

**POTENSI TUMBUHAN MELATI AIR (*Echinodorus radicans*) TERHADAP
PENURUNAN KADAR TIMBAL (Pb) DAN TEMBAGA (Cu) PADA
LIMBAH CAIR *HOME INDUSTRY* BATIK DI DESA SENDANG
KABUPATEN LAMONGAN**

SKRIPSI



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun oleh:

IRSSA INTAN FATIHA

NIM: H01218006

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Irssa Intan Fatiha

NIM : H01218006

Program Studi : Biologi

Angkatan : 2018

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "POTENSI TUMBUHAN MELATI AIR (*Echinodorus radicans*) TERHADAP PENURUNAN KADAR TIMBAL (Pb) DAN TEMBAGA (Cu) PADA LIMBAH CAIR *HOME INDUSTRY* BATIK DI DESA SENDANG KABUPATEN LAMONGAN". Apabila suatu saat nanti saya terbukti jika saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 5 Juli 2022

Yang menyatakan



Irssa intan fatiha

NIM. H01218006

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi

**POTENSI TUMBUHAN MELATI AIR (*Echinodorus radicans*) TERHADAP
PENURUNAN KADAR TIMBAL (Pb) DAN TEMBAGA (Cu) PADA
LIMBAH CAIR *HOME INDUSTRY* BATIK DI DESA SENDANG
KABUPATEN LAMONGAN**

Diajukan Oleh:

Irssa Intan Fatiha

NIM: H01218006

Telah diperiksa dan disetujui

Di Surabaya, 5 Juli 2022

Dosen pembimbing utama



Nirmala Fitria Firdhausi, M.Si.
NIP: 198506252011012010

Dosen pembimbing pendamping



Atiqoh Zummah, M. Sc.
NIP: 199111112019032026

HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi Irssa Intan Fatiha

Ini telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi

Di Surabaya, 5 Juli 2022

Mengesahkan,

Dewan Penguji

Penguji I



Nirmala Fitria Firdhausi, M.Si.

NIP: 198506252011012010

Penguji II



Atiqoh Zummah, M. Sc.

NIP: 199111112019032026

Penguji III



Drs. Abdul Manan, M.Pd.I.

NIP: 197006101998031002

Penguji IV



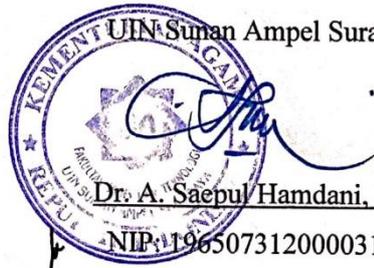
Linda Prasetyaning Widayanti, M.Kes.

NIP: 198704172014032003

Mengetahui

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. A. Saepul Hamdani, M.Pd.

NIP: 196507312000031002



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Irssa Intan Fatihah
NIM : H01218006
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ BIOLOGI
E-mail address : intanirssa68@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Sekripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul :

POTENSI TUMBUHAN MELATI AIR (*Echinodorus radicans*) TERHADAP PENURUNAN KADAR TIMBAL (Pb) DAN TEMBAGA (Cu) PADA LIMBAH CAIR HOME INDUSTRY BATIK DI DESA SENDANG KABUPATEN LAMONGAN beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 5 Juli 2022

Irssa Intan Fatihah (H01218006)

ABSTRAK

POTENSI TUMBUHAN MELATI AIR (*Echinodorus radicans*) TERHADAP PENURUNAN KADAR TIMBAL (Pb) DAN TEMBAGA (Cu) PADA LIMBAH CAIR HOME INDUSTRY BATIK DI DESA SENDANG KABUPATEN LAMONGAN

Limbah cair batik di perairan berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Bahan dasar pembuatan batik berupa zat pewarna kimia akan menghasilkan limbah cair logam berat. Kandungan logam berat tertinggi pada limbah cair batik salah satu industri rumahan desa Sendang yakni logam berat Pb 43,58 ppm dan Cu 61,83 ppm. Upaya alternatif penurunan kadar polutan limbah cair batik yaitu menggunakan tumbuhan agen fitoremediator dengan metode fitoremediasi seperti tanaman melati air (*Echinodorus radicans*). Selain memiliki nilai keindahan juga bernilai ekologi dalam pemulihan kualitas lingkungan akibat pencemaran air. Penelitian bertujuan untuk mengetahui potensi tumbuhan melati air terhadap waktu optimal penyerapan, penurunan kadar logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik Sendang dan mengamati morfologi tumbuhan. Pengujian logam berat menggunakan alat *Atomic Absorption spectrophotometer* (AAS). Hasil penelitian pada hari ke-9, 12, 15, dan 18 pemaparan, penurunan kadar logam berat Pb berturut-turut sebesar 3.71, 2.65, 0.80, dan 0.14 ppm, kadar logam berat Cu nilai penurunannya berturut-turut sebesar 4.09, 2.85, 0.31 dan 0.26 ppm. Rata-rata laju penyerapan logam berat Pb pada lama waktu pemaparan 9, 12, 15, dan 18 hari berturut-turut sebesar 0.8, 0.14, 0.24 dan 0.23 ppm, logam berat Cu berturut-turut sebesar 0.23, 0.28, 0.40 dan 0.33 ppm. Perubahan morfologi yakni munculnya tunas baru 2-3 setiap perlakuan, batang sedikit merunduk, daun mengalami perubahan warna kuning hingga kecoklatan serta bintik-bintik coklat di seluruh perlakuan dan hari ke-18 salah satu daun mati. Hasil awal uji statistik logam Pb dan Cu bernilai sig >0,05, dimana data terdistribusi normal dan homogen. Pada hasil uji One Way Anova bernilai sig = 0,000 < 0,05 atau terdapat pengaruh lama waktu pemaparan dan hasil uji post hoc Pb bernilai < 0,05 sedangkan beberapa logam Cu bernilai > 0,05.

S U R A B A Y A

Kata kunci: Fitoremediasi, melati air (*Echinodorus radicans*), logam berat, timbal (Pb), tembaga (Cu).

ABSTRACT

POTENTIAL OF WATER JASMINE (*Echinodorus radicans*) TO REDUCE LEVELS OF LEAD (Pb) AND COPPER (Cu) IN LIQUID WASTE OF HOME INDUSTRY BATIK IN SENDANG VILLAGE, LAMONGAN REGENCY

Batik liquid waste in the waters has the potential to pollute the environment if it is not managed properly. The basic ingredients for making batik in the form of chemical dyes will produce heavy metal liquid waste. The highest heavy metal content in batik wastewater from one of the home industries in sending village, namely Pb 43.58 ppm and Cu 61.83 ppm. An alternative effort to reduce the levels of pollutants in batik liquid waste is to use agent plants with methods such as water jasmine (*Echinodorus radicans*). Besides having aesthetic value, it is also ecological in restoring environmental quality due to water pollution. The aim of the study was to determine the potential of water jasmine plants to the optimum absorption time, decrease the levels of heavy metals Pb and Cu in the wastewater of sending batik and observe plant morphology. Heavy metal testing using the Atomic Absorption spectrophotometer (AAS). The results of the study on the 9th, 12th, 15th, and 18th days of exposure, the decrease in the concentration of heavy metal Pb was 3.71, 2.65, 0.80, and 0.14 ppm, respectively, the concentration of heavy metal Cu decreased by 4.09, 2.85, 0.31 and 0.26 ppm. The average absorption rate of heavy metal Pb at exposure times of 9, 12, 15, and 18 days, respectively, was 0.8, 0.14, 0.24 and 0.23 ppm, heavy metal Cu was 0.23, 0.28, 0.40 and 0.33 ppm, respectively. Morphological changes were the appearance of 2-3 new shoots for each treatment, the stems were slightly bent, the leaves had a yellow to brown color change and brown spots throughout the treatment and on the 18th day one of the leaves died. The initial results of statistical tests for Pb and Cu metals are suing 0.05, where the data are normally distributed and homogeneously. The results of the one way Anova test has a value of self = 0.000 < 0.05 or these an effect of the length of exposure time and the post hoc test results Pb is worth 0.05 while some Cu metals are worth 0.05

Keywords: Phytoremediation, heavy metals, water jasmine (*Echinodorus radicans*), lead (Pb), copper (Cu).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKAS.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Batasan Penelitian	9
1.6 Hipotesis Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Deskripsi Pengertian Batik.....	11
2.2 Batik Sendang Lamongan	12
2.3 Pencemaran Air.....	15
2.3.1 Pencemaran Air Tanah dari Tangki Septik.....	15
2.3.2 Pencemaran Limbah Industri dan Domestik	16
2.3.3 Pencemaran oleh Pupuk Pertanian	16
2.3.4 Pencemaran oleh Residu Pestisida	16
2.4 Karakteristik Limbah Cair Batik.....	17
2.4.1 Karakteristik Fisik	17
2.4.2 Karakteristik Kimia	19
2.5 Logam Berat Pb.....	20

2.6	Logam Berat Cu	21
2.7	Fitoremediasi.....	22
2.7.1	Mekanisme kerja fitoremediasi.....	24
2.7.2	Mekanisme Penyerapan dan Akumulasi Logam Berat oleh Tumbuhan.	26
2.8	Tanaman Melati air (<i>Echinodorus radicans</i>).....	28
2.9	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS).....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Rancangan Penelitian	33
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	34
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	34
3.3.1	Alat.....	34
3.3.2	Bahan.....	35
3.4	Variabel Penelitian.....	35
3.5	Prosedur Penelitian.....	36
3.5.1	Persiapan Bahan.....	36
3.5.2	Tahap aklimatisasi	36
3.5.3	<i>Range Finding Test</i> (RFT).....	37
3.5.4	Proses Fitoremediasi	38
3.5.5	Pengambilan Data	38
3.6	Analisis Data	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Karakteristik Limbah Cair <i>Home Industry</i> Batik Sendang	45
4.2	Penurunan Logam Berat Pb dan Cu dalam Limbah Cair Batik oleh Tumbuhan Melati Air (<i>Echinodorus radicans</i>).....	49
4.3	Morfologi tumbuhan melati air (<i>Echinodorus radicans</i>).....	51
4.4	Laju Penyerapan Logam Berat Pb dan Cu oleh Tumbuhan Melati Air	56
4.5	<i>Removal Efficiency</i> atau Daya Penyerapan Tumbuhan Melati Air (<i>Echinodorus radicans</i>).....	62
4.6	pH atau Derajat Keasaman.....	67
4.7	Suhu	70
4.8	Fitoremediasi Tumbuhan Melati Air dalam Integrasi Keislaman.....	72
BAB V PENUTUP.....		75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	86



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian	35
Tabel 3.2. Jadwal Penelitian.....	35
Tabel 4.1. Karakteristik Fisik Limbah Cair <i>Home industry</i> Batik Desa Sendang	47
Tabel 4.2. Konsentrasi Akhir Pb dan Cu Limbah Cair Batik Pada Media Air	50
Tabel 4.3. Perubahan Morfologi Melati Air Berdasarkan Lama Waktu Pemaparan	53
Tabel 4.4. Hasil Analisa Kandungan Logam Berat Pb dan Cu Pada Akar Melati Air.....	57
Tabel 4.5. Laju Penyerapan Tumbuhan Melati Air Pada Variasi Lama Waktu Pemaparan	60
Tabel 4.6. Removal <i>Efficiency</i> atau Daya Serap Tumbuhan Melati Air.....	64
Tabel 4.7. Uji Post Hoc Terhadap Daya Serap Logam Berat Pb Melati Air.....	67
Tabwl 4.8. Uji Post Hoc Terhadap Daya Serap Logam Berat Cu Melati Air.....	67

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tanaman Melati Air	29
Gambar 4.1. Grafik Penurunan Logam Berat Pb Cu Dalam Air Limbah Batik	51
Gambar 4.2. Klorosis dan Nekrosis Daun	54
Gambar 4.3. Daun Mengalami Mati Kering	54
Gambar 4.4. Muncul Tunas Baru Di Hari ke-9, 12, 15, dan 18	54
Gambar 4.5. Grafik Kandungan Logam Berat Pb dan Cu Pada Akar Melati Air.	58
Gambar 4.6. Grafik Laju Penyerapan Logam Berat Pada Akar Melati Air.....	61
Gambar 4.7. Grafik <i>Removal efficiency</i> Logam Berat Pb dan Cu	65
Gambar 4.8. Grafik pH Selama Fitoremediasi Variasi Lama Waktu Pemaparan.	69
Gambar 4.9. Grafik Suhu Selama Fitoremediasi Variasi Lama Pemaparan	72
Gambar 1. Pengambilan Sempel Limbah Cair Batik.....	88
Gambar 2. Dokumentasi Pemilik Industri Batik Rumahan Desa Sendang	88
Gambar 3. Melati Air Pada Tahap Aklimatisasi	89
Gambar 4. RFT Hari ke-0	89
Gambar 5. RFT Hari ke-3	89
Gambar 6. RFT Hari ke-6	89
Gambar 7. RFT Hari ke-9	89
Gambar 8. Fitoremediasi Hari ke-9.....	90
Gambar 9. Fitoremediasi Hari ke-12.....	90
Gambar 10. Fitoremediasi Hari ke-15.....	90
Gambar 11. Fitoremediasi Hari ke-18.....	90
Gambar 12. Hasil Awal Pengujian Limbah Cair Batik.....	94
Gambar 13. Hasil Akhir Pengujian Limbah Cair Batik Air dan Akar Tumbuhan	94

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	88
LAMPIRAN II	89
LAMPIRAN III.....	90
LAMPIRAN IV.....	92
LAMPIRAN V	95



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan kekayaan budaya melimpah yang hingga saat ini melestarikan karya seni budaya turun menurun yaitu salah satunya industri batik. Industri batik di Indonesia terbagi dalam beberapa kategori, diantaranya industri skala besar, menengah, kecil, hingga skala rumah tangga (*Home industry*). Perkembangan industri batik yang umum dijumpai di Indonesia adalah produksi berskala rumah tangga (*Home industry*). Hal tersebut didasari untuk mempertahankan corak dan kualitasnya. Adanya industri batik mampu memberikan kontribusi berupa ketersediaan lapangan kerja. Selain itu, hasil samping produksi batik berupa limbah cair akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah merupakan hasil dari sisa pembuatan suatu kegiatan manusia yang sudah tidak terpakai, tidak memiliki nilai ekonomi, dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak diolah dengan baik dan benar (Oktavia dkk, 2016). Menurut Indrayani (2019) Kebanyakan industri batik skala rumahan (*Home industry*) jarang ditemukan Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) batik. Sehingga limbah cair yang belum dikelola dan dibuang ke lingkungan akan menyebabkan permasalahan lingkungan.

