



## **Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Myriophyllum aquaticum* dengan Sistem Batch**

### ***Analysis of Forest and Land Fire Hazards on Climbing Tracks of Mount Merbabu, Mount Sindoro and Mount Sumbing, Central Java***

Mufidatun Wafiq<sup>1\*</sup>, Ida Munfarida<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Lingkungan, Sains dan Teknologi, Gn.Anyar, Surabaya, 60294.

<sup>2</sup> Teknik Lingkungan, Sains dan Teknologi, Gn. Anyar, Surabaya, 60294.

#### **Article Info:**

Received: 02-03-2023

Accepted: 30-09-2023

**Kata kunci:** Merkuri (Hg), Fitoremediasi, *Myriophyllum aquaticum*, sistem batch, variasi konsentrasi.

**Keywords:** Mercury (Hg), Phytoremediation, *Myriophyllum aquaticum*, batch system, concentration variations.

**Abstrak:** Merkuri atau air raksa (Hg) adalah logam murni yang merupakan satu-satunya logam paling berbahaya diantara logam berat lainnya. Salah satu cara pengolahan limbah yang dapat dilakukan secara biologi adalah penggunaan media tanam yang disebut dengan fitoremediasi. Salah satu tanaman yang mampu meremediasi limbah adalah *Myriophyllum aquaticum* tanaman yang mampu meremediasi limbah serta mampu mentolerir empat logam berat yakni Zn, Cu, Fe, dan Hg dari air yang terkontaminasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi morfologi (akar, batang, dan daun) berdasarkan pengamatan langsung ciri fisik tanaman *Myriophyllum aquaticum* selama fitoremediasi berlangsung, serta nilai efisiensi removal logam berat merkuri pada fitoremediasi dengan tanaman *Myriophyllum aquaticum*. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan menggunakan variasi konsentrasi sebesar 4,20 mg/L dan 9,62 mg/L, jumlah reaktor yang digunakan sebanyak 6 reaktor secara dua kali pengulangan, selama fitoremediasi berlangsung dilakukan pengukuran pH, suhu, dan konsentrasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanaman mengalami perubahan warna menjadi coklat dan hitam pada reaktor A dan reaktor B baik dari daun maupun batang terjadi pada hari ke-19 fitoremediasi. Nilai efisiensi pada reaktor 3 dengan konsentrasi 4,20 mg/L (perlakuan 18 tanaman) memiliki nilai tertinggi pada hari pengambilan sampel ke-14 sebesar 87,8%.

**Abstract:** Mercury or Hg is a pure metal that is the most hazardous among other heavy metals. One of the biological wastewater treatment methods is using a planting medium called phytoremediation. One plant capable of remediating waste is *Myriophyllum aquaticum*, which can remediate waste and tolerate four heavy metals from contaminated water, namely Zn, Cu, Fe, and Hg. The objective of this study was to determine the morphological conditions (roots, stems, and leaves) based on direct observations of the physical characteristics of *Myriophyllum aquaticum* plants during phytoremediation, and assess the efficiency value of mercury heavy metal removal in phytoremediation using *Myriophyllum aquaticum* plants. The experimental method was employed in this study with concentration variations of 4,20 mg/L and 9,62 mg/L. Six reactors were used with two repetitions, and during the phytoremediation process, pH, temperature, and concentration measurements were conducted. The results showed that the plants changed color to brown and black in reactor A and reactor B, both in the leaves and stems, which occurred on the 19th day of phytoremediation. The efficiency value in reactor 3, with a concentration of 4.20 mg/L (treatment with 18 plants), the highest value was observed on the 14th day of sampling at 87.8%.

## 1. Pendahuluan

Pencemaran air merupakan masuknya unsur atau senyawa berbahaya atau bahan yang tidak diinginkan di dalam air dengan polutan yang besar sehingga mempengaruhi kualitas air serta ada banyak jenis dan penyebab kontaminasi air. Sumber kontaminan air yang sangat mungkin adalah limbah yang dihasilkan oleh industri dan akhirnya masuk ke dalam air. Limbah tersebut dapat menyebabkan kontaminasi bakteri dan kelimpahan nutrisi dalam konsentrasi berlebihan (eutrofikasi) (Pratiwi, 2020). Di Indonesia, Hg digunakan untuk ekstraksi bijih emas dalam proses amalgamasi oleh para penambang emas skala kecil atau penambang emas rakyat. Indonesia menjadi penyumbang cemaran Hg pada air dan tanah terbesar ketiga di dunia, karena memiliki potensi penghasil batuan emas yang tinggi (UNEP, 2002). Sejumlah kasus pencemaran merkuri yang dihasilkan dari proses penambangan emas di Indonesia telah terindikasi menyebabkan pencemaran lingkungan (Warisaura dkk., 2019).

Merkuri atau air raksa (Hg) adalah logam alami yang merupakan satu-satunya logam cair pada suhu kamar (25°C) dan mudah menguap. Dalam tabel periodik, unsur air raksa atau merkuri (Hg) mempunyai nomor atom (Na) 80 dan termasuk golongan II B. Diantara semua unsur logam, merkuri menduduki urutan pertama paling beracun dibandingkan dengan kadmium (Cd), perak (Ag), Nikel (Ni), Timbal (Pb), Aksen (As), Kromium (Cr), Timah (Sn), dan Seng (Zn) (Rosita dkk., 2022).

