral berada di angka 7, pH asam kisaran angka 1-7, dan pH

basa di kisaran angka 7-14. Putra (2019) menyebutkan apabila nilai pH yang berada dalam air kurang dari 6,5 akan dapat menyebabkan racun dan juga kelarutan logam Fe lebih tinggi, sehingga apabila terjadi reaksi dengan air akan terbentuk ion ferro dan ferri dimana ion ferri akan mengendap dan tidak larut dalam air yang menyebabkan air menjadi berubah warna, berbau dan berasa.

TDS (*Total Dissolved Solid*) merupakan salah satu parameter analisis kondisi fisik air dengan menentukan jumlah padatan terlarut yang ada di dalam air yang dapat menghasilkan perubahan warna, bau, rasa, serta mengandung zat kimia yang bersifat racun (Ridwan *et al.*, 2018). Kandungan TDS maksimal adalah 1000 mg/L menurut PP. No. 22 Tahun 2021 Kelas 1 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Padatan terlarut di dalam perairan alami umumnya terdiri dari zat kimia meliputi fosfat, ammonia, nitrogen, surfaktan, serta padatan tersuspensi maupun terlarut (Kustiyaningsih & Irawanto, 2020). Apabila nilai padatan terlarut mempunyai kandungan berlebih dapat meningkatkan kekeruhan air yang dapat menghalangi masuknya intensitas cahaya ke dalam air serta dapat mencemari badan air.

Hasil pengukuran kandungan TDS pada Tabel 4.3 perlakuan S₁ menunjukkan nilai yang semula 220 ppm menjadi 143 ppm sedangkan pada perlakuan S₂ menunjukkan

nilai 157 ppm. kandungan tersebut mengalami penurunan setelah dilakukan proses fitoremediasi. Penurunan kandungan TDS disebabkan dari penyerapan zat padat terlarut akar yang dilakukan oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Sudiro & Agnes (2013) menyatakan bahwa *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle memanfaatkan seluruh bagiannya meliputi daun, akar, dan juga batang dalam proses penyerapan zat padat terlarut dalam air. Hasil penurunan tersebut sejalan dengan penelitian dari Maya Safitri *et al.*, (2019) bahwa perlakuan fitoremediasi selama 14 hari menggunakan *Lemna minor* L. dan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle pada air limbah laundry mampu menurunkan kandungan TDS yang semula 796 mg/L menjadi 764 - 779,33 mg/L dengan rentang presentase penurunan 2,09% - 4,02%.

Suhu selama proses fitoremediasi dengan 3 kali pengulangan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Perlakuan S_1 mempunyai nilai rata-rata 32 °C, dan perlakuan S_2 mempunyai nilai rata-rata 33,7 °C. Suhu air normalnya ada di kisaran kurang lebih 3°C dari suhu kamar yakni 27°C (Lestari & Aminatun. 2018). Suhu optimum untuk kegiatan fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle ada dikisaran 28 °C hingga 30 °C tetapi masih mampu beradaptasi hingga suhu 43 °C untuk berfotosintesis, menurut Saputri (2022) menyatakan aktivitas fotosintesis pada tumbuhan tidak akan berlangsung apabila

suhu berada dibawah 5 °C dan diatas 50 °C. Oleh karena itu dalam proses fitoremediasi yang telah dilakukan suhu tidak terlalu berpengaruh terhadap proses fotosintesis tumbuhan. Akan tetapi tingginya suhu air pada saat fitoremediasi dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya, terutama oleh kondisi angin, atmosfer, cuaca dan intensitas cahaya matahari yang masuk ke laut (Patty, S. I., & Huwae, R. 2023).

Kota Semarang menjadi salah satu kota yang mempunyai dampak suhu panas ekstrem pada tahun 2023, dikutip berdasarkan informasi dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tanggal 30 september 2023, menyatakan bahwa tutupan awan terutama di wilayah jawa hingga nusa tenggara sangat sedikit, oleh karenanya penyinaran matahari tidak dapat dihalangi oleh awan di atmosfer sehingga menyebabkan suhu di siang hari terasa sangat terik hingga mencapai suhu tertinggi yakni 38°C. Sehingga selama proses fitoremediasi pun mempunyai nilai suhu yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan suhu kamar yang biasanya kurang lebih 3°C dari suhu 27°C, dengan nilai rata rata 32 °C pada S₁ dan 33,7 °C pada S₂.

Pengamatan kondisi fisik tumbuhan yang tertera pada Tabel 4.4 mengenai pengamatan warna daun dan warna batang tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle menunjukkan adanya perubahan warna setelah dilakukan proses fitoremediasi. Warna daun tumbuhan *Hydrilla*

verticillata (L.f.) Royle yang sebelumnya berwarna hijau tua segar berubah menjadi hijau tua dengan beberapa bagian tumbuhannya mengalami perubahan menjadi kekuningan pada kedua perlakuan baik pemaparan S_1 maupun S_2 . Perubahan warna juga terjadi pada batang tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle yang semula berwarna hijau muda menjadi hijau muda dengan sebagian berubah kekuningan baik pada pemaparan S_1 maupun S_2 .

Terjadinya perubahan warna ini serupa dengan penelitian dari Aulia (2020) yang dalam penelitiannya warna daun dan batang *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dari hijau segar menjadi hijau kecoklatan pada pengamatan hari ke-10 dan hari ke-15. Perubahan warna pada kondisi fisik tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle menunjukkan adanya gejala klorosis yang terjadi akibat beban polutan yang relatif tinggi sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kualitas dan kuantitas klorofil pada tumbuhan (Putriarti *et al.*, 2021).