Permasalahan yang terjadi dalam produksi batik adalah limbah cair yang dihasilkan. Menurut Indrayani (2019) limbah cair batik dihasilkan dari proses pelepasan malam (Pelorodan) dan pencucian kain batik. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam limbah cair batik identik dengan keberadaan logam berat. Kandungan logam berat dalam limbah cair batik yang masuk kedalam badan air umumnya melebihi batas baku mutu air dan memiliki dampak negatif

bagi makhluk hidup. Hal tersebut dikarenakan partikel-partikel logam berat yang sulit teruraikan (*non-degradable*) oleh mikroorganisme. Limbah cair batik umumnya mengandung logam berat dari zat pewarna yang berasal selama proses pewarnaan kain batik. Zat warna yang digunakan dalam proses pewarnaan umumnya termasuk dalam senyawa aromatik kompleks dengan karakteristik sukar terburai (Eskani dkk, 2005).

Ciri-ciri umum limbah cair batik diantaranya bewarna pekat kental dengan warna cerah hingga kehitaman, berbau tajam, tingkat kekeruhan tinggi dan memiliki tingkat kadar fenol, sulfida, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) serta keasaman (pH) yang tinggi. Selain itu, kandungan logam berat juga terkandung dalam limbah cair batik yang bersifat sukar larut, misalnya logam Pb, Cu, Cr, Cd, Zn dan padatan tersuspensi serta zat organik lainnya (Oktavia dkk, 2016). Penelitian terdahulu oleh Agustina dkk (2011) pada sampel limbah cair pencelupan batik cap khas Palembang menyatakan bahwa dalam limbah cair batik tersebut mengandung beberapa logam berat yaitu Cr (chrom total), Fe (besi), Cu (tembaga), Zn (seng), Cd (kadmium), dan Pb (timbal) dengan standar baku mutu air diatas rata-rata. Adapun kandungan logam Cd, Cu dan Pb dalam limbah cair batik berasal dari zat warna reaktif (zat organik). Sedangkan logam Zn dan Cu dari zat pewarna sintesis naphthol dan pewarna ergan soja menghasilkan logam Cr maupun Cu (Eskani dkk, 2005).

Kondisi lingkungan yang tercemar limbah cair batik akan menjadi keruh akibat pencampuran zat warna dari proses pewarnaan. Ciri khas pewarna sintesis batik akan memberikan warna cerah yang sukar memudar pada kain.

Pewarna batik mengandung senyawa organik dengan kadar tinggi yang jika terakumulasi dan masuk kedalam siklus rantai makanan dapat menyebabkan berbagai penyakit bagi makhluk hidup (Nurbidayah dkk, 2014). Puspita (2011) mengungkapkan bahwa penggunaan berbagai jenis bahan pewarna sintesis pada limbah, maka akan mengandung banyak logam berat.

Adapun karakteristik fisik limbah cair *home industry* batik desa sendang kabupaten Lamongan sendiri berwarna coklat kehitaman, terlihat keruh kental, berminyak dan sedikit berbau. Sementara itu, berdasarkan karakteristik kimia yakni nilai pH dalam limbah cair berkisar $>8,5$ atau bersifat basa. Pada hasil uji pendahuluan kandungan logam berat di laboratorium terhadap limbah cair batik disalah satu *home industry* batik di desa Sendang kabupaten Lamongan, diketahui mengandung beberapa logam berat yakni logam berat Pb (61, 58 ppm), (Cd 48, 12 ppm), Cu (58, 60 ppm), Cr (34, 84 ppm), dan Zn (51, 82 ppm), namun kadar logam berat ini dapat berubah seiring dengan waktu pengambilan sampel limbah cair batik. Oleh karena itu, berdasarkan hasil uji tersebut kandungan logam berat terbesar dimiliki oleh senyawa Pb dan Cu.

Keberadaan logam Pb dialam umumnya berikatan dengan molekul lain seperti $PbBr_2$ dan $PbCl_2$. Kandungan Pb dalam bentuk oksida dapat dijumpai pada pewarna dalam industri tekstil (Gusnita, 2012). Limbah yang mengandung logam Pb (timbal) dipastikan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Hidayati, 2020). Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 berkenaan dengan pengelolaan kualitas air dan penanggulangan pencemaran air disebutkan bahwa batas baku mutu timbal (Pb) dalam badan air sebesar 0,03 mg/L (Husainy dkk, 2014). Selain itu, logam berat Pb diketahui sebagai zat

berbahaya bagi makhluk hidup. Adapun dampak bagi makhluk hidup terutama akan mempengaruhi kesehatan. Dampak yang ditimbulkan diantaranya menyebabkan perubahan pada ukuran dan bentuk eritrosit (sel darah merah) sehingga tubuh manusia merespon sebagai tekanan darah tinggi hingga sistem saraf, fungsi ginjal dan paru-paru terganggu serta rusaknya sistem reproduksi. Selain orang dewasa paparan Pb juga berdampak pada anak-anak yaitu berkurangnya nilai IQ manusia dan terjadi gangguan mental (Gusnita, 2012)

Pada kandungan tembaga (Cu) dalam limbah cair (*Home industry*) batik sedang juga cukup tinggi yaitu sebesar 58,60 ppm. Nilai tersebut tidak sesuai standar baku mutu tembaga (Cu) diperairan yang menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 yakni sebesar 0,02 mg/L. Logam berat Cu (Tembaga) termasuk senyawa mikro yang diperlukan dalam proses metabolisme suatu organisme baik didarat atau diperairan dengan jumlah sangat sedikit. Jika logam ini terserap secara terus-menerus oleh organisme perairan akan menimbulkan dampak serius (Astuti, 2018). Dampak meningkatnya kadar Cu yang masuk ke perairan dan rantai makanan mampu menyebabkan masalah kesehatan. Beberapa penyakit yang timbul diantaranya hilangnya fungsi lidah, menurunnya nafsu makan, organ hati rusak, anemia, gangguan pencernaan hingga mengakibatkan kematian (Nilamsari dan Fida, 2019)

Manusia sebagai salah satu makhluk ciptaan Allah SWT memiliki peran untuk melestarikan dan memanfaatkan lingkungan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya sebaik-baiknya. Namun kerusakan lingkungan oleh pencemaran limbah cair di perairan sebagian besar disebabkan oleh perbuatan manusia.

Allah SWT sangat tidak menyukai adanya kerusakan yang terjadi pada penciptaannya, sebagaimana Allah SWT telah berfirman dalam Surat Q.S Ar-Ruum ayat 41:

41 ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Terjemahan: telah nampak kerusakan didarat dan dilaut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka (kembali ke jalan yang benar) (Al Qur'an dan terjemahannya, 1989: 647)

Berdasarkan dalil ayat diatas menyebutkan bahwasanya menjaga lingkungan merupakan fardhu kifayah yang termasuk kewajiban bersama bagi umat manusia. Adapun cara pencegahan kerusakan lingkungan diantaranya mengurangi penggunaan barang yang memicu pencemaran (*reduce*), memakai kembali barang yang masih berguna (*reuse*), mendaur ulang barang yang bermanfaat dikemudian hari (*recycle*), memanfaatkan mikroorganisme pengurai (bioremediasi) dan menggunakan tumbuhan untuk mengurangi polutan baik ditanah maupun diair (fitoremediasi) (Patandangan, 2014)

Perbaikan lingkungan tercemar dapat dilakukan dengan menggunakan tumbuhan yang berfotosintesis dan disebut sebagai metode fitoremediasi. Metode ini diharapkan mampu mengatasi permasalahan lingkungan dalam kurun waktu satu dekade terakhir. Pada pengaplikasian tumbuhan sebagai agen fitoremediator telah dibuktikan dalam segi ekonomi yang tidak memerlukan banyak biaya. Hal ini lebih rendah jika dibandingkan dengan metode berlandaskan rekayasa (Hidayati, 2005). Metode fitoremediasi selain mampu menurunkan konsentrasi zat pencemar yang terkandung diatas ambang baku mutu metode fitoremediasi juga dapat diterapkan dalam penanganan limbah B3 hingga limbah radioaktif (Viobeth dkk, 2013). Berdasarkan pernyataan

penelitian oleh Anam (2013) bahwa tumbuhan yang digunakan pada pengolahan air limbah umumnya adalah tumbuhan akuatik. Hal tersebut didasari karena tumbuhan akuatik dapat beradaptasi dan lebih efisien dalam mengolah kandungan logam berat limbah cair sehingga menjadi tidak berbahaya. Selain itu, menurut Baroroh dan Irawanto (2016) tumbuhan agen fitoremediator yang memiliki karakteristik untuk memenuhi syarat yaitu tumbuhan tersebut tidak termasuk tumbuhan obat, bahan pangan atau pakan berbagai macam ternak.

Tumbuhan merupakan salah satu makhluk hidup ciptaan Allah SWT sebagai bentuk kekuasaannya yang dapat dimanfaatkan dan dipelihara manusia. Hal ini telah tertuang dan diperjelas dalam firman Allah SWT pada Q.S Al-Luqman ayat 10:

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ * وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ 10

Terjemahan: “Dia menciptakan langit tanpa tiang sebagaimana kamu melihatnya, dan dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi agar ia (bumi) tidak menggoyahkan kamu, dan memperkembangbiakan segala macam jenis makhluk bergerak yang bernyawa di bumi. Dan kami turunkan air hujan dari langit lalu kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik.” (Q.S Al-Luqman: 10; Kementerian Agama RI Tahun 2002)

Salah satu tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini adalah melati air (*Echinodorus radicans*). Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Wibowo, dkk (2014) tentang pengolahan air lindi di TPA Batu Layang kota Pontianak mengungkapkan bahwa penggunaan tumbuhan *Echinodorus radicans* dapat mengakumulasi logam berat Cu, Fe, dan Zn berturut-turut sebesar 82,9%, 92,3%, dan 90,5%. Penyerapan logam dilakukan oleh akar dan diakumulasikan ke organ lain tumbuhan, misalnya bagian batang dan jaringan daun. Menurut

Caroline dan Guido (2015) dalam penelitiannya menggunakan tumbuhan melati air (*Echinodorus palaefolius*) dapat menyerap logam timbal (Pb) dalam limbah industri peleburan tembaga dan kuningan sebesar 4,87 mg/Kg dengan presentase penyisihan sebesar 81,72% serta efisiensi akumulasi oleh *Echinodorus radicans* sebanyak 55,97%. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Perwitasari, dkk (2018) menyatakan bahwa *Echinodorus radicans* dengan pemberian logam berat Pb 4 ppm dan memiliki nilai efektivitas sebesar 89,59%.

Selain itu, Pada penelitian Santriyana, dkk (2013) menyatakan bahwa tumbuhan *Echinodorus palaefolius* memiliki efektivitas dalam menyerap logam Aluminium (Al) pada limbah cair Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) PDAM kota Pontianak paling baik sebesar 96,46%. Meski memiliki nilai efektivitas paling tinggi, namun memiliki daya ketahanan hidup rendah yang ditandai oleh perubahan morfologi. Kurniawati (2018) mengungkapkan dalam penelitiannya bahwa melati air (*Echinodorus palaefolius*) dapat mengakumulasi logam Pb dan Cu dengan perlakuan pemberian limbah sungai opak. Kandungan logam Pb yang terakumulasi pada daun di dalam sel dan jaringan epidermis, spons, dan palisade sebesar 0,0068 mg/L dan logam Cu sebesar 0,0075%. Berdasarkan pemaparan oleh penelitian-penelitian sebelumnya yang telah disebutkan terkait penggunaan melati air (*Echinodorus radicans*) dalam beberapa pengolahan limbah mengandung logam. Maka dari itu tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dianggap memiliki potensi sebagai agen fitoremediator logam berat dari limbah cair batik karena masih satu marga dengan *Echinodorus palaefolius* (Baroroh dan Irawanto, 2016).

Berdasarkan pada penelitian terdahulu tentang fitoremediasi, dalam penelitian ini menggunakan pemanfaatan tumbuhan akuatik yaitu melati air (*Echinodorus radicans*) selaku agen fitoremediator untuk dapat menekan tingginya kadar logam berat dalam limbah cair *Home Industry* Batik desa Sendang. Tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) juga memiliki nilai estetika diperairan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, penulis terdorong untuk melakukan penelitian dengan judul **“Potensi Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*) Terhadap Penurunan Kadar Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Limbah Cair *Home Industry* Batik di Desa Sendang Kabupaten Lamongan”**.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana potensi tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dalam mengurangi kandungan logam berat Pb dan Cu pada limbah cair *home industry* batik di desa Sendang Kabupaten Lamongan?
2. Bagaimana perubahan morfologi tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dalam menyerap kadar logam berat Pb dan Cu terhadap limbah cair *home industry* batik di desa Sendang Kabupaten Lamongan selama proses fitoremediasi?
3. Berapa lama waktu optimal penyerapan kadar logam berat Pb dan Cu pada limbah cair *home industry* batik di desa Sendang Kabupaten Lamongan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui potensi tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dalam mengurangi kadar logam berat Pb dan Cu pada limbah cair *home industry* batik di desa Sendang Kabupaten Lamongan.

2. Mengetahui adanya perubahan morfologi (batang dan daun) tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) selama proses fitoremediasi.
3. Mengetahui waktu optimal melati air (*Echinodorus radicans*) dalam menyerap kadar Pb dan Cu pada limbah cair *home industry* batik.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai penanganan adanya limbah cair batik dengan mendayagunakan tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) melalui cara fitoremediasi sehingga dapat diterapkan langsung di lingkungan tercemar.
2. Menambah pengetahuan dalam mengurangi kadar pencemar limbah cair batik Pb dan Cu pada lingkungan dengan metode fitoremediasi.

1.5 Batasan Penelitian

1. Tanaman yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanaman melati air (*Echinodorus radicans*) berukuran 50-70 cm dengan umur 2-3 bulan.
2. Sampel penelitian yang dibutuhkan yaitu limbah cair *Home Industry* batik di Desa Sendangagung, Kabupaten Lamongan.
3. Jumlah tanaman yang digunakan sebanyak 16 tanaman.
4. Pengukuran dilakukan setiap variasi lama waktu yakni 9 hari, 12 hari, 15 hari dan 18 hari pengamatan meliputi pengukuran suhu, pH air, dan ciri fisik atau morfologi tanaman melati air yaitu perubahan warna daun dan batang.

1.6 Hipotesis Penelitian

HO: Tidak terdapat pengaruh variasi lama waktu (hari) dalam penyerapan limbah cair *home industry* batik terhadap tanaman melati air (*Echinodorus radicans*).