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran limbah adalah dengan melakukan upaya perbaikan pada kondisi lingkungan agar bumi tetap bersih. Pengolahan limbah cair telah banyak dilakukan sebelumnya dari yang menggunakan konvensional seperti sistem biologis menggunakan aerob, anaerob dan kombinasi aerob-anaerob, menggunakan gabungan fisik-kimiawi dengan pembubuhan koagulan, menggunakan tumbuhan melalui mekanisme *phytoremediation*, dan menggunakan teknologi membran (Maulana & Marsono, 2021). Salah satu cara pengolahan limbah yang dapat dilakukan secara biologi adalah penggunaan media tanam yang disebut dengan *fitoremediasi*. *Fitoremediasi* adalah penggunaan tanaman dan mikroorganisme terkait untuk mengurangi jumlah kandungan dari beban pencemar. Jenis tanaman yang digunakan dalam *fitoremediasi* juga sangat bermacam-macam. Tumbuhan ini harus memiliki kemampuan untuk menyerap kontaminan yang ada pada limbah. Hal tersebut harus diperhatikan dalam pemilihan tanaman *fitoremediasi* yang akan digunakan (Novita et al., 2019).

Salah satu tanaman yang mampu meremediasi limbah adalah *Myriophyllum aquaticum*. Tanaman *Myriophyllum aquaticum* memiliki toleransi paling besar serta dianggap sebagai tanaman hiperakumulator. Dalam penelitian terdahulu dari (Kuswanto, 2020) tentang konservasi, potensi *fitoremediasi* dan status invasi koleksi tumbuhan akuatik kebun raya Bali menyatakan salah satu koleksi tumbuhan di kebun raya Bali yaitu *Myriophyllum aquaticum* dapat meremediasi logam berat nikel (Ni), timbal (Pb), seng (Zn), kobalt (Co), tembaga (Cu), besi (Fe), mangan (Mn). Penelitian *fitoremediasi* ini menggunakan sistem reaktor batch karena sistem batch dalam pola kerjanya sangat fleksibel dan mudah serta semua reaktan ditambahkan di awal proses dan tidak ada penambahan atau pengeluaran ketika proses berlangsung. Proses batch beroperasi secara konstan karena reaktan akan melakukan proses dengan tanaman dan media secara *fitoremediasi* selama waktu genang tersebut (Suharto dkk., 2011). Tujuan dari penelitian ini mengetahui kondisi morfologi (akar, batang, dan daun) berdasarkan pengamatan langsung ciri fisik tanaman *Myriophyllum aquaticum* selama *fitoremediasi* berlangsung dan menganalisis nilai efisiensi removal logam berat merkuri pada *fitoremediasi* dengan tanaman *Myriophyllum aquaticum*.

## 2. Metode Penelitian

### Bahan

Dalam penelitian ini, bahan utama yang menjadi fokus adalah tanaman *Myriophyllum aquaticum*, yang telah diidentifikasi oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional. Tanaman ini dipilih untuk digunakan dalam proses *fitoremediasi* di setiap reaktor yang disiapkan. Kriteria pemilihan tanaman sangat spesifik; hanya tanaman yang memiliki panjang epikal sekitar 10 cm yang dianggap sesuai untuk eksperimen ini. Panjang epikal ini merujuk pada jarak dari ujung batang tanaman hingga titik sebelum akar (Saxena, 2020). Untuk memastikan konsistensi dalam eksperimen, setiap tanaman memiliki berat yang sama, yaitu sekitar 1 gram. Dalam setiap reaktor, ditempatkan sekitar 18 tanaman *Myriophyllum aquaticum*. Proses pemilihan tanaman ini mengikuti metode *purposive sampling*, sebuah teknik pengambilan sampel yang berdasarkan pertimbangan khusus dari peneliti. Teknik ini memungkinkan peneliti untuk memilih sampel berdasarkan karakteristik atau kriteria tertentu yang telah ditentukan sebelumnya, sesuai dengan yang telah dijelaskan oleh (Cahyani et al., 2020).

Selain bahan, peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini juga sangat penting untuk memastikan keakuratan dan konsistensi hasil. Enam buah kaca reaktor menjadi wadah utama untuk menggambarkan lingkungan eksperimental, dengan dimensi masing-masing reaktor sekitar 30 cm

panjang, 20 cm lebar, dan 20 cm tinggi. Untuk mengukur parameter-parameter penting seperti pH dan suhu, digunakan pH meter dan thermometer. Selain itu, peralatan lain seperti kertas label, 24 botol kaca sampel, neraca analitik, cawan patri, gelas ukur, pipet, dan labu ukur juga digunakan untuk mendukung kelancaran dan akurasi dari seluruh eksperimen (Yan, 2020). Dengan peralatan dan bahan yang telah disiapkan dengan cermat, penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil yang kredibel dan relevan untuk memahami potensi fitoremediasi dengan tanaman *Myriophyllum aquaticum*.

### **Metode**

Metode yang digunakan dalam menurunkan merkuri (Hg) dengan sistem batch dengan skala laboratorium. Metode yang digunakan bersifat eksperimental dilakukan dengan dua kali pengulangan. Pada desain ini terdapat dua kelompok yang masing-masing dipilih secara random, yaitu kelompok yang diberi perlakuan (X) dan kelompok yang diberi perlakuan atau disebut dengan kontrol (K). Pada penelitian ini dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu tidak ada 2 kelompok kontrol (K1, K2) dan 2 kelompok perlakuan dengan 18 tanaman *Myriophyllum aquaticum* (X1, X2). Kelompok (K1) adalah air limbah dengan konsentrasi 5 mg/L tanpa tanaman (K2) air limbah dengan konsentrasi 10 mg/L tanpa tanaman. Kelompok perlakuan pertama (X1) adalah air limbah dengan konsentrasi 5 mg/L pemberian 18 tanaman *Myriophyllum aquaticum* dan (X2) air limbah dengan konsentrasi 10 mg/L pemberian 18 tanaman *Myriophyllum aquaticum*.