Akibat dari adanya gejala klorosis pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, berdampak juga terhadap berat basah tumbuhan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5. Pengamatan berat basah tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. Data tersebut menunjukkan terjadinya penurunan berat basah tumbuhan, yang semula 15 gr mengalami penurunan dalam ulangan yang dilakukan berturut turut

menjadi 14 gr, 13 gr, dan 14 gr selama perlakuan fitoremediasi pada pemaparan 5 hari (S_1). Berbeda halnya dengan perlakuan fitoremediasi pada pemaparan 10 hari (S_2) menunjukkan hasil peningkatan dalam ulangan yang dilakukan berturut turut 18gr, 20gr, dan 20gr. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle mengalami perkembangbiakan yang cukup pesat (Lestari & Aminatun. 2018), dan mampu mentoleransi lingkungan air dengan kandungan besi (Fe) yang melebihi batas. Hal ini juga menunjukkan bahwa air Sungai Kaligarang tidak berbahaya hingga tidak mengakibatkan kematian pada *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.

Berdasarkan uji statistik menunjukkan waktu pemaparan signifikan terhadap penyerapan kandungan besi (Fe) selama proses fitoremediasi. Fe yang terserap oleh tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle berpengaruh terhadap berat basah tumbuhan *Hydrilla verticillata* itu sendiri yang ditunjukkan dengan nilai signifikansi $0,043 < 0,050$. Semakin lama waktu pemaparan sampel tumbuhan dengan air, akumulasi Fe oleh tumbuhan akan semakin naik hingga batas tertentu yang dapat di tolerir oleh tumbuhan Syahreza (2012) dalam Nurlina (2016). Sehingga respon tumbuhan terhadap akumulasi logam Fe pun menunjukkan berat yang berbeda antara pemaparan 5 hari dan 10 hari. Pemaparan 5 hari menunjukkan tumbuhan mempunyai berat

yang lebih ringan karena penyerapan Fe lebih tinggi dibandingkan pemaparan 10 hari. Hal ini disebabkan karena ketika tumbuhan mengalami kejenuhan, tumbuhan akan tetap dapat beradaptasi pada lingkungan tercemar logam dengan menggugurkan kembali akumulasi logam yang terserap. Logam yang digugurkan tersebut akan mengendap bersama substrat dalam bentuk yang lebih sederhana, tidak dalam bentuk logam terlarut seperti yang sebelumnya (Nurlina *et al.*, 2016)

Data dari Tabel 4.6 menunjukkan bahwa perlakuan pemaparan terhadap sampel air aquades pada waktu 5 dan 10 hari tidak menunjukkan gejala klorosis, warna daun serta batang tidak mengalami perubahan dan masih tumbuh segar. Berat basah tumbuhan mengalami kenaikan pada perlakuan waktu pemaparan baik 5 dan 10 hari berturut turut 16 gr dan 19,7 gr. Khotimah (2018) menyatakan bahwa air aquades merupakan air yang dihasilkan dari proses penyulingan, bebas dari zat pengotor, murni serta dianggap menjadi pelarut paling baik dibandingkan dengan cairan lainnya. Karakteristik airnya yang jernih, bersih, tidak berasa, tidak berbau dan bebas dari zat kontaminan ini lah yang menyebabkan tumbuhan dapat tumbuh dengan baik tanpa adanya zat zat yang mengganggu pertumbuhan mereka. Sehingga pada percobaan yang dilakukan pun tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle tidak mengalami gejala

klorosis seperti pemaparan pada sampel air Sungai Kaligarang. .

C. Keterbatasan penelitian

Berdasarkan data penelitian yang sudah dilakukan, terdapat beberapa keterbatasan yang menjadi faktor kurangnya hasil penelitian ini, yang diharapkan dapat menjadi perhatian khusus bagi peneliti berikutnya untuk dapat menambahkan informasi tertentu sebagai penyempurna hasil penelitian selanjutnya. Keterbatasan tersebut meliputi :

1. Dalam proses fitoremediasi yang dilakukan hanya menggunakan 2 perlakuan waktu yang berbeda, sehingga hasil penelitian belum menunjukkan perbedaan signifikan terkait daya hidup agen tumbuhan yang digunakan.
2. Belum dilakukan pengujian kandungan besi (Fe) terhadap tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, sehingga data yang dihasilkan belum secara maksimal mengetahui kemampuan fitoremediasi dari tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.
3. Pengaruh faktor cuaca dalam sampel air Sungai Kaligarang juga mempengaruhi perbedaan kandungan besi (Fe) di dalamnya, dan penelitian ini hanya terbatas pada sampel air pada saat musim penghujan saja tidak mencakup variasi kondisi cuaca secara keseluruhan.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. SIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan, serta hasil penelitian yang sudah dituliskan maka kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle berpengaruh signifikan terhadap penurunan kandungan besi (Fe) pada air Sungai Kaligarang. Dengan nilai signifikansi statistik $0,050 \leq 0,050$. Kedua perlakuan waktu menunjukkan penurunan kandungan besi (Fe) sebesar 0,9539 mg/L pada pemaparan 5 hari, dan 0,3557 mg/L pada pemaparan 10 hari.
2. Perubahan kondisi morfologi *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle dalam meremediasi pencemaran besi (Fe) pada Sungai Kaligarang menunjukkan gejala klorosis. Batang dan daun tanaman mengalami perubahan warna menjadi kekuningan. Pada perlakuan 5 hari (S_1) menunjukkan terjadinya kerontokan pada daun tumbuhan dan juga berat basah tumbuhan mengalami penurunan, sedangkan pada waktu pemaparan 10 hari berat basah tumbuhan mengalami kenaikan.