Ha: Terdapat pengaruh variasi lama waktu dalam penyerapan limbah cair *home industry* batik terhadap tanaman melati air (*Echinodorus radicans*).



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi Pengertian Batik

Salah satu penyebutan kata yang tidak asing bagi sebagian besar masyarakat Indonesia bila mendengar kata batik akan mengarah pada suatu lembar kain batik. Batik sendiri merupakan produk output suatu kain yang dikerjakan secara khusus oleh seseorang dengan keahlian membatik yang dituang dalam corak dan motif khas daerah tersebut. Berdasarkan Tim Penyusun (2002) kata batik yang tercantum dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia menerangkan arti batik sebagai kain bergambar yang dalam pembuatannya dilakukan secara khusus dengan menggunakan malam (lilin) untuk menuliskan motifnya pada kain. Lalu pada proses pengolahannya dengan cara tertentu. Adapun menurut seorang seniman pelukis Amri Yahya dalam Asti Musman dan Arini (2011) menjelaskan kata batik sebagai suatu karya seni berobjek kain polos yang menuangkan unsur ornament dalam proses telup-celup. Secara nasionalis sebuah batik sebagai karya bangsa yang dihasilkan memiliki arti yang berhubungan dengan tradisi, kepercayaan, norma-norma, dan perilaku masyarakat. Arti tersebut terlukis indah dalam setiap motif dan warna yang beraneka ragam. Pada umumnya makna disetiap kain batik dilambangkan dengan gambar tumbuhan, hewan maupun kesenian lainnya sesuai asal daerah masing-masing batik.

Umumnya penggunaan bahan baku utama dalam industri kesenian batik yaitu malam dan pewarna alami maupun sintetik (buatan). Malam dalam pembuatan batik terbuat dari kombinasi bahan sintetik organik bahan non sintetik. Peran malam adalah untuk menghalangi warna dalam proses

pembatikan. Komposisi dalam pembuatan malam terdiri dari beberapa bahan diantaranya damar mata kucing, kote (lilin lebah), paraffin, gondorukem atau resina colophonium, microwax, Kendal dan lilin bekas (residu pematikan) (Apriyani, 2018). Bahan utama yang sangat penting selain malam adalah pewarna. Pewarna alami batik didapatkan dari alam meliputi hewan, tanaman maupun bahan metalik. Zat warna yang paling banyak digunakan berasal dari tumbuhan, misalnya *Indigofera* (warna biru), *Bixa orrellana* (warna orange purple), dan *Morinda citrifolia* (warna kuning hingga jingga). Selain itu, pewarna yang dihasilkan oleh hewan diantaranya berasal dari kerang (warna Tyran purple), insekta (warna Ceochikal), dan insekta warna merah (warna Loe). Adapun pewarna sintetis merupakan zat warna yang berbahan dasar buatan diantaranya hidrokarbon, aromatik dan naftalena (batubara). Macam-macam zat pewarna sintetis yaitu rapide, ergan soga, naphthol, kopel soga dan Procion (Apriyani, 2018).

2.2 Batik Sendang Lamongan

Kerajinan kain batik pada dasarnya sangat dikenal masyarakat Indonesia yang diproduksi di Provinsi Jawa Tengah, tepatnya di kota Pekalongan, Solo, dan Yogyakarta. Ketiga kota ini dapat dikatakan sebagai pusat utama bagi kerajinan batik dan oleh UNESCO mengukuhkan batik sebagai Warisan Kemanusiaan untuk Budaya Lisan dan Nonbendawi. Kesenian batik sendiri sering dikaitkan dengan keberadaan kerajaan Majapahit di pulau Jawa yang diiringi adanya pertumbuhan agama Islam. Perkembangan batik tidak hanya meliputi pulau Jawa, namun kesenian batik telah berkembang dan menyebar hingga seantero daerah di Indonesia dengan ciri khas masing-masing. Batik yang dihasilkan akan memiliki motif dan corak tersendiri di setiap daerah.

Sehingga, tidak dapat dipungkiri jika disetiap daerah di Indonesia memuat motif dan corak yang berbeda-beda. Salah satu motif batik yang terkenal di Jawa Timur adalah motif batik dari salah satu daerah di Lamongan. Lamongan mempunyai cukup banyak motif dan corak yang biasa disebut dengan batik sendang. Dinamakan batik sendang karena sentra batik Lamongan terdapat di desa Sendangagung dan Sendang Duwur, maka dari itu disebut motif batik sendang (Shofiyah, 2015)

Keterampilan seni membatik bagi masyarakat Desa Sendangagung didapatkan warga dari satu generasi ke generasi selanjutnya dengan bantuan bimbingan dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Lamongan. Jika ditelisik berdasarkan sejarah kesenian, batik merupakan karya seni budaya yang tertuang dalam beraneka ragam goresan gambar dengan motif dan makna tersendiri dari setiap daerah secara turun-temurun. Motif batik sendang dibuat dengan ciri khas gambar dari warisan leluhur terdahulu dan memiliki suatu arti tersendiri. Kendati demikian perlu diketahui bersama bahwa di Kabupaten Lamongan juga memiliki industri batik tulis, tepatnya di Desa Sendangagung, Kecamatan Paciran. Batik Sendang merupakan salah satu jenis batik yang dikerjakan dan dibuat oleh masyarakat Desa Sendangagung dengan cara tradisional turun temurun yang dilukis dengan menggunakan medium malam (lilin), canting, kain dan zat pewarna. Lahirmya batik sendang diprediksi telah ada dari zaman istri Raden Noer Rochmat atau diketahui sebagai istri sunan Sendang yaitu Dewi Tilarsih kurang lebih pada abad 15 akhir. Dewi tilarsih merupakan salah satu tokoh utama yang memelopori dan mengajarkan kesenian batik dari daerah asalnya. Para warga Desa Sendangagung yang

tertarik dengan adanya keterampilan membatik sebagian besar adalah kaum wanita. Hal tersebut didasari oleh kesenian membatik yang umumnya dikerjakan dirumah oleh kebanyakan ibu rumah tangga. Maka oleh sebab itu, sejak adanya kesenian membatik para wanita berdiam dirumah dan batik yang dihasilkan lebih dikenal sebagai batik sendang produksi rumahan (*Home Industry*). Keterampilan batik membatik ini selanjutnya secara turun temurun diwariskan dan diajarkan oleh para kaum wanita kepada anak-anak dan cucunya. Sedangkan bagi para pria Desa Sendangagung mayoritas bekerja sebagai pembuat emas di suatu tempat yang disebut besali (Nafisah, 2019)

Berdasarkan data penelitian oleh Nafisah (2019) menyatakan adanya sekitar 11 industri batik sendang yang bertahan hingga akhir tahun 2019. Industri batik tersebut sebagian besar adalah industri rumahan (*Home Industry*) yang dapat mempekerjakan 7 hingga 12 tenaga kerja dengan keseluruhan anggotanya perempuan. Batik sendang yang diproduksi kebanyakan menggunakan teknik pembuatan batik tulis. Namun sangat disayangkan pada hasil akhir pembatikan (limbah cair) yang masih dibuang sembarang karena sebagian besar rumah produksi batik sendang belum memiliki tempat pembuangan dan pengolahan limbah yang layak. Menurut salah satu pengrajin batik sendang, limbah cair yang dihasilkan umumnya diletakkan pada lubang tanah pada musim kemarau dan akan dibuang ke sungai setempat pada musim hujan (Indah, 2019). Pada awal mula keberadaan batik para pengrajin batik hanya memiliki satu motif. Namun seiring berkembangnya zaman, motif batik dimodifikasi beraneka macam dengan tidak meninggalkan ciri khasnya untuk menarik permintaan pasar (Nafisah, 2019).

2.3 Pencemaran Air

Pencemaran air dapat diartikan sebagai proses keikutsertaan suatu makhluk hidup, zat, energi dan atau materi lain pada badan air yang disebabkan aktivitas manusia bersifat merugikan. Oleh karena itu akan terjadi penurunan tingkat kualitas air hingga ke tingkat tertentu yang berakibat pada pengurangan fungsi perairan. Kata air memiliki pengertian yaitu suatu sumber daya alam yang secara primer sangat dibutuhkan kehadirannya dimuka bumi oleh seluruh jenis makhluk hidup. Maka oleh sebab itu sumber daya air sudah sepantasnya dijaga dengan baik dan melindungi kualitasnya agar tetap mampu dipergunakan oleh manusia maupun makhluk hidup yang lain dalam keberlangsungan hidupnya hingga waktu yang tak terbatas (Effendi, 2003).

Pencemaran air dalam prosesnya mencakup seluruh zat kontaminan yang tidak dapat terurai secara alami oleh air bahkan jika ditambahkan ke badan air. Apabila tingkat kualitas air melampaui kapasitas air dalam penguraiannya, disebut dengan istilah polusi. Polusi jika dalam kondisi tertentu dapat terjadi secara alamiah, dimana jika air tersebut merembes melewati celah-celah tanah dengan derajat keasaman yang cukup tinggi. Akan tetapi pada kasus yang acap kali ditemukan yaitu polusi dalam air yang disebabkan oleh perilaku manusia yang gegabah, sehingga zat-zat polutan masuk kedalam badan air. Menurut pernyataan oleh Sembel (2015). Berikut dapat dijabarkan sumber-sumber dari adanya pencemaran air yaitu:

2.3.1 Pencemaran Air Tanah dari Tangki Septik

Pencemaran air yang umum dijumpai masyarakat yaitu terjadinya perembesan zat-zat kontaminan dalam struktur tanah. Bercampurnya zat kontaminan tersebut dalam air secara tidak langsung akan bergerak

menyusupi air sumur, danau atau sungai dengan bentuk yang disebut tangki septik. Namun perwujudan tangki septik terkadang tidak memenuhi syarat pembangunan. Tangki septik merupakan salah satu asal muasal bahan pencemar pada daerah padat penduduk seperti logam berat, mikroba jenis patogen serta beberapa senyawa lainnya seperti nitrogen dan klorin.

2.3.2 Pencemaran Limbah Industri dan Domestik

Pada pencemaran jenis ini yang termasuk yaitu penyisihan dari limbah industri, bekas pemakaian insektisida dan berbagai sampah domestik misalnya, sisa detergen, kotoran manusia (*sewage*), kaleng bekas dan segala produk plastik seperti gelas dan botol air minum plastik serta beberapa macam pelapis dari plastik lainnya yang dicampakkan sesuka hati seseorang akan berdampak mencemari air dan lingkungan.

2.3.3 Pencemaran oleh Pupuk Pertanian

Pencemaran ini dapat terjadi jika pupuk yang digunakan dalam pertanian menyusup masuk ke dalam air tanah melalui celah-celah dan berlanjut mengalir ke aliran sungai ataupun danau. Sehingga perlahan-lahan akan terakumulasi di bagian sungai atau danau paling dasar dan selanjutnya menimbulkan terjadinya proses eutrofikasi. Adapun pengertian eutrofikasi yaitu suatu penumpukan mineral didasar perairan sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan pertumbuhan alga atau disebut dengan istilah *blooming*.

2.3.4 Pencemaran oleh Residu Pestisida

Penerapan bahan pestisida sebagai bentuk langkah dalam pengendalian berbagai hama tanaman memiliki dampak negatif jika zat

tersebut sebagian besar merisak masuk dalam tanah, selokan, sungai, danau dan bermuara ke arah laut. Zat sisa dari pestisida ini secara tidak langsung akan terserap ikan selama proses pernafasan lalu mengendap dalam tubuh dan melalui reaksi bioakumulasi yang pada akhirnya masuk ke dalam tubuh manusia jika dikonsumsi. Adanya zat sisa dalam tubuh manusia tersebut mampu menimbulkan suatu penyakit kanker, mutagenik ataupun teratogenik.

2.4 Karakteristik Limbah Cair Batik

Air limbah atau biasa disebut dengan limbah cair merupakan perpaduan air dan bahan pencemar yang terlarut hingga tersuspensi dalam air. Sumber bahan pencemar dapat dihasilkan oleh limbah domestik maupun limbah industri. Sumber limbah domestik meliputi area perkantoran, perumahan, dan sektor perdagangan (pasar tradisional) (Arimbi, 2017). Selain itu, sumber limbah industri dapat berasal dari suatu produksi berskala besar (*industry*). Sumber limbah cair industri batik pada umumnya dihasilkan dari kegiatan pengolahan kain, proses pewarnaan dan pelorodan. Karakteristik limbah cair pada dasarnya terbagi menjadi tiga kelompok sifat yaitu fisik, kimia dan biologi. Menurut Eskani dkk (2005) menyatakan bahwa limbah cair batik hanya memiliki sifat fisik dan kimia yang dapat dideskripsikan sebagai berikut:

2.4.1 Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik terdiri dari aroma, warna, suhu, padatan terlarut dan kekeruhan. Berikut perincian dari masing-masing karakter:

a. Aroma

Umumnya limbah cair batik menghasilkan aroma yang tidak sedap dan cukup tajam serta menyengat. Aroma tersebut disebabkan adanya

kandungan berupa sulfida dan ammonia dari hasil penguraian zat organik maupun anorganik (Siregar, 2008).

b. Warna

Limbah cair batik berwarna pekat dan keruh, seperti warna hitam, coklat kehitaman maupun warna lainnya sesuai kebutuhan masing-masing industri batik. Pada hal ini partikel seperti terlarut dissolved, partikel tersuspensi suspended, dan senyawa-senyawa koloidal lainnya dapat menyebabkan warna pada limbah cair batik. Selain itu, air limbah batik juga akan menghasilkan buih-buih (Siregar, 2008).

c. Suhu

Menurut Djoharam dkk (2018) Suhu optimal suatu perairan daerah tropis dengan kondisi baik berkisar antara 28–32° C, dimana suhu tersebut dinilai baik bagi pertumbuhan biota air. Nilai suhu dalam suatu perairan tercemar mengindikasikan adanya proses pengolahan terhadap penurunan kadar limbah cair batik. Pada proses penyerapan zat-zat kontaminan, suhu dalam air tercemar batik secara tidak langsung mampu mempengaruhi mekanisme fotosintesis dan metabolisme agen fitoremediator (tumbuhan). Selain itu, temperature/suhu dalam air di pengaruhi oleh kadar *Dissolved Oxygen* (DO) (Billah dkk, 2020).

d. Padatan dan Kekeruhan

Kandungan padatan dalam limbah cair batik terbagi menjadi floating, settleable, suspended atau dissolved. Sedangkan kekeruhan air limbah batik terjadi dari padatan atau koloid yang tidak dapat larut dalam air sehingga membentuk partikel-partikel. Adapun tingkat

kekeruhan air limbah yang tinggi dapat mengindikasikan adanya besaran kandungan kimia dalam limbah tersebut (Siregar, 2008).