### **Preparasi Limbah artificial merkuri (Hg)**

Larutan induk merkuri 1000 ppm dibuat dengan menimbang 0,68 gram  $HgCl_2$  kemudian serbuk  $HgCl_2$  dilarutkan ke dalam 500 mL aquades. Untuk membuat konsentrasi 5 mg/L dengan volume air sebanyak 7 liter diambil larutan induk sebanyak 35 mL diencerkan dengan air aquades sebanyak 7 liter. Konsentrasi 10 mg/L diambil larutan induk sebanyak 70 mL diencerkan dengan air aquades sebanyak 7 liter. Proses preparasi limbah artificial merkuri (Hg) dilakukan dengan alat pelindung diri (APD) sesuai dengan Standar Keselamatan Kerja pada laboratorium Water Quality and Processing Teknik Lingkungan UINSA Gunung Anyar.

### **Aklimatisasi Tumbuhan**

Sebelum memulai eksperimen utama, tahap aklimatisasi tanaman *Myriophyllum aquaticum* menjadi langkah krusial untuk memastikan adaptasi optimal dalam lingkungan eksperimental. Langkah awal yang dilakukan adalah membersihkan tanaman secara menyeluruh dengan menggunakan air mengalir (Ashraf, 2019). Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan kotoran atau partikel lain yang mungkin menempel pada tanaman, memastikan bahwa lingkungan eksperimental bersih dan bebas dari kontaminan eksternal yang tidak diinginkan.

Selanjutnya, proses aklimatisasi dilaksanakan selama periode 7 hari. Dalam periode ini, tanaman ditempatkan dalam wadah yang berisi 2 liter air aquades. Penempatan dalam air aquades bertujuan untuk membantu tanaman beradaptasi dengan lingkungan baru yang akan menjadi habitatnya selama proses fitoremediasi. Dengan memberikan waktu selama 7 hari ini, diharapkan tanaman dapat beraklimatisasi dengan optimal, mengembangkan respons yang tepat terhadap kondisi lingkungan yang baru (Muthusaravanan, 2018).

Setelah menyelesaikan tahap aklimatisasi, tanaman *Myriophyllum aquaticum* yang telah siap dan beradaptasi dengan baik dipindahkan ke dalam reaktor-reaktor yang telah disiapkan. Setiap tanaman ditempatkan dalam reaktor dengan konsentrasi yang telah ditentukan sesuai dengan parameter eksperimen yang diinginkan (Awa, 2020). Dengan demikian, langkah aklimatisasi ini menjadi kunci penting dalam memastikan bahwa tanaman siap dan optimal dalam melakukan fitoremediasi dalam kondisi eksperimental yang telah ditentukan.

### **Pengambilan Data**

Pada setiap titik waktu pengambilan data yang telah ditentukan, yakni pada hari ke-0, 7, 14, dan 21, prosedur pengambilan air limbah dilaksanakan dengan teliti. Dari masing-masing reaktor, sebanyak 200 mL air limbah diambil dengan menggunakan pipet bulb, memastikan akurasi dan konsistensi dalam pengambilan sampel (Gong, 2018). Sebelum pengambilan sampel, langkah penting lainnya adalah melakukan homogenisasi air limbah di dalam setiap reaktor. Ini dilakukan dengan mengaduk air limbah agar semua komponen dalam air limbah tercampur dengan merata dan tidak ada endapan yang mengendap di bagian bawah reaktor (Shah, 2020).

Setelah proses homogenisasi, air limbah yang sudah siap diambil sampelnya dimasukkan ke dalam botol kaca berwarna gelap (Ma, 2019). Alasan penggunaan botol kaca berwarna gelap adalah untuk melindungi sampel dari paparan cahaya yang dapat mempengaruhi integritas dan

konsentrasi merkuri dalam air limbah (DalCorso, 2019). Kemudian, proses analisis konsentrasi merkuri dalam sampel air limbah dilakukan dengan memanfaatkan spektrofotometer serapan atom atau yang dikenal dengan sebutan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Metode ini, sebagai metode standar, mengacu pada SNI 6989.84.2019, memastikan keakuratan dan kredibilitas data yang diperoleh (Manoj, 2020).

Selain prosedur pengujian konsentrasi merkuri, parameter lain seperti pH dan suhu juga dipantau secara rutin. Pengukuran pH penting karena tingkat keasaman atau alkalisasi dapat mempengaruhi efisiensi proses fotosintesis pada tanaman (Mahmud, 2018). Sebaliknya, suhu juga memainkan peran krusial dalam proses ini. Karena suhu memiliki korelasi langsung dengan proses metabolisme dan fotosintesis tanaman, monitoring suhu menjadi esensial untuk memastikan kondisi optimal bagi tanaman dalam mengabsorpsi merkuri, seperti yang telah dijelaskan oleh (Oktavia et al., 2016)

### Efisiensi Removal

Efisiensi remediasi logam merkuri merupakan hubungan selisih antara konsentrasi logam merkuri sebelum fitoremediasi ( $C_{awal}$ ) dan konsentrasi logam merkuri setelah ( $C_{akhir}$ ) (Soheti et al., 2020). Efisiensi remediasi logam merkuri dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$EF = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\%$$