B. SARAN

Berdasarkan terdapatnya beberapa keterbatasan pada penelitian yang telah dilakukan ini, maka saran untuk penelitian berikutnya, antara lain :

1. Dapat dijadikan sebagai referensi penelitian/upaya keberlanjutan untuk mengatasi pencemaran sungai kaligarang dengan waktu penyerapan logam Fe optimal yang dilakukan oleh *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle adalah 5 hari.
2. Dapat dilakukan perbandingan hasil fitoremediasi pada variasi kondisi musim secara keseluruhan (kemarau & penghujan) untuk dapat mengetahui perbedaan hasil penyerapan logam maksimal pada perlakuan pemaparan variasi waktu yang sama.
3. Perlu dilakukan pengembangan penelitian terhadap pengujian kandungan besi (Fe) pada tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, supaya hasil data menjadi lebih maksimal untuk mengetahui kemampuan fitoremediasi tumbuhan *Hydrilla* dalam mengakumulasi logam besi (Fe) pada air Sungai Kaligarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afiyah, N., Sa'adah, L., Putri Handayani, P., & Laelasari, I. (2020). Identifikasi Biodiversitas Tumbuhan Pada Lingkungan Akuatik di Sungai Kabupaten Jepara. *Journal Of Biology Education*, 3(1), 32.
- Al Farobi, W. A. (2019). Fitoremediasi Oleh *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Konsentrasi Logam Timbal (Pb). Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Amrullah, D. F., Bambang, Y., & Sri,S. (2013). Studi Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Dalam Air, Sedimen dan Jaringan Lunak Kerang Darah (*Anadara granosa* Linn) di Sungai Morosari dan Sungai Gonjol Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *Journal Of Marine Research*, 2(2), 45–54.
- Aulia, M (2020). Fitoremediasi Logam Berat Pb dan Fe Pada Limbah Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Menggunakan *Hydrilla verticillata* dari Danau Ranu Grati Pasuruan. Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Azizah, M & Maslahat, M. (2021). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) di dalam

- Tubuh Ikan Wader (*Barbodes binotatus*) dan Air Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor. *LIMNOTEK Perairan Darat Tropis di Indonesia* 28(2), 83–93.
- Badan Standar Nasional Indonesia (2009). Air dan air limbah – Bagian 4: Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala. Badan Standardisasi Nasional, 6989.4, 1-16
- Etnovanese, N. C. K., Aprillia, T. M., Suwarno, D., & Setiyadi, B. (2021). Analisis Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang sebagai Sumber Air Baku PDAM. *G-Smart*, 3(1), 47.
- Faisal, R. A. (2022). Tugas Akhir. Uji Kandungan Logam Berat Cu, Fe , dan Pb Menggunakan Metode Atomic Absorption Spectrophotometry (Aas) Pada Air Lindi Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Febrianto, R., Suwirnen., dan Syamsuardi (2015). Aklimatisasi Planlet Kantong Semar (*Nepenthes graciis* Korth.) pada Berbagai Campuran Media Tanam Tanah Ultisol. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 4(2): 96- 10.
- Ferdiansah, I. B., & Ubaidillah, M. (2023). Effectiveness of *Hydrilla verticillata* as Bioaccumulator Against Soil Contamination in Flooded Rice Cultivation. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(4), 641–649.
- Handani, S. W., Utami, S., & Kusmira, D. (2017). Visualisasi pencemaran air menggunakan media animasi infografis.

- Jurnal Telematika, 10(1), 147–162.
- Harjanti, I. M., & Anggraini, P. (2020). Pengelolaan Sampah Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang, Kota Semarang. *Jurnal Planologi*, 17(2), 185.
- Herlambang, D (2023). Fenomena Cuaca Panas Terik Terjadi Beberapa Hari Terakhir <https://www.bmkg.go.id/press-release/?p=bmkg-fenomena-cuaca-panas-terik-terjadi-beberapa-hari-terakhir-ini-penjelasaannya&tag=press-release&lang=ID> yang diakses pada 13 November 2023.
- Hidayatullah A. (2021). Pengaruh Limbah Rumah Tangga Dan Natrium Terhadap Pertumbuhan Hydrilla verticillata. [Disertasi]. Riau (ID): Universitas Islam Riau. <https://tanwir.id/sebagian-manusia-perusak-bumi-kajian-tafsir-qs-ar-rum-30-41/>, diakses 7 Juli 2023.
- <https://semarangkota.bps.go.id/indicator/12/48/1/kepadatan-penduduk.html>, diakses pada 16 Juli 2023.
- Setiawan, D (2022). Imbas TPA Jatibarang Semarang Overload, Sungai Kaligarang Tercemar, Kebutuhan Air Bersih Terancam. <https://jateng.tribunnews.com> Diakses pada 7 Juni 2023.
- Khotimah, H., Anggraeni, E. W., & Setianingsih, A. (2018). Karakterisasi Hasil Pengolahan Air Menggunakan Alat Destilasi. *Jurnal Chemurgy*, 1(2), 34.
- Kustiyarningsih, E., & Irawanto, R. (2020). Pengukuran Total Dissolved Solid (Tds) Dalam Fitoremediasi Deterjen

- Dengan Tumbuhan *Sagittaria lancifolia*. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 143–148.
- Lazulva & Apriani, S. (2012). Analisa Kandungan Logam Berat Besi (Fe) dan Kromium (Cr) Pada Sumur Artesis Dan Sumur Penduduk (Cincin) Di Kelurahan Rejo Sari Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru. *Photon: Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 3(1), 23–30.
- Lucyan, A (2021). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan Naoh dan Fitoremediasi *Hydrilla Verticillata* Untuk Menurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) Dan Nikel (Ni). Skripsi, Program Studi Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
- Lestari, Y. P., & Aminatun, T. (2018). Efektivitas Variasi Biomassa Tanaman *Hydrilla verticillata* dalam Fitoremediasi Limbah Batik. *Jurnal Prodi Biologi*, 7(4). <https://journal.student.uny.ac.id/ojs/index.php/kingdom/article/view/12542/12088>
- Aqli, R. M. (2019). Fitoremediasi Oleh Tumbuhan *Hydrilla* (*Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan Dengan Variasi Konsentrasi Logam Tembaga (Cu). Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

- Martin, A. N. (2019). Fitoremediasi Logam Besi (Fe) pada Air Eks Galian Pasir Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Lampung Bandar Lampung.
- Masita, A. R., Syafiuddin, A., Aan Adriansyah, A., & Setianto, B. (2022). Fitoremediasi Air Limbah Tempe Menggunakan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*). *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(5), 564–569. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>
- Maryana, M., Oktorina, S., Auvaria, S. W., & Setyowati, R. diah N. (2020). Fitoremediasi Menggunakan Variasi Kombinasi Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta* M) dan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L) dalam Menurunkan Besi (Fe) dengan Sistem Batch. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 29–36. <https://doi.org/10.29080/alard.v6i1.976>
- Murraya, Taufiq-Spj, N., & Supriyantini, E. (2015). Content of Heavy Metal Iron (Fe) in Water, Sediment, and Green Shellfish (*Perna viridis*) in Tanjung Emas Waters, Semarang. *Tropical Marine Journal*, 18(1), 133–14.
- Mutmainnah, F., Arifranil & Suheryanto (2015). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Dengan Menggunakan *Hydrilla verticillata* dan *Najas Indica*. *Jurnal Penelitian Sains*, 12(2), 90.