2.4.2 Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia dari suatu perairan tercemar batik meliputi ion hidrogen (pH), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Dissolved Oxygen* (DO), ammonia, nitrit, nitrogen, karbohidrat, protein, lemak, minyak, surfaktan, alkali, asam, garam serta zat logam berat (Eskani dkk, 2005).

a. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Menurut Apriyani (2018) COD (*Chemical Oxygen Demand*) dapat diartikan sebagai volume oksigen yang dibutuhkan dalam mencacah bahan organik secara kimiawi. Tinggi rendahnya nilai COD dapat dengan mudah mempengaruhi kualitas air di perairan. Sedangkan, semakin tinggi nilai COD semakin rendah tingkat kualitas perairan tersebut.

b. *Dissolved Oxygen* (DO)

DO (*Dissolved Oxygen*) diartikan sebagai kadar volume oksigen terlarut dalam air. Pada perairan oksigen terlarut berperan penting dalam perkembangan hidup biota air. Kandungan oksigen terlarut dalam air yang menurun dapat menyebabkan kematian biota air yang diiringi timbulnya bau dan air berubah keruh, sehingga ini mengindikasikan air tersebut tercemar (Apriyani, 2018).

c. pH

Nilai pH pada limbah cair batik memiliki standar di bawah batas baku mutu air yaitu <6 (asam) hingga >9 (basa) yang menandakan bahwa pH tersebut tidak layak berada di lingkungan dengan lokasi dekat

pemukiman warga. Selain itu menurut pernyataan (Rukminasari dkk, 2014) bahwa jika nilai pH yang lebih rendah dari 4,8 dan lebih tinggi dari 9,2 seperti pada pengukuran awal pH limbah cair batik dapat disebut sebagai pH yang mengindikasikan perairan tersebut tercemar. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengolahan limbah cair batik sedemikian rupa secara kimiawi sebagai bentuk penjagaan lingkungan perairan dari pencemaran. Jika nilai pH dalam suatu perairan tidak stabil akan berdampak pada kelangsungan hidup mikroorganisme maupun organisme hidup dalam perairan. Selain itu, jika air tersebut dikonsumsi akan menjadi racun dan penyakit bagi tubuh. Hal ini dilatarbelakangi bahwa pH merupakan komponen penting dalam parameter kualitas air hingga air limbah batik yang dapat mempengaruhi oksigen terlarut dalam air serta kadar zat organik didalamnya. pH yang optimal atau baik bagi pertumbuhan biota air adalah pH netral dengan kisaran nilai 6-9 (Siswandari dkk, 2016).

2.5 Logam Berat Pb

Salah satu unsur kimia logam Pb (timbal) termasuk golongan IVA dalam Sistem Periodik Unsur Kimia. Bernomor atom 82 dengan berat atom 207,2, berbentuk padat dalam suhu kamar, memiliki titik lebur $327,4^{\circ}\text{C}$ dan 11,4/L nilai berat jenisnya. Senyawa Pb pada umumnya berikatan dengan molekul lain seperti dalam bentuk PbBr_2 dan PbCl_2 yang dapat dijumpai di alam bebas. Pemanfaatan logam berat Pb diantaranya yaitu sebagai bahan pengemas, saluran air, alat-alat rumah tangga dan campuran bahan baku hiasan. Selain itu, pada bentuk oksida timbal dapat digunakan dalam industri kosmetik sebagai campuran zat warna dan di industri keramik berguna sebagai bahan pembuatan

pelaratan rumah tangga. Senyawa timbal juga dapat masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pencernaan yaitu dari makanan (sayuran dan buah) atau saluran pernafasan (udara) yang terpapar Pb dalam bentuk aerosol organik dengan cara diabsorpsi (Gusnita, 2012).

Selain pemanfaatan senyawa timbal terdapat dampak yang akan muncul cukup serius terhadap kesehatan tubuh. Beberapa dampak tersebut diantaranya terjadi penurunan IQ dan menurunnya fungsi otak hingga mengalami kerusakan pada usia anak-anak. Logam berat Pb juga dikenal sebagai neuro toxin (racun syaraf) yang memiliki sifat kumulatif dan destruktif dalam sistem haemofilik, kardiovaskuler dan organ ginjal. Pada gejala paparan timbal yang dialami orang dewasa memiliki tanda-tanda seperti pusing, hilangnya selera makan, sakit kepala, kelelahan, anemia hingga mengalami keguguran. Bahkan dampak berbahaya yang timbul dapat mengakibatkan tekanan darah tinggi hingga terjadi perubahan bentuk dan ukuran eritrosit. Seseorang yang dapat dikatakan terpapar logam berat Pb yaitu jika telah mengkonsumsi 0,2 hingga 2 mg/hari. (Gusnita, 2012). Adapun senyawa Pb yang ditemukan pada hasil samping industri tekstil bersumber dari proses pewarnaan kain batik yang menggunakan pigmen atau zat warna kimia (Perwitasari dkk, 2018).

2.6 Logam Berat Cu

Unsur kimia Cu atau pada umumnya disebut logam berat tembaga merupakan salah satu logam esensial untuk kehidupan makhluk hidup sebagai elemen mikro. Logam berat Cu dalam keberadaanya dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif. Selain itu, logam ini juga berperan dalam pembentukan kompleks Cu-protein yang diperlukan bagi pembentukan hemoglobin, kolagen, dan pembuluh darah (Darmono, 1995).

Menurut pernyataan oleh Arisandy dkk (2012) bahwa logam berat tembaga (Cu) termasuk dalam kategori logam berdaya toksisitas cukup tinggi setelah logam berat arsen (As). Pada prosesnya, ion logam Cu dapat dengan mudah terakumulasi didalam jaringan tubuh. Jika kadar kandungan logam ini cukup tinggi yang masuk kedalam rantai makanan akan beresiko meracuni manusia tersebut. Pengaruh racun yang ditimbulkan dapat berupa muntah-muntah, timbulnya rasa seperti terbakar di daerah esofagus dan lambung, kolik, diare, yang kemudian disusul dengan hipotensi, nekrosis hati hingga mengalami koma (Supriharyono, 2000).

2.7 Fitoremediasi

Lingkungan perairan yang sering dijumpai memiliki beberapa tumbuhan air sebagai tempat siklus makhluk hidup. Sejumlah spesies tumbuhan akuatik tersebut diketahui mempunyai sifat toleransi terhadap keberadaan logam berat diperairan. Wawasan umum mengenai daya penyerapan logam berat oleh suatu spesies tumbuhan yang sesuai sebagai agen remediator lingkungan tercemar logam berat disebut dengan istilah fitoremediasi (Rahmadina dkk, 2019). Menurut istilah dalam bahasa Yunani kuno awal mula kata fitoremediasi yaitu *phyto* yang bermakna suatu tumbuhan atau tanaman dan kata *remediation* memiliki makna menanggulangi, memperbaiki, mengurangi hingga memulihkan. Oleh karena itu, arti kata fitoremediasi adalah suatu bentuk metode pendayagunaan tumbuhan dalam menanggulangi, memperbaiki, mengurangi hingga memulihkan lingkungan tertentu baik tanah maupun perairan yang tercemar zat polutan berbahaya. Pada prosesnya tumbuhan akan ditempatkan pada lingkungan tercemar tanpa mengambil dan memindahkan zat kontaminan ke lokasi yang lain (Rondonuwu, 2014).

Kelebihan dalam penggunaan tumbuhan selama proses fitoremediasi yaitu pengaplikasian tumbuhan dinilai lebih tahan terhadap lama waktu pemaparan konsentrasi yang cukup tinggi terhadap zat-zat kontaminan serta mampu menyerap dan mempercepat penekanan laju toksisitas logam berat tanpa mengganggu pertumbuhan suatu tumbuhan. Selain itu, tumbuhan hasil proses fitoremediasi yang termasuk limbah sekunder memiliki tingkat toksisitas lebih rendah. Seperti halnya kelebihan yang ada, kelemahan dalam metode fitoremediasi terdapat pada prosesnya yang membutuhkan waktu cukup lama serta kemungkinan besar terjadinya keracunan dari kontaminan yang masuk kedalam rantai makanan bagi hewan yang mengkonsumsinya (Pratomo, 2004). Metode fitoremediasi pada era modern ini mendapati perkembangan yang cukup realistis dengan adanya berbagai fakta bahwa penggunaannya dinilai lebih ekonomis dan cukup efektif dari metode sebelumnya. Berbagai penelitian-penelitian yang sudah lalu menggunakan metode fitoremediasi ini dinilai sungguh tepat guna untuk menurunkan kadar logam berat yang terkandung dalam limbah cair dengan penanaman tanaman hiperakumulator (Irawanto, 2010)

Beberapa sifat tumbuhan berikut dinilai mampu sebagai penentu tumbuhan yang digunakan dalam metode fitoremediasi, diantaranya yaitu memiliki perkembangan yang cepat, dapat menyerap zat kontaminan lebih dari satu jenis, mampu menyerap zat dalam jumlah banyak dengan waktu cukup singkat, dan mempunyai tingkat toleransi terhadap zat kontaminan yang tinggi. Selain itu, tumbuhan dipilih sistem perakaran kuat sebagai jalan detoksifikasi polutan. Pada proses penyerapan zat kontaminan oleh tumbuhan akuatik

dilakukan dengan membantu siklus udara dalam air saat terjadi fotosintesis. Bagian akar tumbuhan sangat memiliki peran penting dalam proses fitoremediasi untuk menyerap zat kontaminan didalam air melalui mekanisme kerja fitoremediasi. Selanjutnya zat yang telah terserap tersebut diedarkan ke seluruh bagian tumbuhan, sehingga air yang tercemar akan berangsur-angsur kehilangan zat toksiknya. Peran tumbuhan dalam meremediasi lingkungan tercemar dapat terjadi langsung maupun tidak langsung (Darma, 2020).

2.7.1 Mekanisme kerja fitoremediasi

Tahapan-tahapan dalam mengurangi berbagai zat pencemar atau polutan melalui mekanisme kerja fitoremediasi oleh agen fitoremediator pada umumnya yaitu diantaranya:

a. *Phytoaccumulation* (*phytoextraction*)

Merupakan cara mengakumulasi zat kontaminan dalam jumlah banyak berupa logam berat menggunakan bantuan bagian tumbuhan tepatnya diakar tumbuhan sebagai lokasi penyerapan utama. Lalu memindahkannya dengan menyalurkan senyawa kontaminan ke bagian tumbuhan seperti, akar, batang dan daun tanaman untuk selanjutnya dipanen dan digunakan sebagai salah satu bioenergi (Rahmadina dkk, 2019).

b. *Rhizofiltration*

Merupakan salah satu bentuk proses pengadsorpsian suatu senyawa kontaminan pada bagian akar tumbuhan serta digunakan sebagai tempat penempelannya.

c. *Phytostabilization*

Merupakan suatu cara untuk menekan laju mobilitas dan bioavailabilitas dengan memanfaatkan tumbuhan. Pada bagian tumbuhan yaitu akar akan menarik senyawa kontaminan tertentu yang tidak dapat ditranslokasikan ke bagian lain tumbuhan. Senyawa kontaminan yang terdapat pada akar akan melekat dengan erat (stabil) agar tak goyah tergerus arus air dalam media (Rahmadina dkk, 2019).

d. *Rhizodegradation*

Merupakan suatu mekanisme penguraian senyawa-senyawa kontaminan oleh tumbuhan yang dibantu dengan keaktifan mikroba yang berkumpul di sekitar akar tumbuhan.

e. *Phytodegradation (phyto-transformation)*

Merupakan prosedur remediasi terhadap senyawa kontaminan oleh bagian tumbuhan (daun, batang, akar) untuk mengubah molekul organik kompleks menjadi sederhana dalam proses metabolisme tumbuhan. Melibatkan sejumlah enzim yang dikeluarkan dalam jaringan tumbuhan seperti enzim dehalogenase dan oksigenase.

f. *Phytovolatilization*

Merupakan salah satu cara yang sering dilakukan oleh tumbuhan agen fitoremediator guna menyerap dan merubah senyawa kontaminan yang ada menjadi bersifat volatil (gas) dan tidak berbahaya. Selanjutnya zat tersebut diupkan melalui stomata daun ke atmosfer bebas (Irawanto, 2010).

2.7.2 Mekanisme Penyerapan dan Akumulasi Logam Berat oleh Tumbuhan

Pada mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan melalui air (*Echinodorus radicans*) dibagi menjadi tiga tahapan yang saling berkesinambungan menurut Hardiani (2009), tahapan-tahapan tersebut yakni sebagai berikut:

a. Tahap penyerapan oleh akar tumbuhan

Beberapa spesies tumbuhan akuatik memiliki cara menyerap polutan berbeda-beda. Metode penyerapan polutan dilakukan oleh akar tumbuhan. Namun dengan catatan, bentuk polutan tersebut telah menjadi larutan agar lebih mudah diserap dan diurai oleh serabut akar bersama air. Adapun jika senyawa tersebut bersifat hidrofobik, maka senyawa akan diserap oleh permukaan akar tumbuhan.

b. Tahap translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain

Tahapan ini berlangsung sesuai polutan yang berupa zat-zat logam berat menyerang masuk ke dalam endodermis akar. Selain itu, kandungan senyawa lainnya yang ada akan menuju jalur sistem transpirasi ke sisi atas tumbuhan melewati jaringan pengangkut yaitu xilem dan floem ke bagian tumbuhan lainnya seperti batang dan daun.

c. Tahap lokalisasi logam pada sel dan jaringan tumbuhan

Pada tahap ini dimaksudkan agar tumbuhan mampu menahan logam berat untuk tidak meracuni sel tumbuhan. Berdasarkan prosesnya yang disebut detoksifikasi yaitu menimbun logam berat dalam organ tertentu tumbuhan seperti bagian akar sebagai penghalang adanya hambatan selama proses metabolisme tumbuhan.