Keterangan:

EF = Persentase efisiensi penurunan (%)

$C_{awal}$  = Konsentrasi awal parameter air limbah (mg/L)

$C_{akhir}$  = Konsentrasi akhir parameter air limbah (mg/L)

## 3. Hasil dan Pembahasan

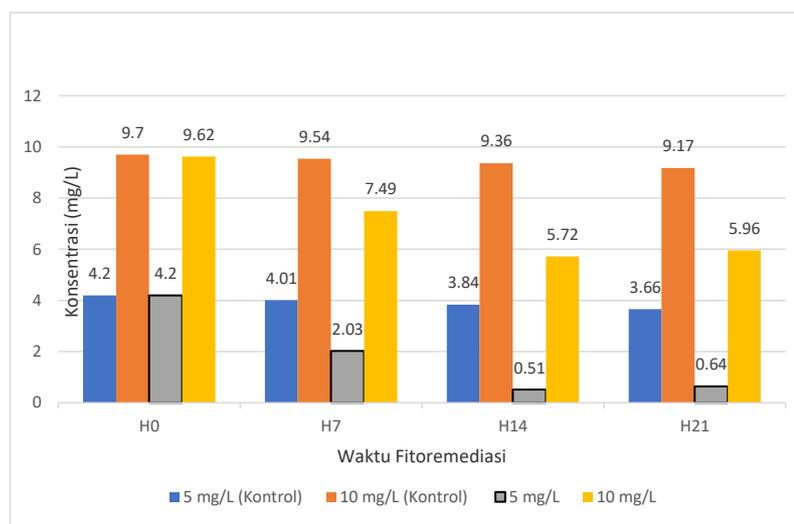
### Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg)

Proses fitoremediasi pada penelitian ini menggunakan sistem batch dimana saat perlakuan pada tanaman *Myriophyllum aquaticum* dilakukan dengan cara mendiamkan atau menggenang tanaman *Myriophyllum aquaticum* ke dalam reaktor yang berisi limbah artificial merkuri (Hg). Reaktor A dengan konsentrasi 4.20 mg/L dan Reaktor B dengan konsentrasi 9.70 mg/L sebagai kontrol sedangkan Reaktor C dengan konsentrasi 4,20 mg/L dan Reaktor D dengan konsentrasi 9,62 mg/L berisi dengan 18 tanaman *Myriophyllum aquaticum* (Ali, 2020). Proses fitoremediasi dilakukan selama 21 hari dan dilakukan pengujian penurunan limbah merkuri pada hari ke-0,7,14,21. Berikut tabel hasil penurunan konsentrasi air limbah merkuri selama 21 hari.

**Tabel 1.** Penurunan Kadar Logam Merkuri (Hg)

Waktu Kontak (Hari)	Penyerapan Logam Hg (mg/L)			
	Reaktor A (5 mg/L Kontrol)	Reaktor B (10 mg/L Kontrol)	Reaktor C (5 mg/L) (18 tanaman)	Reaktor D (10 mg/L) (18 tanaman)
0	4.20	9.70	4.20	9.62
7	4.01	9.54	2.03	7.49
14	3.84	9.36	0.51	5.72
21	3.66	9.17	0.64	5.96

Sumber: (Data Primer,2023)



**Gambar 1.** Grafik Penurunan Kadar Logam Merkuri (Hg)  
Sumber: (Data Primer,2023)

Pada gambar 1 diatas menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat merkuri pada reaktor A dan reaktor B yang sebagai kontrol tanpa tanaman mengalami penurunan hanya hingga 3.66 mg/L dan 9.17 mg/L. sedangkan reaktor C, dengan konsentrasi 4,20 mg/L dan reaktor D dengan konsentrasi 9,62 mg/L mengalami penurunan yang signifikan karena terjadi proses fitoremediasi dengan tanaman *Myriophyllum aquaticum* sebanyak 18 tanaman, penurunan tersebut hingga 0,645mg/L dengan konsentrasi 4,20 mg/L, sedangkan konsentrasi 9,62 mg/L terjadi penurunan hingga 5.96 mg/L. penyisihan konsentrasi limbah merkuri dengan tanaman lebih besar dibandingkan dengan tanpa tanaman atau disebut sebagai kontrol, hal ini membuktikan bahwa tumbuhan mempunyai peranan penting dalam menurunkan zat pencemar. Penurunan kadar konsentrasi logam merkuri membuktikan bahwa tanaman *Myriophyllum aquaticum* merupakan tanaman hiperakumulator yang mampu menyerap logam berat dalam air (Lin, 2021). Tanaman *Myriophyllum aquaticum* menyerap logam ke batang kemudian logam atau senyawa mengikuti aliran translokasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut *xylem* dengan bantuan enzim atau bakteri sebagai pemecah rantai karbonnya ke bagian atas yaitu pada bagian daun tanaman atau di translokasikan ke sel daun kemudian dari sel daun logam berat dikeluarkan menjadi uap ke udara (Sharma, 2021). *Myriophyllum aquaticum* tidak hanya dapat menyerap logam di dalam substrat melalui akar, tetapi juga dapat menyerap dan menghilangkan pencemaran logam di dalam air melalui daun dengan cara mensistensisnya menjadi komponen struktural. Kemampuan beradaptasi yang kuat dari tanaman ini dengan meningkatkan aktivitas enzim yang mengubah ion berbahaya menjadi tidak berbahaya (Jiang et al., 2023).