- Nisa, S. A. (2021). Laju Adsorpsi Dan Pengaruh Ph Terhadap Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) Menggunakan Adsorben *Hydrilla verticillata* Termodifikasi Asam Sitrat. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi Uin Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Nurlina, Sri Suhadiyah, & Muh Ruslan Umar. (2016). Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kiapu *Pistia stratiotes* L. dari Air Sumur Sekitar Workshop Unhas. Seminar Nasional from Basic Science to Comprehensive Education, 151–155.
- Patty, S. I., & Huwae, R. (2023). Temperature, Salinity, and Dissolved Oxygen West and East seasons in the waters of Amurang Bay, North Sulawesi. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 11(1), 196–205.
- Pahlefi, R. (2014). Estimasi Nilai Eksternalitas Dari Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (Studi Kasus TPA Rawa Kucing Kota Tangerang). Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Bogor.
- Parulian, A. (2009). "Monitoring dan Analisis Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) Pada Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal". Medan. Repositori Universitas Sumatera Utara.
- Permenkes RI. (2010). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tentang

- Persyaratan Kualitas Air Minum. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (PERMENKES).
- Pradhana, A., Sutrisno, E., & Nugraha, W. D. (2014). Analisis Kualitas Air Sungai Bringin Kota Semarang Menggunakan Metode Indeks Pencemaran. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1-14.
- Pratiwi, D. Y. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59-65.
- Prasetyo, H. D., Afida, N. F., Anindya, K. A., Nazirah, Y., & Viska, P. (2022). Pemanfaatan *Salvinia molesta*, *Marsilea crenata* dan *Azolla pinnata* Sebagai Agent Fitoremediasi Insektisida Diazinon. *Biotropical Research and Nature Technology*, 1(1), 7-13.
- Putriarti, D., Mudloifah, I., Rosyidah, N. F., & Putri, M. (2021). Kemampuan *Hydrilla verticillata* Sebagai Agen Fitoremediasi Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) Detergen. *Prosiding SEMNAS BIO 2021 Universitas Negeri Padang*, ISSN : 2809-8447.
- Puspita, U. R., Siregar, A. S., & Hidayati, dan N. V. (2011). Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) Yang Terdapat Pada Limbah Cair Industri Batik. *Berkala Perikanan Terubuk*, 39(1), 58 -64, ISSN 0126 - 4265.

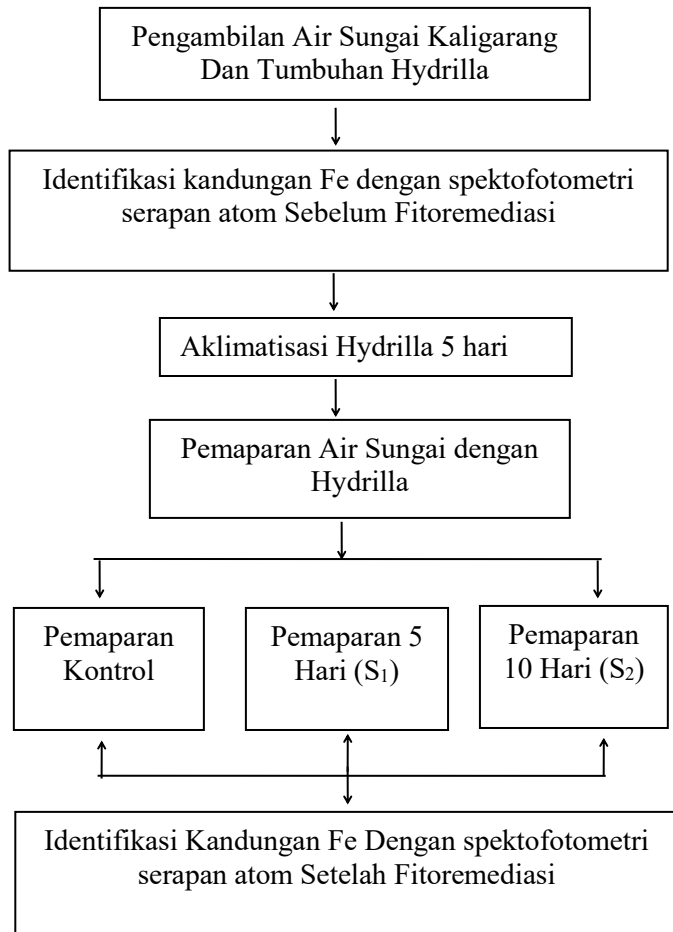
- Putra, A. Y., & Mairizki, F. 2019. Analisis Warna, Derajat Keasaman dan kandungan Logam Besi Air Tanah Kecamatan Kubu Babussalam, Rokan Hilir, Riau. *J. Katalisator*, 4(1): 9-14.
- Purnomo, E., Febriyansah, A., Ainia, M., Setyaningrum, S.A., Juwarsyah, A., Fatimah, N. (2023). Quo vadis antara industrialisasi dan kesehatan Pemantauan Kualitas Perairan menggunakan Indikator Biologi. Semarang: CV. Alinea Media Dipantara.
- Rahmawati, S. D., & Siwiendrayanti, A. (2023). Analisis Parameter Kunci Kualitas Air Sungai Kaligarang Menggunakan Metode Water Pollution Index Shanti. *Higeia Journal of Public Health Research and Development*, 1(3), 625-634.
- Ridwan, M., Diah, A., Larasati, A., & Anggraini, S. P. A. (2018). Uji Kualitas Air Sungai Raci Secara Perspektif Berdasarkan Parameter TDS (Total Dissolved Solid). *Sentikuin*, 1(1), 1-5.
- Ruhmawati, T., Sukandar, D., Karmini, M., & Roni S., T. (2017). Penurunan Kadar Total Suspended Solid (TSS) Air Limbah Pabrik Tahu Dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Permukiman*, 12(1), 25.
- Safitri, M., Mukarlina, T. R. S. (2019). Pemanfaatan Lemna minor L . dan *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle untuk