Tumbuhan yang digunakan sebagai agen fitoremediator biasanya memiliki kemampuan dalam menyerap zat kontaminan dan dapat ditranslokasikan pada bagian tertentu tumbuhan. Selama proses fitoremediasi zat kontaminan akan diserap pertama oleh bagian akar lalu diteruskan ke batang, tunas, daun, hingga bunga. Kadar logam berat dalam suatu tumbuhan dapat ditentukan paling tinggi di akar (Khodijah dkk, 2016). Pada bagian akar terjadi pengendapan logam berat ekstraseluler dalam dinding sel dan lapisan sitoplasma. Selain itu, akar akan membentuk suatu zat kelat (*fitosiderator*) untuk melekatkan logam berat dan membawanya ke dalam sel melewati transport aktif. Lalu selanjutnya terjadi pemindahan logam berat dari akar menuju bagian lain tumbuhan melalui jaringan pengangkut (Hardiani, 2008). Menurut penelitian sebelumnya oleh Perwitasari dkk (2018) tumbuhan akuatik dapat mengakumulasi logam berat di akar dan mentranslokasikannya ke bagian tajuk tumbuhan dengan nilai faktor translokasi dibawah 1. Proses pengakumulasian logam berat di bagian tertentu tumbuhan menandakan suatu upaya lokalisasi oleh tumbuhan tersebut dengan bentuk menyatukannya dalam satu bagian misalnya akar. Hal tersebut berguna sebagai bentuk pencegahan timbulnya keracunan sel akibat logam berat atau disebut detoksifikasi. Endodermis akar memiliki peran sebagai partial barrier atas pengalihan logam berat dari akar ke bagian tumbuhan lainnya. Akumulasi logam berat pada bagian tumbuhan dapat dipengaruhi dari beberapa faktor, diantaranya jumlah individu dan jenis tumbuhan, konsentrasi logam berat serta lamanya waktu pemaparan suatu zat kontaminan (Irawanto dan Sarwoko, 2015).

2.8 Tanaman Melati air (*Echinodorus radicans*)

Melati air termasuk kedalam kelompok tumbuhan akuatik berumpun separuh terendam badan air. Persebaran tanaman melati air cukup luas di Benua Amerika meliputi Amerika tengah, Venezuela, Brazil, Peru, Meksiko dan Uruguay Menurut pernyataan Rachmawati (2020) taksonomi tanaman melati air (*Echinodorus radicans*) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Superdivisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Subkelas	: Alismatidae
Ordo	: Alismatales
Famili	: Alismataceae
Genus	: <i>Echinodorus</i>
Spesies	: <i>Echinodorus radicans</i>



Gambar 2.1. Tanaman Melati Air
(Sumber: Baroroh dan Irawanto, 2016)

Gambaran umum morfologi melati air beberapa diantaranya yaitu pada daun tunggal agak kaku dengan bagian permukaan dan bawah daun ditutupi bulu-bulu kasar berwarna hijau muda. Daun berbentuk bulat telur, bagian

pangkal daun melengkung dengan ujung membulat. Tipe tulang daun menjari dan menjorok ke sisi permukaan bawah. Bentuk tangkai bersegi sedikit membulat ke sisi pangkal daun. Pinggiran daun rata yang termasuk anak tulang daun saling menyatu dari arah pangkal daun ke ujung daun. Batang keras dan memiliki panjang 50-100 cm dengan lingkaran diameter 1-3 cm. Terdapat batang tipis beralur sepanjang tangkai, bertotol-totol putih dengan warna hijau muda sebagai dasarnya. Perbungaan melati tumbuh di pusat tangkai menyerupai rangkaian payung. Bunga melati air berwarna putih seperti bunga melati terrestrial. Kelopak bunga kecil dan keras berwarna hijau. Mahkota bunga cukup tipis berwarna putih dan besar jika dibandingkan dengan kelopak. Bagian tengah bunga berupa putik dan benang sari berwarna kekuningan. Biji dan anakan berperan sebagai perbanyakan tumbuhan (Mursito, 2011). Musim yang tidak menentu dan berubah-ubah dapat mempengaruhi waktu perbungaan melati air. Tipe tanaman ini hanya mampu bertahan cukup singkat dipaparan matahari secara langsung. Hal tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan melati air yang membutuhkan habitat yang teduh dan agar tidak merusak struktur daun (Hidayah dkk, 2020).

Karakteristik pertumbuhan alami tumbuhan akuatik dipengaruhi oleh posisi bagiannya di perairan. Tumbuhan akuatik digambarkan secara umum terbagi atas tiga kelompok besar, yaitu tumbuhan dengan posisi daun terapung dipermukaan air atau disebut *floating*, tumbuhan dengan akar yang terbenam didalam sedimen namun bagian atas (daun) muncul dipermukaan air atau disebut *emerged*, dan tumbuhan dengan bagian keseluruhan berada didalam badan air atau disebut *subemerged* (Tanaka dkk, 2011). Pemilihan tumbuhan

akuatik dalam pengolahan air terkontaminasi dipengaruhi oleh sistem perakaran. Umumnya salah satu ciri tumbuhan akuatik memiliki perakaran yang kuat, panjang, dan menyebar untuk memperluas daerah melekatnya organisme didasar perairan (Dewi dkk, 2018). Selain itu, bagian batang melati air yang berongga memudahkan sebagian besar oksigen terlarut masuk kedalam akar untuk selanjutnya merombak zat pencemar di dalam air (Satriyana dkk, 2013). Menurut Irawanto (2016) menyatakan bahwa tumbuhan akuatik termasuk melati air (*Echinodorus radicans*) memiliki potensi sebagai tanaman akuatik penghias di perairan dilihat dari keindahan daun maupun bunga. Selain itu, tumbuhan akuatik dinilai mampu berkerja sebagai agen fitoremediator terhadap pemulihan lingkungan perairan yang terkontaminasi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Wibowo, dkk (2014) tentang pengolahan air lindi di TPA Batu Layang kota Pontianak mengungkapkan bahwa penggunaan tumbuhan *Echinodorus radicans* dapat mengakumulasi logam berat Cu, Fe, dan Zn berturut-turut sebesar 82,9%, 92,3%, dan 90,5%. Penyerapan logam dilakukan oleh akar dan diakumulasikan ke organ lain tumbuhan seperti bagian batang dan jaringan daun. Menurut Caroline dan Guido (2015) dalam penelitiannya menggunakan tumbuhan melati air (*Echinodorus palaefolius*) dapat menyerap logam timbal (Pb) dalam limbah industri peleburan tembaga dan kuningan sebesar 4,87 mg/Kg dengan presentase penyisihan sebesar 81,72% serta efisiensi akumulasi oleh *Echinodorus radicans* sebanyak 55,97%. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Perwitasari, dkk (2018) menyatakan bahwa *Echinodorus radicans* dengan pemberian logam berat Pb 4 ppm dan memiliki nilai efektivitas sebesar 89,59%.

Selain itu, Pada penelitian Santriyana, dkk (2013) menyatakan bahwa tumbuhan *Echinodorus palaefolius* memiliki efektivitas dalam menyerap logam Aluminium (Al) pada limbah cair Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) PDAM kota Pontianak paling baik sebesar 96,46%. Meski memiliki nilai efektivitas paling tinggi, namun memiliki daya ketahanan hidup rendah yang ditandai oleh perubahan morfologi. Kurniawati (2018) mengungkapkan dalam penelitiannya bahwa melati air (*Echinodorus palaefolius*) dapat mengakumulasi logam Pb dan Cu dengan perlakuan pemberian limbah sungai opak. Kandungan logam Pb yang terakumulasi pada daun di dalam sel dan jaringan epidermis, spons, dan palisade sebesar 0,0068% dan logam Cu sebesar 0,0075%. Berdasarkan pemaparan oleh penelitian-penelitian sebelumnya yang telah disebutkan terkait penggunaan melati air (*Echinodorus radicans*) dalam beberapa pengolahan limbah mengandung logam. Maka dari itu tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dianggap memiliki potensi sebagai agen fitoremediator logam berat dari limbah cair batik karena masih satu marga dengan *Echinodorus palaefolius* (Baroroh dan Irawanto, 2016).

2.9 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

Pada suatu analisa sampel yang mengandung logam berat digunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan didasarkan hukum Lambert-Beer. Cara kerja AAS ini yaitu menyerap banyaknya sinar akan berbanding lurus dengan konsentrasi zat yang terkandung. Bagian yang mengadsorpsi sinar ini berupa atom. Atom tersebut terbentuk dari ion atau senyawa logam berat yang hancur. Prosedur penggunaan AAS ini dimulai dengan memasukkan larutan standar sampel kedalam tabung reaksi yang berada pada alat AAS. Lalu mengatur alat AAS menggunakan sistem komputer yang telah terhubung,

menghidupkan api dan menyalakan lampu katoda AAS dengan pengaturan posisi yang ditentukan untuk mendapatkan maksimum serapan. Bagian nyala udara asitelin ditambahkan larutan standar untuk diaspirasi. Hasil pembacaan dalam pengukuran serapan atom harus bernilai nol kemudian dihitung untuk memperoleh kadar logam pada larutan contoh (Warni dkk, 2017). Menurut Nuraini dkk (2015) larutan standar yang digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya logam berat pada suatu sampel yaitu larutan dibawah 0,01 ppm. Pada umumnya panjang gelombang yang digunakan dalam metode *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS) sebesar 283,31 nm. Cahaya diserap oleh atom pada panjang gelombang ini untuk mengubah transisi elektron dari tingkat dasar ke tingkat eksitasi (Dewi, 2012). Menurut Yuyun dkk (2017) menjelaskan bahwa *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS) memiliki kelebihan diantaranya tingkat sensitifitas cukup tinggi, cepat dalam memprosesnya, jumlah cuplikan sedikit, mempunyai spesifikasi tertentu pada zat yang dianalisis, dan dapat dipergunakan dalam menentukan konsentrasi unsur yang sangat rendah.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *eksperiment design*, yaitu melakukan percobaan sampel dilapangan untuk melihat pengaruh variabel yang diteliti (Sugiyono, 2013). Jenis penelitian termasuk penelitian kuantitatif. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor, dilakukan pengulangan 4 kali yang terdiri dari 4 perlakuan. Sehingga membutuhkan 16 jumlah petak bak penelitian. Perlakuan pada pengamatan dibedakan dari variasi lama waktu pemaparan yaitu 9 hari, 12 hari, 15 hari dan 18 hari. Penentuan jumlah minimal perlakuan ditentukan berdasarkan rumus Federer, yakni sebagai berikut:

$$t(n-1) \geq 15$$

$$4(n-1) \geq 15$$

$$4n - 4 \geq 15$$

$$4n \geq 19$$

$$n \geq 4$$

Keterangan:

n : Jumlah ulangan

t : Jumlah perlakuan

Rancangan penelitian ini disesuaikan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ain dan Linda (2019) mengenai penelitian fitoremediasi melati air. Namun faktor pada penelitian ini adalah variasi lama waktu penyerapan logam berat (hari) berdasarkan penelitian terdahulu oleh Yuliani dkk (2013) sebagai berikut:

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian

Perlakuan (P)	Ulangan			
	1	2	3	4
P1	P1 (1)	P1 (2)	P1 (3)	P1 (4)
P2	P2 (1)	P2 (2)	P2 (3)	P2 (4)
P3	P3 (1)	P3 (2)	P3 (3)	P3 (4)
P4	P4 (1)	P4 (2)	P4 (3)	P4 (4)

Keterangan:

- P1 : Perlakuan 9 hari pemaparan (1) : Pengulangan pertama
 P2 : Perlakuan 12 hari pemaparan (2) : Pengulangan kedua
 P3 : Perlakuan 15 hari pemaparan (3) : Pengulangan ketiga
 P4 : Perlakuan 18 hari pemaparan (4) : Pengulangan keempat

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2021 hingga Februari 2022 yang bertempat di Laboratorium Terintegrasi UINSA. Adapun Sampel penelitian akan diujikan di Laboratorium Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

Tabel 3.2. Jadwal Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan												
2	Penyusunan Proposal												
3	Uji Pendahuluan (RFT)												
4	Seminar Proposal												
5	Penelitian												
6	Analisis Data												
7	Penulisan												
8	Seminar Hasil Penelitian												

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya 16 buah bak yang terbuat dari plastik bervolume 5 liter, kertas label, alat-alat gelas (gelas ukur, botol kaca, pipet ukur, gelas piala, corong kaca, labu ukur),

mortar, *magnetic stirrer*, bulb, jerigen, gunting, TDS meter, pH meter, *termohigrometer*, neraca analitik, penggaris, oven, labu semprot, kertas saring *Whatmann 20* dan seperangkat instrumen *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)*.

3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya tanaman melati air (*Echinodorus radicans*) berukuran 50-70 cm dengan rentang umur 2-3 bulan yang telah diidentifikasi di LIPI-Purwodadi, tissue, aquades (H_2O) sebanyak 5 liter, sampel limbah cair batik *home industry*, larutan induk Pb dan Cu, kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), asam nitrat (HNO_3) 65% dan H_2SO_4 sebagai larutan pendestruksi secara AAS, gas asetilen (C_2H_2) dengan minimum tekanan 100 psi, serta udara bertekanan dari kompresor.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian menggunakan tiga jenis variabel sebagai berikut:

- a. Variabel kontrol: tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dan volume sampel.
- b. Variabel bebas: variasi lama waktu pemaparan (hari) limbah cair batik.
- c. Variabel terikat: morfologi batang serta daun tanaman melati air (*Echinodorus radicans*), laju penyerapan logam berat Pb dan Cu (ppm), perubahan pH, dan temperature (suhu) selama proses fitoremediasi berlangsung.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Bahan

Persiapan penelitian fitoremediasi menggunakan 16 bak plastik bervolume 5 liter. Lalu disiapkan 16 tanaman melati air (*Echinodorus radicans*) dengan ukuran yang sama besar. Menyiapkan pengenceran limbah cair *Home Industry* batik dan aquades dengan rumus sebagai berikut:

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

Keterangan:

M1 : Konsentrasi awal limbah cair batik

M2 : Konsentrasi limbah cair batik yang diinginkan

V1 : Volume awal limbah cair batik

V2 : Volume limbah cair batik setelah pengenceran

Perbandingan sebanyak 150 ml limbah cair batik dan 1,500 ml aquades per perlakuan sehingga didapatkan 1,650 ml media tumbuh per perlakuan. Adapun perhitungan pengenceran yang dilakukan tertera pada lampiran.

3.5.2 Tahap aklimatisasi

Tanaman melati air yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman yang diambil langsung dikolam akuatik Kebun Raya Purwodadi-LIPI. Melati air yang dipilih memiliki tinggi ± 60 cm berumur 2-3 bulan dengan ukuran yang sama. Aklimatisasi tanaman dilakukan agar tanaman melati air dapat beradaptasi pada keadaan sebelum dilakukannya perlakuan. Aklimatisasi dilakukan di Laboratorium Terintegrasi UIN Sunan Ampel Surabaya dan dengan cara memasukkan bahan-bahan

seperti aquades 5 L, pupuk NPK cair 15 ml serta penambahan limbah cair batik secara kontinu sebanyak 20 ml/hari yang dilakukan hingga hari ke-7 aklimatisasi hingga konsentrasi dalam air limbah dengan penambahan aquades 1:6. Hal tersebut bertujuan untuk tanaman melati air tumbuh dan beregenerasi serta mempersiapkan tumbuhan dalam proses fitoremediasi.