Proses uji tanaman *Myriophyllum aquaticum* selama 21 hari dengan konsentrasi 4.20 mg/L dan 9.62 mg/L mengalami perubahan warna daun dan batang tanaman. Setiap reaktor satu persatu daun dan batang tanaman *Myriophyllum aquaticum* berubah warna secara bertahap, perubahan warna daun tersebut meliputi daun berubah warna dari hijau ke kuning hingga coklat sedangkan perubahan warna batang dari hijau kuning coklat hingga hitam. Hal tersebut dinamakan dengan gejala klorosis di duga akibat tumbuhan mengalami efek toksisitas akibat kelebihan logam merkuri dari sampel air limbah artificial (Burges, 2018). Penyebab klorosis dan nekrosis pada tanaman yang terpapar logam secara berlebihan cukup lama untuk menghambat sintesis klorofil. Klorosis juga dapat terjadi jika logam berat menghambat aktivitas enzim yang mempercepat proses sintesis klorofil (Kozmińska, 2018). Secara kualitatif, penurunan konsentrasi merkuri ditandai melalui sejumlah daun yang mengalami perubahan warna dari hijau menjadi kuning. Perubahan warna daun tersebut merupakan gejala klorosis yang disebabkan oleh toksisitas Hg. Klorosis adalah defisiensi magnesium (Mg) sehingga tidak mampu membentuk klorofil akibatnya daun berubah warna menjadi kuning dan kemudian akan mati. Perubahan fisik disebabkan karena Hg telah menggantikan Mg pada klorofil dalam daun (Dulanlebit et al., 2021).

Sedangkan nekrosis adalah kematian sel tumbuhan, jaringan, atau organ tumbuhan sehingga timbul bercak, bintik atau noda (Nurlina et al., 2016a). Logam berat dapat menggantikan ion magnesium dalam molekul klorofil. Sehingga menyebabkan ketidakmampuan untuk menangkap foton dan menurunkan aktivitas fotosintesis (Harguinteguy et al., 2013). Pengujian di hari ke- 21 logam merkuri mengalami kenaikan karena tanaman sudah tidak dapat melakukan penyerapan

dikarenakan terlalu banyaknya logam berat yang sudah ditampung oleh tanaman sehingga tanaman mengalami gejala nekrosis yaitu kematian sel, jaringan pada organ tumbuhan. Gejala perubahan fisik tanaman *Myriophyllum aquaticum* menghitamnya batang serta daun berwarna coklat atau membusuknya daun (Nedjimi, 2021). Kemampuan penyerapan logam oleh tanaman dipengaruhi oleh waktu pemaparan, Ketika tanaman sudah tidak mampu menyerap logam pada lama pemaparan tertentu, hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman telah mencapai titik jenuhnya. Titik jenuh adalah waktu batas maksimum yang dapat di tolerir tanaman dalam menyerap kontaminan (Nurlina dkk., 2016).

### Analisis pH Air

Nilai pH merupakan salah satu parameter kontrol yang ditinjau pada penelitian ini. Nilai pH atau derajat keasaman memainkan peranan penting dalam pertumbuhan mikroorganisme dan proses fotosintesis tanaman serta sebagai parameter kualitas air karena dapat mengontrol reaksi kimia yang terjadi dalam penguraian logam berat (Ambarsari & Qisthi, 2017b). Berikut hasil pengukuran pH larutan logam berat selama proses fitoremediasi dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengukuran pH

Hari Ke-	Reaktor A Konsentrasi 5 mg/L (Kontrol)	Reaktor B Konsentrasi 10 mg/L (Kontrol)	Reaktor C Konsentrasi 5 mg/L	Reaktor D Konsentrasi 10 mg/L
0	6,26	6,27	6,30	6,26
1	6,68	6,66	6,77	6,75
2	6,55	6,28	6,18	6,14
3	6,98	6,88	6,30	6,44
4	6,73	6,69	6,45	6,32
5	6,78	6,55	6,51	6,35
6	6,99	6,85	6,68	6,52
7	7,23	6,89	6,47	6,26
8	7,16	6,79	6,25	6,13
9	7,12	6,84	6,27	6,17
10	7,32	7,15	6,20	6,35
11	7,28	7,15	6,19	6,40
12	7,03	6,84	6,18	6,29
13	7,21	6,87	6,24	6,27
14	6,73	6,82	6,19	6,16
15	6,55	6,87	6,15	6,09
16	6,85	6,69	6,28	6,23
17	6,89	6,85	6,41	6,32
18	6,98	7,02	6,67	6,40
19	7,14	7,15	6,68	6,41
20	7,36	7,03	6,83	6,51
21	7,40	7,20	6,83	6,51

Sumber: (Data Primer, 2023)

Berdasarkan tabel 2 dapat terlihat adanya perubahan pH pada air limbah selama penelitian berlangsung. Pada reaktor A sebagai kontrol tanpa tanaman di hari ke-0 hingga 6 memiliki Ph 6,2 – 6,9 hal tersebut masih tergolong pH rendah (asam) namun di hari ke-7 hingga 21 mengalami kenaikan pH hingga 7,4 sehingga dikatakan pH semakin netral. Reaktor B sebagai kontrol tanpa tanaman pada hari ke- 0 hingga 9 memiliki pH 6,2 – 6,8 masih tergolong pH rendah (asam) sedangkan pH semakin netral dari hari ke- 10 sampai hari ke- 21 yakni sebesar 7,1-7,2. Peningkatan yang terjadi terhadap parameter pH ini dapat dipengaruhi oleh waktu tinggal yang digunakan karena terjadinya proses atau pelepasan kadar CO<sub>2</sub> ke lingkungan (Yulita et al., 2022).