- Memperbaiki Kualitas Air Limbah Laundry. *Jurnal Protobiont*, 8(1), 39–46.
- Saputra, W. I., Hasyim, M., & Junus, F. G. (2020). Perspektif Media Prancis dalam Pemberitaan Pencemaran Air di Indonesia. 13(1), 19–34.
- Saputri, N. V. C., Surbakti, D. K. B., Tarmizi, A. D., Supriatno, B., & Anggraeni, S. (2022). Desain Eksperimen Fotosintesis Pengaruh Suhu Bermuatan Literasi Kuantitatif. *Jurnal Basicedu*, 6(4), 7608–7618.
- Silalahi, J. (2010). Analisis Kualitas Air dan Hubungannya dengan Keanekaragaman Vegetasi Akuatik di Perairan Balige Danau Toba. Tesis. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sidiq, T. U., & Maruf, A. (2018). Analisis Eksternalitas TPA Jatibarang terhadap Masyarakat di Dusun Bambankerep. *Journal of Economics Research and Social Sciences*, 2(1), 44–51.
- Sudiro dan Agnes, T.A. 2013. Kajian efektifitas tanaman air Lemna minor dan Hydrilla verticillata dalam mereduksi BOD dan COD sebagai upaya perbaikan kualitas limbah cair industri tahu. *Jurnal Spectra*, Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Supriyadi, Khumaedi, & Panca, R.N. (2013). Pola Sebaran Limbah TPA Studi Kasus Di Jatibarang Semarang. *J. Manusia dan Lingkungan*, 20 (1), 49-56.

- Universitas Esa Unggul. (2017). Modul 10 Uji Mann Whitney (Kode : MIK411). Prodi S1 Manajemen Informasi Kesehatan, 10(4), 1-17.
- Wiharyanto, O., & Bagus Priyambada, I. (2008). Pola Penyebaran Limpasan Logam Lindi Tpa Jatibarang Pada Air Sungai Kreo. In Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan (Vol. 4, Issue 1, pp. 56-61).
- Yudo, S. (2006). Kondisi Pencemaran Logam Berat Di Perairan Sungai Jakarta. Pusat Teknologi Lingkungan-BPPT. Jurnal Air Indonesia 2(1), 1-15.
- Zulsusyanto. 2015. Kinerja Produksi Benih Ikan Nila *Oreochromis niloticus* Ukuran 4-5 cm dengan *Hydrilla verticillata* sebagai Fitoremediator, Skripsi (Tidak dipublikasikan). Departemen Budidaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, Bogor.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Penelitian



Lampiran 2. Diagram Alir

1. Pengambilan sampel air Sungai Kaligarang

Air Sungai Kaligarang

- ├─ Diambil sebanyak 10 liter
- ├─ Di masukkan ke dalam jerigen kapasitas 5 liter
- └─ Disimpan suhu ruang

2. Uji pendahuluan

Air Sungai Kaligarang sebelum fitoremediasi

- ├─ Diambil sebanyak 50 mL ke dalam gelas beaker
- ├─ Ditambahkan 5 mL HNO_3 65%
- ├─ Melakukan destruksi di atas pemanasan hot plate 100°C - 150°C dalam lemari asam
- ├─ Diamkan menguap hingga menyisakan 15- 20 mL air
- ├─ Disaring
- ├─ Dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL hingga tanda tera
- └─ Filtrat diuji menggunakan instrumen SSA dengan panjang gelombang Fe 248,3

Hasil

3. Aklimatisasi tumbuhan *Hydrilla verticillata*

Aquades

- ├─ Dimasukkan 10 liter aquades dalam bak plastik
- ├─ Dimasukkan Hydrilla ke dalam bak berisi aquades
- ├─ Dimasukkan aerator
- └─ Diamkan selama 5 hari

Hasil

4. Pemaparan tumbuhan fitoremediasi pada air Sungai

Kaligarang

Hydrilla verticillata

- Ditimbang dengan berat 15 gr
- Dimasukkan *Hydrilla* ke dalam toples yang telah berisi air sungai 1 liter pada perlakuan S_0, S_1, S_2
- Dipaparkan selama 5 dan 10 hari dengan 3 kali pengulangan

Hasil

5. Pengujian sampel air setelah fitoremediasi

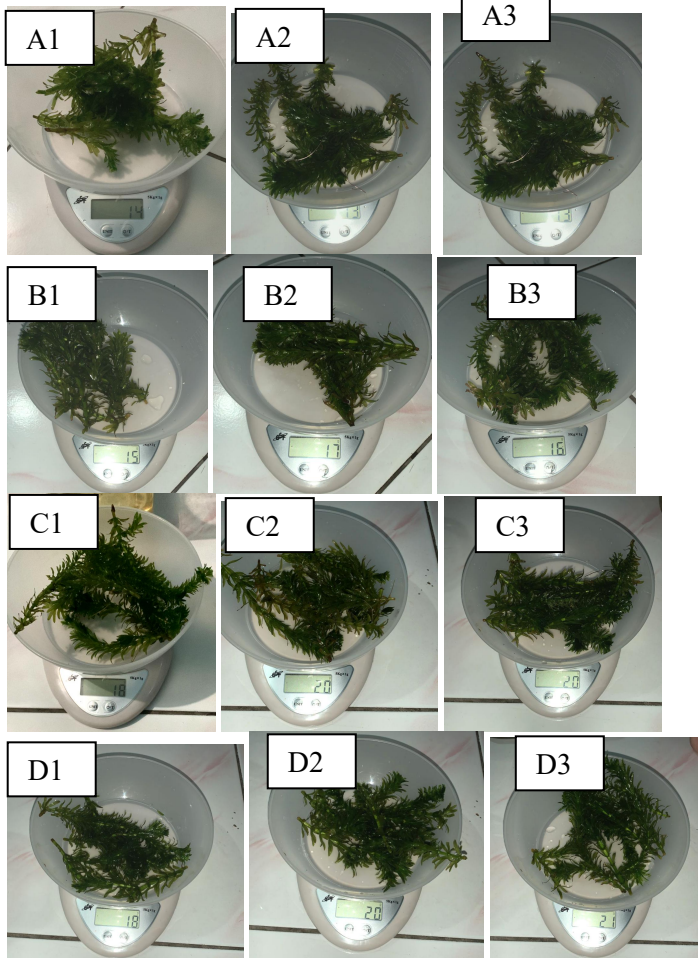
Air sungai setelah fitoremediasi pada S_1 dan S_2