3.5.3 *Range Finding Test (RFT)*

Range Finding Test (RFT) merupakan percobaan awal terhadap tanaman untuk menguji fisik maupun kimia tanaman ke tahap fitoremediasi. Pada tahap RFT berperan dalam mengevaluasi lama waktu pemaparan logam berat terhadap tanaman yang masih mampu bertahan hidup. Tanaman yang digunakan adalah tanaman yang telah melalui tahap aklimatisasi dan memiliki fisik tanaman berwarna hijau segar. Setiap satu bak plastik berisi 1 buah melati air (*Echinodorus radicans*) lalu diisi larutan limbah cair batik dan aquades dengan perbandingan 1:9 hingga bervolume 1,650 ml. Adapun variasi lama waktu pemaparan yaitu 0 hari, 3 hari, 6 hari, dan 9 hari. Tahapan RFT ini bertujuan untuk mengetahui batas maksimum toleransi tumbuhan terhadap lama waktu pemaparan limbah cair batik yang diberikan. RFT pada penelitian ini dilakukan 4 perlakuan. Jika lama waktu pemaparan selama proses RFT ini memiliki hasil toleransi maksimum dengan tidak menunjukkan adanya perubahan fisik tumbuhan yang signifikan, maka lama waktu pemaparan akan dinaikkan pada proses fitoremediasi. Parameter yang digunakan meliputi pH, suhu air dan perubahan morfologi tumbuhan (batang dan warna daun).

3.5.4 Proses Fitoremediasi

Pada tahap fitoremediasi digunakan variasi lama waktu pemaparan 9 hari, 12 hari, 15 hari dan 18 hari. Perlakuan pemberian pupuk NPK cair juga dilakukan pada awal fitoremediasi sebanyak 10 ml. Parameter yang diamati selama proses fitoremediasi ini diantaranya pengamatan pH, suhu, dan morfologi tumbuhan setiap lama waktu pemaparan yang ditentukan yakni hari ke-9, 12, 15 dan 18 penelitian. Pada pengukuran berat basah dan kering dalam menyerap logam berat limbah cair batik akan dilakukan di hari ke-18 penelitian.

3.5.5 Pengambilan Data

Pengambilan data dilaksanakan setiap pengamatan lama waktu pemaparan logam berat selama proses fitoremediasi berlangsung dengan diiringi pengambilan dokumentasi di setiap percobaan. Adapun parameter yang diamati yaitu pH, suhu dan morfologi tumbuhan. Parameter pH dan suhu digunakan untuk mengetahui batas baku mutu air sebagai tempat pertumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*). Pada pengamatan morfologi tanaman melati air yakni meliputi daun dan batang bertujuan untuk mengetahui respon tanaman terhadap paparan limbah cair batik Pb dan Cu. Umumnya jika tumbuhan tersebut menyerap logam maka akan terjadi gejala klorosis dan nekrosis pada daun. Pengujian sampel air dan tumbuhan dilakukan pada hari ke-18 setelah proses fitoremediasi. Sampel tersebut akan diujikan di Laboratorium Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) untuk mengukur kadar Pb dan Cu limbah cair *Home Industry* batik.

Adapun tahapan dalam pengambilan data penelitian menggunakan parameter sebagai berikut:

a. Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan setiap hari menggunakan pH meter dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menyediakan pH meter yang akan digunakan.
2. Menempatkan pH meter kedalam bak berisi sampel.
3. Membiarkan beberapa waktu hingga pengukuran stabil.

b. Pengukuran Suhu

1. Menyediakan thermometer yang akan digunakan.
2. Menempatkan thermometer kedalam bak berisi sampel.
3. Membiarkan beberapa waktu hingga pengukuran stabil.

c. Morfologi Tanaman

Pengamatan terhadap respon tanaman dilakukan tiap 3 hari sekali yang di mulai dari hari ke-9 secara langsung dengan mata telanjang. Morfologi tanaman yang diamati meliputi bentuk batang, warna batang, warna daun, struktur daun, bentuk akar, warna akar dan abnormalitas fisiologi (klorosis dan nekrosis). Perubahan morfologi tanaman adalah sebagai bentuk adaptasi dan respon tanaman terhadap logam berat yang diberikan yaitu Pb dan Cu dalam limbah cair batik.

d. Berat Basah Tanaman

Pada tahap proses pemanenan di setiap akhir pengamatan di hari ke-9, 12, 15, dan 18 pengamatan akar tumbuhan diambil langsung untuk selanjutnya dilakukan penimbangan berat basah tanaman. Penimbangan dilakukan setelah tumbuhan melalui tahap uji fitoremediasi. Kemudian

tumbuhan ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan cara mengambil bagian akar tanaman melati air (*Echinodrus radicans*).

e. Berat Kering Tanaman

Setelah perhitungan berat basah bagian akar dipotong kecil-kecil yang kemudian dimasukkan kedalam loyang untuk dioven dengan suhu 65°C selama ± 48 jam. Berat kering didapat dengan cara menimbang tanaman menggunakan timbangan analitik. Berat kering akar yang telah dikeringkan dalam oven dihitung hingga mencapai berat yang diinginkan atau konstan (gr).

f. Pengukuran Kadar Logam Berat Pb dan Cu dalam Air Limbah Cair Batik dan Akar Tumbuhan dengan Pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS)

Pengujian kadar logam berat Pb dan Cu dalam tumbuhan dan air dilakukan setiap akhir pengamatan di hari ke-9, 12, 15 dan 18 dengan metode destruksi kering pada sampel.

1. Pengujian Air Limbah

Sampel air limbah yang di uji pada setiap lama waktu paparan sebesar 10 ml. Volume air yang akan di uji diambil menggunakan pipet lalu di masukkan ke dalam cawan platina. Setelah itu sampel tersebut di uapkan pelan-pelan dalam oven $\leq 100^{\circ}\text{C}$ sehingga cairannya akan menguap dan di peroleh residu. Residu yang terbentuk kemudian di panaskan dalam furnis hingga membentuk abu putih. Lalu selanjutnya di tambahkan 50 ml HCL pekat dan 10 ml HNO_3 pekat kemudian di panaskan di atas *hot plate* sambil di aduk sehingga menyebabkan abu tersebut larut. Larutan abu yang telah terbentuk kemudian di pindahkan ke labu ukur 100 ml dan di

tambahkan aquades hingga tanda batas labu ukur. Jika larutan abu dan aquades telah bercampur lalu kemudian di saring dengan penyaring kertas *whattman* 20 sehingga hasil akhirnya akan diperoleh cairan jernih. Cairan ini selanjutnya dipindahkan ke gelas piala 50 ml kemudian di pasang pipa kapiler yang telah terhubung dengan alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk pengukuran kadar logam berat Pb dan Cu dalam akar tumbuhan. Pada proses tersebut cairan dibakar dengan api sempurna (campuran gas asetilen dan oksigen) untuk di aspirasi kemudian hasilnya akan membentuk nyala warna dan di ukur nilai absorbansi kadar logam Pb dan Cu pada sampel akar tumbuhan. Hasil pembacaan dalam pengukuran serapan atom harus bernilai nol. Setelah itu di catat pula nilai adsorbansi larutan standar Pb dan Cu untuk membuat kurva kalibrasi linier dalam mempermudah perhitungan kadar Pb dan Cu yang terkandung dalam sampel.

2. Pengujian Akar Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*)

Akar tumbuhan kering yang telah ditimbang kemudian dihaluskan menggunakan grinder sehingga membentuk serbuk dan ditimbang sebanyak 10 gram. Serbuk tersebut lalu di masukkan ke cawan platina dan di panaskan pelan-pelan dalam oven $\leq 100^{\circ}\text{C}$ lalu di bakar menjadi abu berwarna putih di alat furnish. Perlakuan secara kuantitatif yakni di tambahkan 50 ml HCL pekat dan 10 ml HNO₃ pekat lalu di panaskan di atas *hot plate* sambil di aduk sehingga menyebabkan abu tersebut larut dalam kedua asam. Larutan abu yang telah terbentuk kemudian di pindahkan ke labu

ukur 100 ml dan di tambahkan aquades hingga tanda batas labu ukur. Jika larutan abu dan aquades telah bercampur lalu kemudian di saring dengan penyaring kertas *whattman* 20 sehingga hasil akhirnya akan diperoleh cairan jernih. Cairan ini selanjutnya dipindahkan ke gelas piala 50 ml kemudian di pasang pipa kapiler yang telah terhubung dengan alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk pengukuran kadar logam berat Pb dan Cu dalam akar tumbuhan. Pada proses tersebut cairan dibakar dengan api sempurna (campuran gas asetilen dan oksigen) untuk di aspirasi kemudian hasilnya akan membentuk nyala warna dan di ukur nilai absorbansi kadar logam Pb dan Cu pada sampel akar tumbuhan. Hasil pembacaan dalam pengukuran serapan atom harus bernilai nol. Setelah itu di catat pula nilai adsorbansi larutan standar Pb dan Cu untuk membuat kurva kalibrasi linier dalam mempermudah perhitungan kadar Pb dan Cu yang terkandung dalam sampel.

g. Laju Penyerapan Logam Berat oleh Tumbuhan

Menurut Indrasti dkk (2006) Rumus perhitungan laju penyerapan logam berat Pb dan Cu oleh tumbuhan didasarkan pada berat kering logam (gr) pada bagian akar tumbuhan. Berikut rumus perhitungan yang dapat digunakan:

$$LP = \frac{A \times M}{A \times t}$$

Keterangan:

LP : Laju penyerapan

A : Massa akar (gr)

M : Konsentrasi logam dalam akar (ppm)

t : Lama waktu paparan (hari)

Sedangkan untuk mengetahui penurunan konsentrasi logam berat Pb dan Cu yang terkandung dalam limbah cair batik selama waktu pemaparan yang dilakukan dibutuhkan perhitungan *removal efficiency* atau daya serap. Berikut rumus perhitungan yang dapat digunakan:

$$RE = \frac{(A-B)}{A}$$

Keterangan:

RE : *Removal efficiency*

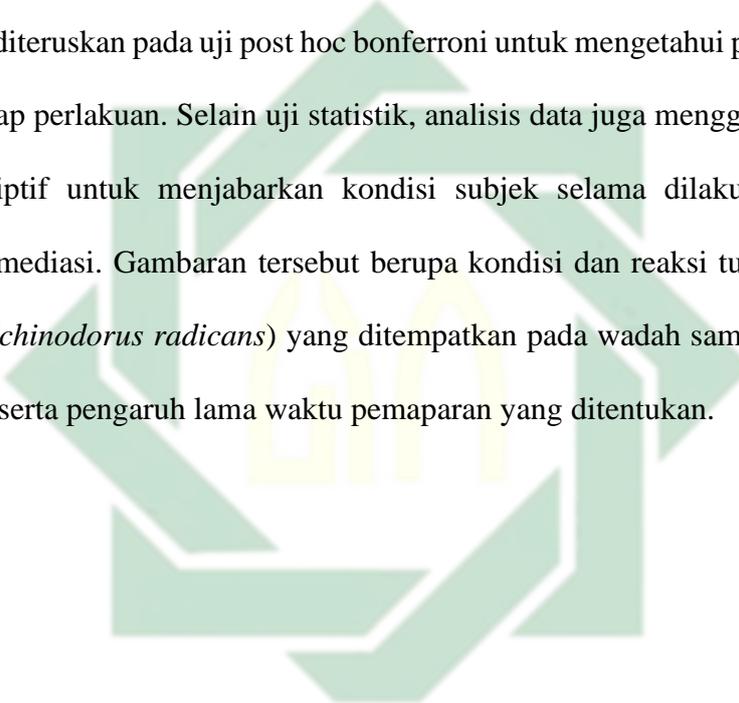
A : Konsentrasi awal logam berat dalam limbah cair batik (ppm)

B : Konsentrasi akhir logam berat dalam limbah cair batik (ppm)

3.6 Analisis Data

Analisa pengujian konsentrasi logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik yang diberikan pada tanaman melati air. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) di Laboratorium Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya. Data hasil uji laboratorium akan di analisis secara kuantitatif baik disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik. Selanjutnya data akan diolah menggunakan uji statistik parametrik menggunakan One Way Anova atau satu jalur. Uji anova memiliki syarat yaitu data harus terdistribusi normal dengan menggunakan uji normalitas Shapiro wilk. Nilai standart signifikansi pada uji normalitas dan uji homogenitas yaitu jika sig bernilai >0,05. Sedangkan jika data <0,05 maka data tersebut dianggap tidak terdistribusi normal dan tidak homogen. Jikalau data terdistribusi normal

maka pengujian diteruskan ke uji homogenitas sebagai uji parametris untuk mengetahui perbedaan diantara variasi kelompok percobaan. Apabila data tersebut homogen maka akan diteruskan dengan uji One Way Anova untuk melihat adanya pengaruh terhadap variasi kelompok perlakuan jika data tersebut memiliki nilai signifikan $<0,05$. Adapun jika diketahui data uji One Way Anova bernilai sig $<0,05$, maka terdapat adanya pengaruh perlakuan dan akan diteruskan pada uji post hoc bonferroni untuk mengetahui perbedaan nyata disetiap perlakuan. Selain uji statistik, analisis data juga menggunakan metode deskriptif untuk menjabarkan kondisi subjek selama dilakukannya proses fitoremediasi. Gambaran tersebut berupa kondisi dan reaksi tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) yang ditempatkan pada wadah sampel limbah cair batik serta pengaruh lama waktu pemaparan yang ditentukan.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah Cair *Home Industry* Batik Sendang

Faktor karakteristik fisik maupun kimia yang terkandung di dalam limbah cair *home industry* batik desa Sendang pada awal penelitian perlu dilakukannya uji pendahuluan. Hal ini disebabkan oleh kandungan senyawa-senyawa kimia dalam limbah cair batik yang berbeda-beda di setiap pengambilan sampel. Pengujian ini dilaksanakan sebelum penelitian utama yakni fitoremediasi oleh tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*). Pengujian awal terhadap sampel limbah cair batik Sendang yang dilakukan difokuskan pada karakteristik kimia yakni dengan pengukuran kandungan logam berat Pb dan Cu menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometer*) yang bertempat di Laboratorium Penelitian dan Industri Surabaya. Data hasil analisis yang diperoleh menunjukkan bahwa kandungan awal logam berat dalam limbah cair *home industry* batik di desa Sendang yakni timbal (Pb) sebesar 43,58 ppm dan tembaga (Cu) sebesar 61,83 ppm. Berdasarkan kandungan kedua logam berat dalam limbah cair batik tersebut yang cukup tinggi, maka menurut Surat Keputusan (SK) Gubernur Jatim No.45 Tahun 2002 mengenai baku mutu limbah cair bagi industri dan kegiatan usaha lainnya dan Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas dan penanggulangan pencemaran air, limbah cair batik sendang dianggap telah melebihi batas baku mutu air dan berbahaya jika berada diperairan (Anam dkk, 2013).