Reaktor C dari hari ke-0 hingga ke- 21 mengalami peningkatan berkisar 6,3 – 6,8 pH tersebut masih tergolong pH rendah (asam) namun sedikit mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan. Hal itu sama terjadi pada reaktor D mengalami peningkatan berkisar 6,2 – 6,5. Kestabilan Hg dapat dipengaruhi oleh kenaikan pH dari bentuk yang mudah diserap oleh tanaman menjadi sulit diserap oleh tanaman. Semakin kecil kelarutan logam maka semakin naik nilai pH dan begitu sebaliknya (Yulita et al., 2022).

### Analisis Suhu Air

Suhu adalah derajat atau tingkatan panas atau faktor lingkungan yang berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Yulianto et al., 2021). Pengukuran suhu dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suhu dari larutan logam

merkuri. Berikut hasil pengukuran suhu larutan logam merkuri selama proses fitoremediasi dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini:

**Tabel 3.** Hasil Pengukuran Suhu

Hari Ke-	Reaktor A Konsentrasi 5 mg/L (Kontrol)	Reaktor B Konsentrasi 10 mg/L (Kontrol)	Reaktor C Konsentrasi 5 mg/L	Reaktor D Konsentrasi 10 mg/L
0	23,2°	23,2°	23,2°	23,1°
1	24,7°	23,6°	22,8°	23,2°
2	24,7°	24,5°	23,8°	24,1°
3	24,0°	23,6°	23,7°	23,7°
4	24,3°	23,8°	23,7°	23,8°
5	24,2°	23,8°	23,8°	23,8°
6	24,9°	25,4°	24,3°	24,7°
7	25,7°	25,5°	24,3°	24,7°
8	24,5°	24,1°	23,4°	23,7°
9	24,4°	24,1°	23,4°	23,7°
10	26,1°	25,6°	24,8°	25,2°
11	26,1°	25,5°	24,8°	25,2°
12	25,4°	25,3°	25,0°	25,5°
13	25,4°	25,1°	24,8°	25,4°
14	25,7°	25,2°	24,6°	24,9°
15	25,5°	25,2°	24,4°	24,8°
16	25,3°	25,5°	25,3°	25,5°
17	25,6°	25,4°	25,2°	25,2°
18	29,4°	28,9°	27,7°	28,3°
19	29,2°	28,7°	27,5°	28,2°
20	22,3°	22,3°	21,3°	21,6°
21	22,4°	22,0°	21,1°	21,4°

Sumber: (Data Primer,2023)

Berdasarkan tabel 3 pada reaktor A rata-rata suhu larutan uji 25,1°, reaktor B rata-rata suhu 24,8°, reaktor C sebesar 24,2°, reaktor D sebesar 24,5°. Suhu dapat mempengaruhi proses fotosintesis dan metabolisme makhluk hidup, suhu pertumbuhan tumbuhan air berkisar antara 22-30°. Di hari ke-20 dan 21 suhu mengalami penurunan yang signifikan yaitu berkisar 21,1 – 22,4 hal tersebut terjadi karena tanaman mengalami gejala nekrosis sehingga tidak dapat menyerap logam. Suhu dibawah minimum atau maksimum akan menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Oladoye, 2022). Akibatnya waktu yang diperlukan untuk melengkapi siklus hidup tanaman akan menjadi lebih lama, seiring dengan penurunan suhu hingga mencapai titik kritisnya, tanaman akan mengalami kerusakan hingga kematian (Mildaerizanti & Pangestuti, 2016).

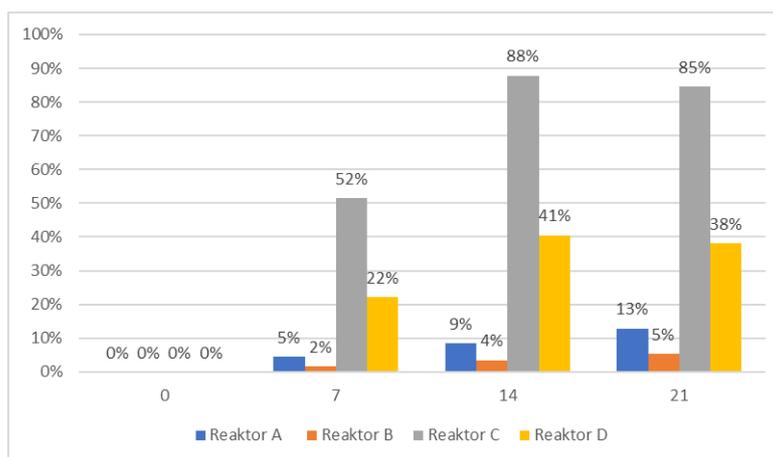
#### Efisiensi Removal

Efisiensi remediasi logam merkuri merupakan hubungan selisih antara konsentrasi logam merkuri sebelum fitoremediasi ( $C_{awal}$ ) dan konsentrasi logam merkuri setelah ( $C_{akhir}$ ) (Soheti et al., 2020). Hasil efisiensi removal dari tanaman *Myriophyllum aquaticum* dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini.