- Diambil sebanyak 50 mL ke dalam gelas beaker
- Ditambahkan 5 mL HNO_3 65%
- Melakukan destruksi di atas pemanasan hot plate $100^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$ dalam lemari asam
- Diamkan menguap hingga menyisakan 15- 20 mL air
- Disaring
- Dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL hingga tanda tera
- Filtrat diuji menggunakan instrumen SSA dengan panjang gelombang Fe 248,3

Hasil

Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan

1. Pengukuran berat basah tumbuhan



Keterangan :

A1 : S1 (1) pemaparan 5 hari

A2 : S1 (2) pemaparan 5 hari

A3 : S1 (3) pemaparan 5 hari

B1 : S0 (1) pemaparan 5 hari

B2 : S0 (2) pemaparan 5 hari

B3 : S0 (3) pemaparan 5 hari

C1 : S2 (1) pemaparan 10 hari

C2 : S2 (2) pemaparan 10 hari

D3

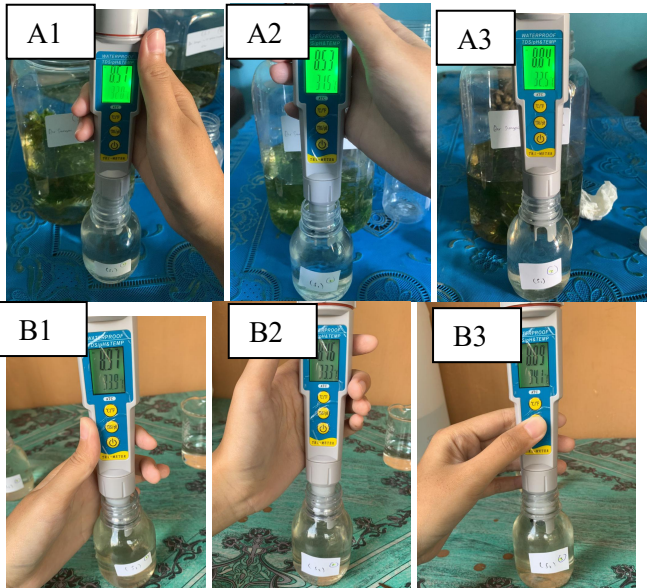
C3 : S2 (3) pemaparan 10 hari

D1 : S0 (1) pemaparan 10 hari

D2 : S0 (1) pemaparan 10 hari

D3 : S0 (1) pemaparan 10 hari

2. Pengukuran nilai pH dan suhu



Keterangan :

A1 : S1 (1)

A2 : S1 (2)

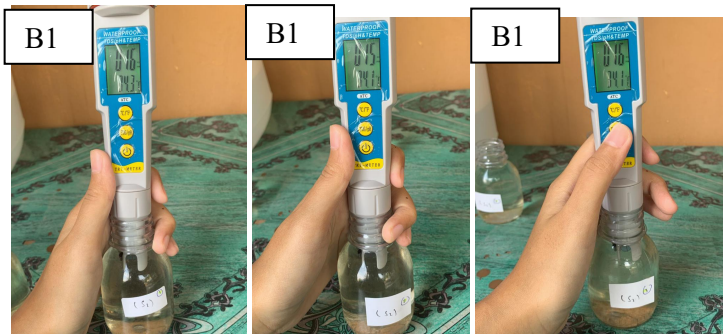
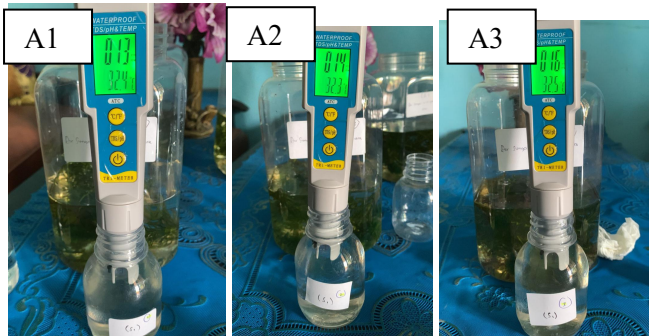
A3 : S1 (3)

B1 : S2 (1)

B2 : S2 (2)

B3 : S2 (3)

3. Pengukuran Zat Padat Terlarut Air



Keterangan :

A1 : S1 (1)

A2 : S1 (2)

A3 : S1 (3)

B1 : S2 (1)

B2 : S2 (2)

B3 : S2 (3)