Menurut PP No. 82 Tahun 2001 baku mutu untuk logam berat timbal (Pb) di perairan adalah sebesar 0,03 mg/L dan logam berat tembaga (Cu) sebesar 0,02 mg/L (Husainy dkk, 2014). Menurut pernyataan (Eskani dkk, 2005)

Kandungan logam berat Pb dalam limbah cair batik diduga berasal dari proses pewarnaan dengan penggunaan zat pewarna reaktif yakni remazol. Zat warna reaktif berperan sebagai pengikat kuat warna pada serat kain dengan pemberian natrium silikat selama proses pencelupan karena bersifat mudah larut dalam air dan memiliki tingkat afinitas rendah. Adapun kandungan logam berat Cu dalam limbah cair batik berasal dari penggunaan kombinasi garam diazodium, naphthol dan indigosol sebagai zat pewarna dalam proses pewarnaan kain batik (Eskani dkk, 2005). Kandungan logam berat lainnya yang terkandung dalam limbah cair batik desa sendang diantaranya kadmium (Cd), krom (Cr), seng (Zn), besi (Fe) dengan kandungan lebih dari 10 ppm.

Sampel limbah cair batik yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah yang diambil secara langsung di tempat industri batik rumahan desa Sendang. Hal ini dilakukan karena mengingat cuaca pada saat pengambilan sampel limbah batik yang tidak stabil. Oleh karena itu menyebabkan debit air kali menjadi cenderung sedikit sehingga peneliti mengambil limbah cair batik secara langsung ditempat industri batik rumahan desa sendang. Adapun rincian fisik limbah cair batik desa sendang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Karakteristik Fisik Limbah Cair *Home industry* Batik Desa Sendang

No.	Materi	Baku mutu (PP No. 82 th 2001)	Karakteristik fisik limbah cair batik
1	Warna	Bening	Coklat kehitaman
2	Bau	Tidak berbau	sedikit berbau
3	Suhu	26-32°	29,8°
4	pH	6,7-8,5	8,9
5	Logam Pb	0,03 ppm	41,58 ppm
6	Logam Cu	0,02 ppm	61,83 ppm

(Sumber: Hasil Penelitian, 2022)

Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 dan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah bagi

industri atau kegiatan usaha lainnya yang dikeluarkan oleh dinas lingkungan hidup provinsi Jawa Timur karakteristik limbah cair batik pada Tabel 4.1. dinilai melebihi batas baku mutu air diperairan. Hal pertama yang menjadi faktor karakteristik baku mutu air dan dapat dijumpai dengan kontak mata secara langsung yakni warna air. Pada umumnya standar baku mutu air yang baik adalah tidak berwarna. Namun, lain halnya dengan warna air limbah batik yang tampak berwarna coklat kehitaman, sedikit berminyak dan kemungkinan besar disebabkan oleh adanya pencampuran air dengan bahan organik serta penggunaan pewarna sintesis yang umum digunakan oleh pengrajin batik. Timbulnya perubahan warna air limbah batik juga diiringi dengan adanya bau yang kurang sedap. Bau air limbah dapat dipengaruhi oleh kurangnya oksigen terlarut dalam air, adanya materi-materi organik yang telah mati dan membusuk, perubahan struktur senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam air seperti asam cuka, hidrosulfit maupun asam klorida serta terdapat beberapa mikroorganisme hidup lainnya. Oleh karena itu, kualitas air yang di nilai baik dan memenuhi karakteristik fisik maupun kimia yakni air tersebut tidak memiliki bau dan tidak berwarna serta tidak mengandung padatan yang memungkinkan air tersebut terlihat keruh (Renngiwur dkk, 2016).

Standar baku mutu suhu optimal perairan di suatu perairan tropis dengan kondisi baik seperti wilayah negara Indonesia berkisar antara 26-32°C, dimana suhu tersebut dinilai baik bagi pertumbuhan biota air. Oleh sebab itu suhu pada limbah cair batik Sendang yang bernilai 29°C termasuk dalam kondisi baik (Djoharam dkk, 2018). Menurut pernyataan Perwitasari dkk (2018) nilai pH yang tinggi yakni berkisar $\geq 8,5$ maka termasuk pH alkalis yang tidak baik bagi

kehidupan biota air karena dinilai terlalu basa dan cukup pekat. Nilai pH yang bersifat alkalis tersebut akan berdampak pada kelarutan oksigen dalam air yang menjadi sedikit. Oleh karena itu, nilai pH yang tinggi pada limbah cair batik dapat diasumsikan bersumber dari salah satu proses pembuatan tekstil yakni proses merserisasi. Pada proses merserisasi atau perendaman kain batik yang menggunakan banyak larutan NaOH pekat sebagai pengikat warna kain batik mengakibatkan limbah cair yang dihasilkan dapat bersifat basa (Purnomo,2010)

Media tanam tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) yang digunakan selama proses fitoremediasi yakni menggunakan perbandingan konsentrasi limbah cair batik dengan aquades yakni 150:1500. Hal ini dilakukan karena mengingat kondisi tumbuhan selama proses aklimatisasi dan proses *Range Finding Test* (RFT) mengalami sedikit layu dan terjadi perubahan morfologi warna daun menjadi warna kuning hingga kecoklatan pada maksimum 9 hari pemaparan. Hal tersebut didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziyah dan Rosariawari (2020) menyatakan bahwa dalam penelitiannya menggunakan limbah cair batik sebagai media tumbuh tanaman kangkung air yang diaplikasikan dengan perbandingan konsentrasi. Perbandingan variasi konsentrasi limbah batik dan aquades yang digunakan yakni (10:90), (30:70), (50:50), (70:30) dan (100:0) dengan 15 hari pemaparan. Hasil dari penelitiannya yakni variasi (10:90) tumbuhan terlihat baik namun sedikit layu, pada (30:70) tumbuhan terlihat layu namun mulai beradaptasi dengan munculnya tunas, pada (50:50) tumbuhan mengalami layu hingga mati, pada (70:30) tumbuhan layu hingga merunduk namun tumbuh tunas dan pada (100:0) tumbuhan mati. Oleh karena itu penggunaan perbandingan konsentrasi

limbah batik dan aquades perlu dilakukan agar tumbuhan tetap dalam kondisi fisik yang baik untuk mampu menyerap logam berat dalam waktu pemaparan yang ditentukan. Selain itu, karakteristik fisik limbah cair batik umumnya bersifat keruh atau kental akan dapat menghambat penyerapan zat hara oleh akar karena banyaknya padatan yang terkandung, sehingga penambahan aquades dinilai dapat melonggarkan aktivitas padatan dalam media tumbuh serta memudahkan penyerapan oleh rambut-rambut akar (Fauziyah dan Rosariawari, 2020).

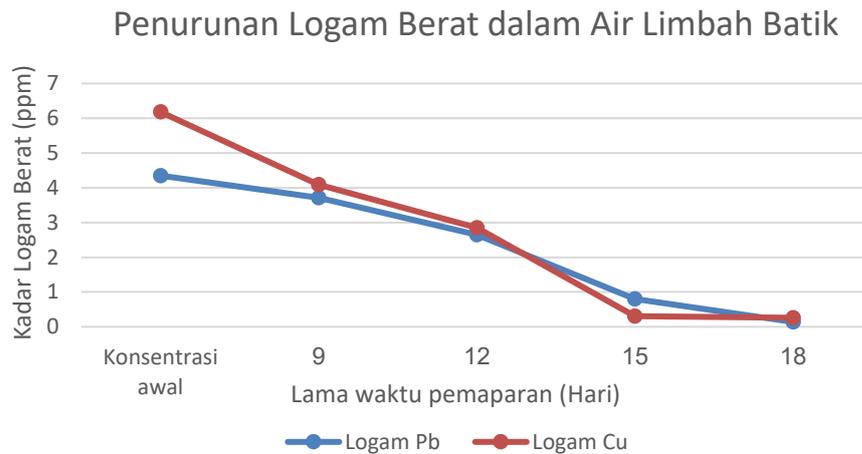
4.2 Penurunan Logam Berat Pb dan Cu dalam Limbah Cair Batik oleh Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*)

Potensi tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) dalam menurunkan kadar logam berat Pb dan Cu selama waktu pemaparan yang dilakukan disajikan pada Tabel 4.2. sebagai berikut:

Tabel 4.2. Konsentrasi Akhir Logam berat Pb dan Cu Limbah Cair Batik Pada Media Air

Lama Waktu Pemaparan	Pengulangan	Konsentrasi Akhir Logam Pb dalam Air (ppm)	Rata-Rata Konsentrasi Logam Pb dalam Air (ppm)	Konsentrasi Akhir Logam Cu dalam Air (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Logam Cu dalam Air (ppm)
9 Hari	1	3.65	3.71	4.18	4.09
	2	3.81		4.09	
	3	3.76		3.88	
	4	3.61		4.20	
12 Hari	1	2.66	2.65	2.90	2.85
	2	2.70		2.81	
	3	2.59		2.78	
	4	2.65		2.89	
15 Hari	1	0.81	0.80	0.31	0.31
	2	0.78		0.32	
	3	0.79		0.29	
	4	0.80		0.31	
18 Hari	1	0.15	0.14	0.30	0.26
	2	0.21		0.28	
	3	0.10		0.25	
	4	0.10		0.22	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2022)



Gambar 4.1 Grafik penurunan logam berat Pb dan Cu dalam air limbah batik

Fokus utama pada penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi tumbuhan melati air yang selain sebagai tumbuhan hias juga memiliki nilai ekologi yakni berkemampuan sebagai agen fitoremediator lingkungan perairan tercemar. Berdasarkan data grafik pada Gambar 4.1 dapat dijabarkan bahwa seiring lamanya waktu pemaparan yang dilakukan kadar logam berat Pb dan Cu juga mengalami penurunan dalam media air limbah batik. Hal ini tentu diengaruhi oleh mekanisme penyerapan yang baik oleh tumbuhan melati air. Selain itu adanya pengenceran awal yang dilakukan turut serta membantu luas permukaan akar sehingga proses penyerapan logam berat dapat berjalan dengan baik (Fauziyah dan Rosariawari, 2020). Adapun perhitungan kadar logam berat Pb dan Cu sebagai media tumbuh tanaman terlampir pada Lampiran 2.

Pada hasil penelitian diketahui kadar logam berat Pb dan Cu hingga akhir proses fitoremediasi masih bernilai diatas baku mutu air di perairan yakni sebesar 0,03 mg/L untuk Pb dan 0,02 mg/L untuk Cu menurut PP No. 82 Tahun 2001 (Husainy dkk, 2014). Salah satu penyebab tumbuhan melati air kurang optimal dalam penyerapan logam berat yaitu di duga karena konsentrasi logam berat sebagai mikronutrien tumbuhan terlalu tinggi dalam limbah cair batik.

Oleh karena kebutuhan mikronutrien seperti Pb dan Cu yang hanya sedikit dibutuhkan maka tumbuhan mampu menyerap kadar logam berat pada batas tertentu (Djodjodjono, 2017). Penurunan logam berat Pb dan Cu juga dipengaruhi faktor internal yakni peristiwa penyerapan dalam akar tumbuhan dibantu oleh adanya mikroorganisme disekitar permukaan akar atau disebut dengan rhizosfera dengan mekanisme fitoremediasi yakni *Rhizodegradation*. Peran mikroorganisme sendiri sebagai pendekomposisi unsur-unsur organik, anorganik dan logam berat yang melekat di permukaan akar dan telah melalui tahap filtrasi. Mekanisme proses filtrasi unsur-unsur organik dan anorganik tersebut dilakukan oleh rambut halus akar pada akar serabut tumbuhan seperti pada akar tumbuhan melati air dalam jumlah banyak (Widyawati dan Kuntjoro, 2021).

4.3 Morfologi tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*)

Kondisi fisik tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) akibat perlakuan lama waktu pemaparan limbah cair batik desa sendang selama proses fitoremediasi dapat dilihat dari perubahan morfologinya yakni pada bagian daun dan batang serta tumbuhnya tunas baru. Adapun data perubahan morfologi melati air tersebut tersaji pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perubahan Morfologi Melati Air Berdasarkan Lama Waktu Pemaparan

No.	Lama Waktu Pemaparan	Perubahan Morfologi Tumbuhan		
		Daun	Batang	Tunas
1	9 hari	Hijau segar	Kokoh	1-2 helai
2	12 hari	Berwarna kuning kecoklatan & berbintik coklat	Kokoh	2-3 helai
3	15 hari	Berwarna kuning kecoklatan kering & berbintik coklat	Sedikit runduk	2-3 helai
4	18 hari	Pinggiran daun coklat kering & berbintik coklat	Sedikit runduk	2-3 helai

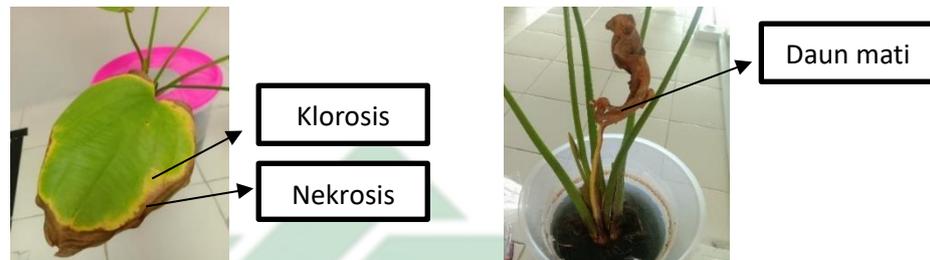
(Sumber: Hasil Penelitian, 2022)

Uraian pada Tabel 4.3 dapat dijabarkan bahwa di hari ke-9 pengamatan tumbuhan tidak menunjukkan perubahan morfologi secara signifikan baik bagian daun yang berwarna hijau segar dan batang kokoh. Namun di salah satu ulangan pinggir daun berwarna kuning sedikit kering dan timbul bintik-bintik coklat serta tumbuh tunas baru 1-2 helai daun. Pada hari ke-12 pengamatan morfologi menunjukkan batang kokoh, ujung hingga pinggir daun berwarna kuning kecoklatan dengan sedikit bercak daun berwarna coklat. Namun pada semua pengulangan di dapati tumbuh tunas 2-3 helai daun. Pada hari ke-15 pengamatan batang sedikit merunduk ke bawah. Ujung hingga pinggir daun melati air berwarna kuning kecoklatan kering dengan sedikit lebih banyak bintik-bintik kecil berwarna kuning hingga coklat. Tumbuh tunas baru 2-3 helai per pengulangan. Pada hari ke-18 salah satu batang tampak merunduk ke bawah dan terdapat helai daun yang mati mengering namun tunas tumbuh 2-3 helai pada semua pengulangan. Timbul warna coklat kering di pinggir daun di semua pengulangan dan terdapat bintik coklat. Pada pengulangan ke-4 daun mengalami klorosis dan nekrosis. Kondisi tumbuhan selama proses fitoremediasi terdapat pada Lampiran 3.