**Tabel 4.** Hasil Efisiensi Removal

Kontak Hari	Reaktor A Konsentrasi 5 mg/L (Kontrol)	Reaktor B Konsentrasi 10 mg/L (Kontrol)	Reaktor C Konsentrasi 5 mg/L	Reaktor D Konsentrasi 10 mg/L
H0	4,20	9,70	4,20	9,62
H7	4,01	9,54	2,03	7,49
Efisiensi Removal (%)	4,52%	1,64%	51,5%	22,1%
H14	3,84	9,36	0,51	5,72
Efisiensi Removal (%)	8,5%	3,5%	87,8%	40,5%
H21	3,66	9,17	0,64	5,96
Efisiensi Removal (%)	12,85%	5,4%	84,6%	38%

Sumber: (Data Primer,2023)



**Gambar 2.** Grafik Efisiensi Removal  
Sumber: (Hasil Analisis,2023)

Data yang diperoleh dari tabel diatas bahwa nilai efisiensi tertinggi pada reaktor C dengan konsentrasi 4,20 mg/L dihari ke-14 yakni sebesar 87,8%. Di hari ke-21 kemampuan penyerapan tanaman dalam menyerap limbah merkuri berkurang menjadi 84,6% dengan konsentrasi 4,20 mg/L dan 38% dengan konsentrasi 9,62 mg/L. Penurunan efisiensi removal ini disebabkan oleh tanaman mengalami titik jenuh sehingga kemampuan penyerapan tanaman menjadi berkurang dan menyebabkan tanaman tersebut mengeluarkan kembali logam yang telah diserap dari media air hal tersebut juga di dukung pada hasil pengukuran suhu yang secara langsung menurun di hari ke 20 dan 21 (Bian, 2020).

Semakin lama waktu kontak tumbuhan dengan sampel air, akumulasi logam merkuri dalam tubuh tumbuhan akan semakin tinggi hingga batas tertentu kadar merkuri yang dapat ditolerir oleh tumbuhan (Nurlina et al., 2016b). Hal ini ditunjukkan dari tingginya kadar Fe yang diserap oleh tumbuhan pada hari ke-7 dan penurunan yang terjadi pada hari ke-21. Kemampuan penyerapan logam oleh tumbuhan dipengaruhi oleh waktu pemaparan, Ketika tumbuhan sudah tidak mampu menyerap logam pada lama pemaparan tertentu, hal tersebut menunjukkan bahwa tumbuhan telah mencapai titik jenuhnya. Titik jenuh adalah waktu batas maksimum yang dapat di tolerir tumbuhan dalam menyerap kontaminan (Nurlina et al., 2016b).

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Tanaman *Myriophyllum aquaticum* mengalami perubahan fisik selama fitoremediasi berlangsung. Daun yang mencuat ke air berwarna hijau sedangkan daun yang tenggelam berubah warna menjadi kuning ke coklat, tanaman mengalami pertumbuhan tunas, batang tanaman mengalami perubahan berwarna coklat dan hitam. Tanaman mengalami perubahan warna menjadi coklat dan hitam pada reaktor A dan reaktor B baik dari daun maupun batang terjadi pada hari ke-19 fitoremediasi. Nilai efisiensi pada reaktor 1 dengan konsentrasi 4,20 mg/L (kontrol) memiliki nilai tertinggi pada hari pengambilan sampel ke-21 sebesar 12,85% pada reaktor 2 dengan konsentrasi 9,70 mg/L (kontrol) memiliki nilai tertinggi pada hari pengambilan sampel ke-21 sebesar 5,4% pada reaktor 3 dengan konsentrasi 4,20 mg/L (perlakuan 18 tanaman) memiliki nilai tertinggi pada hari pengambilan sampel ke-14 sebesar 87,8% pada reaktor 4 dengan konsentrasi 9,62 mg/L (perlakuan 18 tanaman) memiliki nilai tertinggi pada hari pengambilan sampel ke-14 sebesar 40,5%.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada asisten laboratorium water quality and processing di Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya Gunung Anyar karena telah membantu dalam dalam menyiapkan alat dan bahan saat penelitian berlangsung.

#### Daftar Pustaka

- Ali, S. (2020). Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/su12051927>
- Ambarsari, H., & Qisthi, A. (2017a). Remediasi Merkuri (Hg) pada Air Limbah Tambang Emas Rakyat dengan Metode Lahan Basah Buatan Terpadu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 148–156.
- Ambarsari, H., & Qisthi, A. (2017b). Remediasi Merkuri (Hg) pada Air Limbah Tambang Emas Rakyat dengan Metode Lahan Basah Buatan Terpadu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 148–156.