Lampiran 4. Hasil analisis kandungan Fe menggunakan instrumen SSA

1. Fe musim kemarau

| Sample ID | Signal Abs | Rsd % | Conc mg/L | Corrected Conc mg/L |
|---------------------------|---------------|-------------|--------------------|------------------------|
| Fe Blank | -0,000 | 47,0 | 0,0000 | |
| 1 | -0,000 | | Background: 0,000 | 12/10/2023 13:21:55 |
| 2 | -0,000 | | Background: 0,000 | 12/10/2023 13:22:00 |
| 3 | -0,001 | | Background: 0,001 | 12/10/2023 13:22:04 |
| Fe Standard 1 | 0,015 | 1,0 | 0,2500 | |
| 1 | 0,016 | | Background: -0,000 | 12/10/2023 13:30:38 |
| 2 | 0,015 | | Background: -0,000 | 12/10/2023 13:30:42 |
| 3 | 0,015 | | Background: -0,000 | 12/10/2023 13:30:47 |
| Fe Standard 2 | 0,040 | 0,6 | 0,5000 | |
| 1 | 0,040 | | Background: 0,001 | 12/10/2023 13:23:26 |
| 2 | 0,040 | | Background: 0,001 | 12/10/2023 13:23:30 |
| 3 | 0,040 | | Background: 0,001 | 12/10/2023 13:23:35 |
| Fe Standard 3 | 0,056 | 0,4 | 1,0000 | |
| 1 | 0,056 | | Background: 0,001 | 12/10/2023 13:32:47 |
| 2 | 0,056 | | Background: 0,000 | 12/10/2023 13:32:51 |
| 3 | 0,056 | | Background: 0,000 | 12/10/2023 13:32:55 |
| Fe Standard 4 | 0,112 | 0,2 | 2,0000 | |
| 1 | 0,112 | | Background: 0,002 | 12/10/2023 13:25:36 |
| 2 | 0,112 | | Background: 0,001 | 12/10/2023 13:25:40 |
| 3 | 0,112 | | Background: 0,002 | 12/10/2023 13:25:45 |
| Fe Standard 5 | 0,218 | 0,2 | 4,0000 | |
| 1 | 0,219 | | Background: 0,002 | 12/10/2023 13:34:36 |
| 2 | 0,219 | | Background: 0,002 | 12/10/2023 13:34:40 |
| 3 | 0,218 | | Background: 0,003 | 12/10/2023 13:34:45 |
| Fe K. Kaligarang 1 | 0,038 | 0,3 | 0,6246 | 0,6246 |
| 1 | 0,038 | | Background: 0,002 | 12/10/2023 13:27:39 |
| 2 | 0,038 | | Background: 0,001 | 12/10/2023 13:27:44 |
| 3 | 0,038 | | Background: 0,001 | 12/10/2023 13:27:48 |

2. Fe musim penghujan

| Sample ID | Signal Abs | Rsd % | Conc mg/L | Corrected Conc mg/L |
|-------------------------|---------------|-------------------|---------------|------------------------|
| Fe Blank | -0,000 | >99 | 0,0000 | |
| 1 | 0,000 | Background: 0,000 | | 26/10/2023 15:30:25 |
| 2 | -0,000 | Background: 0,000 | | 26/10/2023 15:30:30 |
| 3 | -0,000 | Background: 0,000 | | 26/10/2023 15:30:34 |
| Fe Standard 1 | 0,015 | 1,9 | 0,2500 | |
| 1 | 0,015 | Background: 0,000 | | 26/10/2023 15:31:05 |
| 2 | 0,014 | Background: 0,000 | | 26/10/2023 15:31:09 |
| 3 | 0,015 | Background: 0,000 | | 26/10/2023 15:31:13 |
| Fe Standard 2 | 0,041 | 0,3 | 0,5000 | |
| 1 | 0,041 | Background: 0,001 | | 26/10/2023 15:31:43 |
| 2 | 0,041 | Background: 0,001 | | 26/10/2023 15:31:47 |
| 3 | 0,041 | Background: 0,001 | | 26/10/2023 15:31:51 |
| Fe Standard 3 | 0,056 | 0,3 | 1,0000 | |
| 1 | 0,055 | Background: 0,002 | | 26/10/2023 15:32:20 |
| 2 | 0,056 | Background: 0,001 | | 26/10/2023 15:32:24 |
| 3 | 0,056 | Background: 0,002 | | 26/10/2023 15:32:29 |
| Fe Standard 4 | 0,111 | 0,1 | 2,0000 | |
| 1 | 0,111 | Background: 0,002 | | 26/10/2023 15:33:05 |
| 2 | 0,111 | Background: 0,002 | | 26/10/2023 15:33:10 |
| 3 | 0,111 | Background: 0,002 | | 26/10/2023 15:33:14 |
| Fe Standard 5 | 0,217 | 0,4 | 4,0000 | |
| 1 | 0,217 | Background: 0,004 | | 26/10/2023 15:33:39 |
| 2 | 0,216 | Background: 0,004 | | 26/10/2023 15:33:43 |
| 3 | 0,217 | Background: 0,003 | | 26/10/2023 15:33:48 |
| Fe P. Kaligarang | 0,064 | 0,6 | 1,1222 | 1,1222 |
| 1 | 0,065 | Background: 0,001 | | 26/10/2023 15:36:24 |
| 2 | 0,064 | Background: 0,001 | | 26/10/2023 15:36:28 |
| 3 | 0,064 | Background: 0,001 | | 26/10/2023 15:36:32 |

3. Fe setelah fitoremediasi pemaparan 5 hari (S1)

| Sample ID | Signal Abs | Rsd % | Conc mg/L | Corrected Conc mg/L |
|----------------------|---------------|-------------------|---------------|------------------------|
| Fe Blank | -0,001 | 22,9 | 0,0000 | |
| 1 | -0,001 | Background: 0,000 | | 02/11/2023 13:48:01 |
| 2 | -0,000 | Background: 0,000 | | 02/11/2023 13:48:06 |
| 3 | -0,001 | Background: 0,000 | | 02/11/2023 13:48:10 |
| Fe Standard 1 | 0,014 | 1,8 | 0,2500 | |
| 1 | 0,014 | Background: 0,000 | | 02/11/2023 13:48:39 |
| 2 | 0,014 | Background: 0,000 | | 02/11/2023 13:48:43 |
| 3 | 0,014 | Background: 0,000 | | 02/11/2023 13:48:47 |
| Fe Standard 2 | 0,031 | 0,7 | 0,5000 | |
| 1 | 0,031 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:59:44 |
| 2 | 0,032 | Background: 0,000 | | 02/11/2023 13:59:48 |
| 3 | 0,031 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:59:52 |
| Fe Standard 3 | 0,055 | 0,5 | 1,0000 | |
| 1 | 0,055 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:49:59 |
| 2 | 0,055 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:50:03 |
| 3 | 0,055 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:50:07 |
| Fe Standard 4 | 0,109 | 0,5 | 2,0000 | |
| 1 | 0,110 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:50:34 |
| 2 | 0,109 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:50:39 |
| 3 | 0,109 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:50:43 |
| Fe Standard 5 | 0,202 | 0,5 | 4,0000 | |
| 1 | 0,201 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:57:09 |
| 2 | 0,201 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:57:13 |
| 3 | 0,203 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:57:17 |
| Fe S1 (1) | 0,014 | 2,0 | 0,2134 | 0,2134 |
| 1 | 0,014 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:51:56 |
| 2 | 0,014 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:52:01 |
| 3 | 0,015 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:52:05 |
| Fe S1 (2) | 0,010 | 0,9 | 0,1311 | 0,1311 |
| 1 | 0,010 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:52:49 |
| 2 | 0,010 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:52:53 |
| 3 | 0,010 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:52:57 |
| Fe S1 (3) | 0,012 | 0,6 | 0,1605 | 0,1605 |
| 1 | 0,012 | Background: 0,002 | | 02/11/2023 13:53:27 |
| 2 | 0,011 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:53:31 |
| 3 | 0,012 | Background: 0,001 | | 02/11/2023 13:53:35 |

4. Fe setelah fitoremediasi pemaparan 10 hari (S2)

| Sample ID | Signal Abs | Rsd % | Conc mg/L | Corrected Conc mg/L |
|----------------------|---------------|-------------|-------------------|------------------------|
| Fe Blank | -0,001 | 10,8 | 0,0000 | |
| 1 | -0,001 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:34:49 |
| 2 | -0,001 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:34:53 |
| 3 | -0,001 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:34:57 |
| Fe Standard 1 | 0,014 | 1,3 | 0,2500 | |
| 1 | 0,014 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:36:09 |
| 2 | 0,014 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:36:14 |
| 3 | 0,014 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:36:18 |
| Fe Standard 2 | 0,031 | 1,0 | 0,5000 | |
| 1 | 0,031 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:36:57 |
| 2 | 0,031 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:37:01 |
| 3 | 0,031 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:37:05 |
| Fe Standard 3 | 0,056 | 0,1 | 1,0000 | |
| 1 | 0,056 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:37:38 |
| 2 | 0,056 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:37:43 |
| 3 | 0,056 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:37:47 |
| Fe Standard 4 | 0,113 | 0,1 | 2,0000 | |
| 1 | 0,113 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:38:16 |
| 2 | 0,112 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:38:20 |
| 3 | 0,113 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:38:24 |
| Fe Standard 5 | 0,210 | 0,5 | 4,0000 | |
| 1 | 0,211 | | Background: 0,003 | 09/11/2023 14:38:54 |
| 2 | 0,210 | | Background: 0,003 | 09/11/2023 14:38:58 |
| 3 | 0,209 | | Background: 0,004 | 09/11/2023 14:39:03 |
| Fe S2 (1) | 0,031 | 0,6 | 0,5459 | 0,5459 |
| 1 | 0,031 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:39:50 |
| 2 | 0,031 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:39:54 |
| 3 | 0,031 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:39:58 |
| Fe S2 (2) | 0,057 | 0,7 | 1,0316 | 1,0316 |
| 1 | 0,057 | | Background: 0,001 | 09/11/2023 14:43:37 |
| 2 | 0,057 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:43:41 |
| 3 | 0,057 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:43:46 |
| Fe S2 (3) | 0,041 | 0,6 | 0,7221 | 0,7221 |
| 1 | 0,041 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:41:16 |
| 2 | 0,041 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:41:20 |
| 3 | 0,040 | | Background: 0,002 | 09/11/2023 14:41:24 |

5. Tabel Analisis kandungan Besi (Fe) Setelah Fitoremediasi.

| No | Kandungan Besi (Fe) S ₁ | Kandungan Besi (Fe) S ₂ |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. | 0,2134 mg/L ^a | 0,5459 mg/L ^b |
| 2. | 0,1311 mg/L ^a | 1,0316 mg/L ^b |
| 3. | 0,1605 mg/L ^a | 0,7221 mg/L ^b |
| Rata-rata | 0,1683 mg/L ^a | 0,7665 mg/L ^b |

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan signifikan pengaruh fitoremediasi terhadap kandungan besi (Fe) air Sungai Kaligarang.

Lampiran 5. Hasil Uji Statistik Penelitian

1. Logam Besi (Fe)

Mann-Whitney Test

Ranks

| | Perlakuan | N | Mean Rank | Sum of Ranks |
|----------|-----------|---|-----------|--------------|
| kandunga | S1 | 3 | 2,00 | 6,00 |
| n_Fe | S2 | 3 | 5,00 | 15,00 |
| | Total | 6 | | |

Test Statistics^a

| | kandungan_Fe |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U | ,000 |
| Wilcoxon W | 6,000 |
| Z | -1,964 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | ,050 |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | ,100 ^b |

a. Grouping Variable: Perlakuan

2. Berat basah tumbuhan

Ranks

| | Perlakuan | N | Mean Rank | Sum of Ranks |
|-------------|-----------|---|-----------|--------------|
| Berat_Basah | S1 | 3 | 2,00 | 6,00 |
| | S2 | 3 | 5,00 | 15,00 |
| | Total | 6 | | |

Test Statistics^b

| | Berat_Basah |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U | ,000 |
| Wilcoxon W | 6,000 |
| Z | -2,023 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | ,043 |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | ,100 ^b |

b. Grouping Variable: Perlakuan

RIWAYAT HIDUP



A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Yunita Dwi Lestari
2. Tempat & Tgl. Lahir : Semarang, 11 Juni 2002
3. Alamat Rumah : Jl. Segaran IV, Rt 09/ Rw 04
4. HP : 085749821819
5. Email : yunitadwi112002@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. SDN Purwoyoso 05 Lulus tahun 2014
 - b. SMPN 23 Semarang Lulus tahun 2017
 - c. SMAN 08 Semarang Lulus tahun 2020
 - d. UIN Walisongo Semarang Lulus tahun 2024

Semarang, 21 Desember 2023

Yunita Dwi Lestari

NIM : 2008016008