- Ashraf, S. (2019). Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174, 714–727. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068>
- Awa, S. H. (2020). Removal of Heavy Metals in Contaminated Soil by Phytoremediation Mechanism: a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(2). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4426-0>
- Bian, F. (2020). Bamboo – An untapped plant resource for the phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Chemosphere*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125750>
- Burges, A. (2018). From phytoremediation of soil contaminants to phytomanagement of ecosystem services in metal contaminated sites. *International Journal of Phytoremediation*, 20(4), 384–397. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1365340>
- Cahyani, P. P. A., Hakam, F., & Nurbaya, F. (2020). EVALUASI PENERAPAN SISTEM INFORMASI MANAJEMEN PUSKESMAS (SIMPUS) DENGAN METODE HOT-FIT DI PUSKESMAS GATAK. *Jurnal Manajemen Informasi Dan Administrasi Kesehatan*, 03(02), 20–26.
- DalCorso, G. (2019). Heavy metal pollutions: State of the art and innovation in phytoremediation. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(14). <https://doi.org/10.3390/ijms20143412>
- Dulanlebit, Y. H., Unwakoly, S., & Sangadji, R. P. (2021). Studi Potensi Pteris vitata, Amaranthus spinosus, Ipomoea reptanspori Sebagai Fitoremediator Tanah Tercemar Merkuri (Hg). *Molluca Journal of Chemistry Education*, 11(1), 32–38.
- Gong, X. (2018). Pyrolysis and reutilization of plant residues after phytoremediation of heavy metals contaminated sediments: For heavy metals stabilization and dye adsorption. *Bioresource Technology*, 253, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.018>
- Harguinteguy, C. A., Schreiber, R., & Pignata, M. L. (2013). Myriophyllum aquaticum as a biomonitor of water heavy metal input related to agricultural activities in the Xanaes River (Córdoba, Argentina). *Ecological Indicators*, 27, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.018>
- Jiang, C., Xu, S., Wang, R., Sun, Q., Zuo, J., & Zhuang, X. (2023). Transcriptomics Insights into Phosphorus Stress Response of Myriophyllum aquaticum. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5). <https://doi.org/10.3390/ijms24054874>
- Koźmińska, A. (2018). Recent strategies of increasing metal tolerance and phytoremediation potential using genetic transformation of plants. *Plant Biotechnology Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1007/s11816-017-0467-2>
- Kuswantoro, F. (2020). Conservation, Phytoremediation Potential and Invasiveness Status of Bali Botanic Garden Aquatic Plant Collection. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 5(1), 16–26. <https://doi.org/10.22146/jtbb.49312>
- Lin, H. (2021). Trifolium repens L. regulated phytoremediation of heavy metal contaminated soil by promoting soil enzyme activities and beneficial rhizosphere associated microorganisms. *Journal of Hazardous Materials*, 402. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123829>
- Ma, Y. (2019). Potential of plant beneficial bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of metal-contaminated saline soils. *Journal of Hazardous Materials*, 379. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120813>
- Mahmud, J. A. (2018). Insights into citric acid-induced cadmium tolerance and phytoremediation in Brassica juncea L.: Coordinated functions of metal chelation, antioxidant defense and glyoxalase systems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 990–1001. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.045>
- Manoj, S. R. (2020). Understanding the molecular mechanisms for the enhanced phytoremediation of heavy metals through plant growth promoting rhizobacteria: A review. *Journal of Environmental Management*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109779>
- Maulana, R., & Marsono, D. B. (2021). Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu (Studi Kasus : UKM Sari Bumi, Kabupaten). *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), 54–60.
- Mildaerizanti, & Pangestuti, R. (2016). PENGARUH CEKAMAN SUHU RENDAH TERHADAP TANAMAN. 185–193.
- Muthusaravan, S. (2018). Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements. *Environmental Chemistry Letters*, 16(4), 1339–1359. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0762-3>
- Nedjimi, B. (2021). Phytoremediation: a sustainable environmental technology for heavy metals decontamination. *SN Applied Sciences*, 3(3). <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04301-4>
- Novita, E., Arunggi Gaumanda Hermawan, A., & Wahyuningsih, S. (2019). KOMPARASI PROSES FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR PEMBUATAN TEMPE MENGGUNAKAN TIGA JENIS TANAMAN AIR. 13(01), 16–24.
- Nurlina, Suhadiyah, S., & Umar, R. M. (2016a). Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kiapu Pistia stratiotes L. dari Air Sumur Sekitar Workshop Unhas. *Basic Science to Comprehensive Education*, 151–155.
- Nurlina, Suhadiyah, S., & Umar, R. M. (2016b). Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kiapu Pistia stratiotes L. dari Air Sumur Sekitar Workshop Unhas. *Basic Science to Comprehensive Education*,

151–155.

- Oktavia, Z., Dewanti, A. Y., Bagian Kesehatan Lingkungan, N., & Kesehatan, F. (2016). PENGARUH VARIASI LAMA KONTAK FITOREMEDIASI TANAMAN KIAMBANG (SALVINIA MOLESTA) TERHADAP KADAR KADMIUM (Cd) PADA LIMBAH CAIR HOME INDUSTRY BATIK "X" MAGELANG. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(5), 2356–3346. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkm>
- Oladoye, P. O. (2022). Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature. *Chemosphere*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132555>
- Saxena, G. (2020). Phytoremediation of heavy metal-contaminated sites: Eco-environmental concerns, field studies, sustainability issues, and future prospects. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 249, 71–131. [https://doi.org/10.1007/398\\_2019\\_24](https://doi.org/10.1007/398_2019_24)
- Shah, V. (2020). Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology and Innovation*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>
- Sharma, P. (2021). Efficiency of bacteria and bacterial assisted phytoremediation of heavy metals: An update. *Bioresource Technology*, 328. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124835>
- Soheti, P., Sumarlin, L. O., & Marisi, D. P. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *EKSPLORIUM*, 41(2), 139. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2020.41.2.6092>
- Yan, A. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>
- Yulianto, R. M., Safitri, E., Sintya, I., Savira, W., Fitrihidajati, H., Rachmardiarti, F., & Lailani, I. (2021). Kemampuan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Sebagai Agen Fitoremediasi LAS (Linier Alkyl Benzene Sulphonate) Detergen. *Prosiding SEMNAS BIO*, 952–960.
- Yulita, Winardi, & Jumiati. (2022). Remediasi Air Tercemar Merkuri Menggunakan Purun Tikus (*Eleocharis Dulcis*) Pada Lahan Basah Buatan. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(3), 212–221.