Perubahan warna daun menjadi kuning hingga kecoklatan yang terjadi setelah melalui proses fitoremediasi dapat disebabkan karena aktivitas dalam air limbah cair batik yang mengandung senyawa logam berat Pb dan Cu berlebih secara kimiawi. Sejatinya kandungan logam berat yang terserap oleh sel dan jaringan tumbuhan diatas ambang baku mutu merupakan suatu awal gejala toksisitas. Selain itu lamanya waktu pemaparan yang dilakukan juga mempengaruhi perubahan warna pada daun dan menyebabkan kerusakan

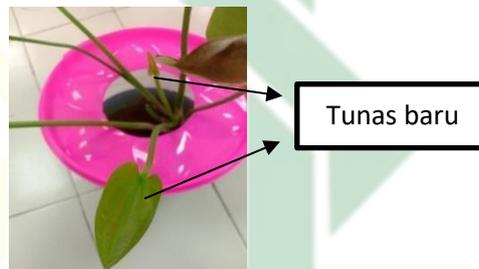
hingga hilangnya klorofil daun (Rizkiaditama dkk, 2017). Kondisi tumbuhan selama proses fitoremediasi dapat dilihat pada Lampiran 3.

Adapun contoh gejala yang di alami tumbuhan selama proses fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4.



Gambar 4.2. Nekrosis dan klorosis

Gambar 4.3. Daun mengalami mati kering



Gambar 4.4. Muncul tunas baru di hari ke-9, 12, 15 dan 18 perlakuan.

Pada Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 adalah contoh dari gejala kerusakan makroskopis berupa perubahan warna daun yang semula hijau menjadi warna kuning kecoklatan hingga coklat mengering pada bagian pinggiran daun di hari ke-9, 12, 15, dan 18 pengamatan. Hal ini dapat terjadi disebabkan oleh pengaruh tingginya konsentrasi limbah cair batik yang diberikan. Namun perubahan warna pada daun tersebut tidak menyebar merata di seluruh organ daun tetapi hanya temukan di pinggiran daun dan di jumpai bintik-bintik pada daun berwarna kecoklatan (nekrosis). Menurut Widiarso (2011) perubahan warna daun dapat disebabkan oleh tingginya polutan yang terserap sehingga kualitas dan kuantitas klorofil pada daun perlahan-lahan menurun seiring meningkatnya lama waktu pemaparan. Pembentukan klorofil hingga jumlah kloroplas yang

rendah akan menyebabkan berkurangnya kadar makronutrien yang membantu pertumbuhan tanaman khususnya daun dan batang. Meskipun pemenuhan unsur makronutrien telah diberikan berupa pupuk NPK cair di awal penelitian namun menurut Kurniawati dkk (2015) pemberian pupuk NPK pada tumbuhan harus dilakukan secara bertahap agar unsur hara baik mikro maupun makro tumbuhan terpenuhi. Jika pemberian hanya sekali di awal pengamatan maka tidak jarang tumbuhan mengalami kecacatan dan rentan mengalami kerusakan di akhir pengamatan.

Perlakuan pemberian pupuk NPK cair pada proses fitoremediasi bertujuan sebagai pemenuhan makronutrien unsur hara selama proses pertumbuhan melati air. Jenis pupuk NPK cair yang diberikan memiliki kandungan unsur hara makro yakni N (nitrogen), P (fosfor) dan K (kalium). Menurut Arisandy dkk (2018) adanya pupuk NPK cair yang ditambahkan ke dalam media tumbuh tumbuhan dinilai mampu memulihkan sifat kimia, fisik, dan biologi media tanam tumbuhan sehingga mendukung keseimbangan dan tercukupinya unsur hara bagi kelangsungan hidup tumbuhan tersebut. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian, dimana meskipun di dapati organ tumbuhan yang mengalami klorosis maupun nekrosis tumbuhan melati air mampu memunculkan tunas baru 1-3 helai pada setiap perlakuan dan pengulangan yang dilakukan hingga batang yang terlihat kokoh namun sedikit merunduk.

Pada pernyataan Rizkiaditama dkk (2017) menyebutkan bahwa sintesa klorofil tumbuhan dapat terhambat jika tumbuhan tersebut terlalu banyak menyerap logam berat dalam waktu perlakuan yang lama. Selain itu, terjadinya penghambatan kerja enzim katalase selama proses katalis sintesa klorofil dapat

menyebabkan timbulnya klorosis pada tumbuhan. Klorosis adalah bentuk perubahan organ tumbuhan yang menjadi kuning hingga pucat umumnya pada daun dan batang akibat terganggunya proses pembentukan klorofil (Rizkiaditama dkk, 2017). Selain warna daun berubah menjadi kuning, daun pada penelitian ini juga mengalami gejala nekrosis. Nekrosis merupakan bentuk perubahan bagian tumbuhan menjadi berwarna kecoklatan hingga menjadi kering dan tidak jarang menimbulkan bintik-bintik kecoklatan pada daun (Baroroh dkk, 2018).

Peristiwa translokasi logam berat ke dalam bagian daun dapat memicu terjadinya kerusakan kutikula dan stomata daun yang berdampak pada terganggunya proses respirasi serta proses fotosintesis, sehingga timbul gejala nekrosis dan klorosis daun. Selain itu, keberadaan logam berat yang tinggi dalam organ tumbuhan juga dapat memicu terhambatnya pertumbuhan tumbuhan hingga terganggunya proses metabolisme tumbuhan baik pada bagian jaringan hingga sel-sel di sekitar meristem akar dan batang (Rizkiaditama dkk, 2017). Adapun terjadinya kerusakan organ tumbuhan yang menyebabkan warna kuning pada daun maupun batang diduga dipicu oleh tingginya kadar Cu yang terserap oleh tumbuhan melalui air. Konsentrasi logam berat Cu pada umumnya dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah sedikit sebagai sumber mikronutrien. Namun jika logam berat Cu pada limbah cair batik yang dinilai melebihi batas baku mutu akan menjadi pemicu utama sel tumbuhan terganggu dan mengalami lisis (Sanjaya dan Bhandesa, 2019). Menurut pernyataan Elawati dkk (2018) tingginya keberadaan logam berat Cu yang berikatan dengan gugus asam amino memicu terhambatnya kerja enzim

katalase dan struktur protein. Oleh karena hal ini gejala klorosis dan nekrosis pada daun melati air pun muncul secara bertahap seiring lamanya waktu pemaparan. Adapun enzim katalase berperan dalam pembentukan klorofil daun, dimana jika prosesnya terganggu maka struktur sulfidril daun akan mengalami kerusakan hingga kecacatan.

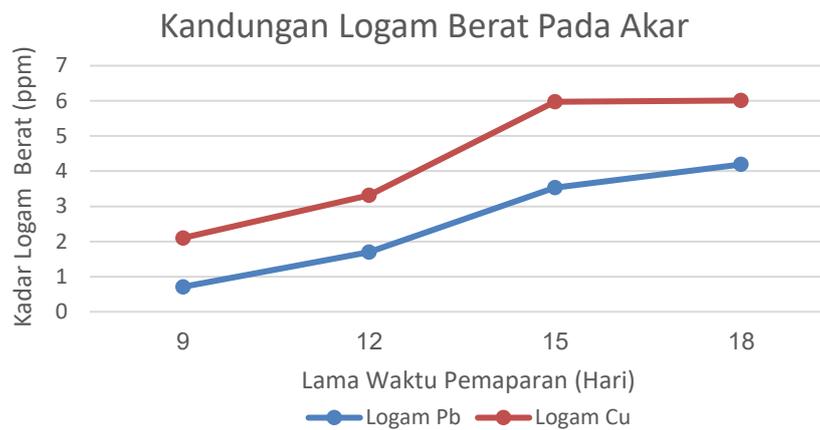
4.4 Laju Penyerapan Logam Berat Pb dan Cu oleh Tumbuhan Melati Air

Penyerapan utama unsur-unsur logam berat limbah cair batik dilakukan oleh bagian akar tumbuhan. Oleh karena itu, kandungan logam berat yakni Pb dan Cu dalam akar memiliki nilai berbeda-beda disetiap perlakuan lama waktu pemaparan. Hasil analisa logam berat pada akar melati tersaji pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Analisa Kandungan Logam Berat Pb dan Cu Pada Akar Melati Air

Lama Waktu Pemaparan	Pengulangan	Konsentrasi Akhir Logam Pb Pada Akar (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Akhir Pb Pada Akar (ppm)	Konsentrasi Akhir Logam Cu Pada Akar (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Akhir Cu Pada Akar (ppm)
9 Hari	1	0.72	0.71	2.08	2.10
	2	0.69		2.10	
	3	0.70		2.27	
	4	0.71		1.96	
12 Hari	1	1.70	1.70	3.26	3.31
	2	1.65		3.29	
	3	1.75		3.36	
	4	1.68		3.31	
15 Hari	1	3.51	3.53	5.81	5.97
	2	3.48		6.05	
	3	3.60		5.91	
	4	3.51		6.12	
18 Hari	1	4.21	4.19	5.95	6.01
	2	4.30		6.08	
	3	4.18		5.99	
	4	4.06		6.00	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2022)



Gambar 4.5. Grafik Kandungan Logam Berat Pb dan Cu Pada Akar Melati Air

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.5 menunjukkan bahwa adanya peningkatan kandungan logam berat Pb dan Cu dalam akar tumbuhan sejalan dengan lamanya waktu pemaparan yang dilakukan. Namun dalam hal ini akar tumbuhan melati air terlihat lebih banyak dan baik dalam menyerap logam Cu dengan kandungannya lebih tinggi dibandingkan dengan logam Pb dalam akar. Hal ini dipengaruhi pada saat uji awal terhadap limbah cair batik diketahui bahwa konsentrasi logam berat Cu lebih tinggi dibandingkan dengan logam Pb. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rompegading dkk (2021) jika logam berat Cu merupakan senyawa esensial yang memiliki tingkat kelarutan dalam air pada $\text{pH} \geq 6$, dimana pada kondisi tersebut logam Cu akan membentuk senyawa kompleks bersama senyawa organik lainnya dalam media tumbuh. Adapun logam berat Pb memiliki tingkat kelarutan cukup rendah dalam air pada $\text{pH} < 5$ dibandingkan dengan logam berat lainnya, sehingga penyerapan logam Cu lebih cepat dibandingkan logam Pb.

Selain pengaruh tingkat kelarutan logam berat diketahui bahwa ion-ion logam Pb bersifat pasif dan memiliki daya translokasi rendah yang dimulai dari bagian akar hingga ke organ tumbuhan lainnya sehingga keberadaannya tidak

terlalu terekspresikan pada daun (Khodijah dkk, 2016). Adapun logam berat Pb termasuk unsur hara non esensial bagi tumbuhan yang jika terserap akan melewati khelat akar. Jika dibandingkan dengan logam berat lainnya logam Cu memiliki lama waktu pemaparan maksimum tertentu pada konsentrasi tertentu yang dipengaruhi oleh daya adsorpsi yang rendah. Jika penyerapan berlebih logam berat Cu oleh tumbuhan dapat menyebabkan cekaman oksidatif yang berdampak pada terhambatnya jalur metabolik dan terjadi kecacatan makromolekul (Djo dkk, 2017). Banyaknya logam berat Pb dan Cu dalam akar yang sebagian berada di daun adalah sebagai bentuk akumulasi kedua logam tersebut atau disebut dengan fitoekstraksi yang jika dipanen akan digunakan sebagai salah satu bioenergi.

Tumbuhan dan logam berat yang saling berinteraksi dalam mekanisme penyerapannya pada bagian akar akan melepaskan eksudat akar, misalnya asam amino, sejumlah asam-asam organik hingga senyawa anorganik yang akan mengakumulasi logam berat secara langsung dalam akar (Santriyana, 2013). Menurut Widyawati dan Kuntjoro (2021) serapan oleh akar dilakukan menggunakan dua macam cara yakni secara simplas dan apoplast. Pada cara simplas yaitu masuknya logam berat dalam akar simplas yang melalui membran plasma atau plasmodesmata. Sedangkan penyerapan secara apoplast dilakukan jika logam berat masuk dalam akar bebas melewati jarak diantara sel akar. Adapun banyaknya logam berat yang diserap oleh akar dapat dipicu oleh adanya zat khelat yang dimiliki oleh akar tumbuhan melati air tepatnya pada sistem perakaran serabut. Pembentukan zat khelat pada akar disebut dengan fitosidofor. Peranan fitosidofor ini sebagai pengikat logam berat dan

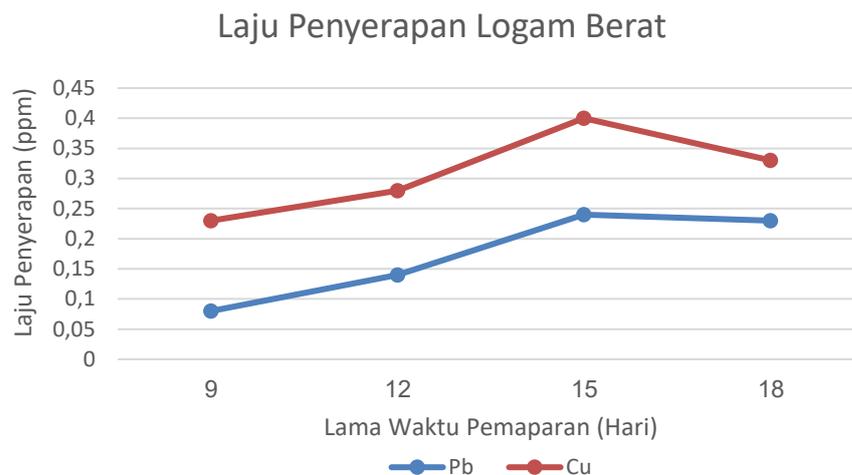
mengangkutnya kedalam sel-sel akar melewati transport aktif. Menurut Oktavia dkk (2016) mekanisme pengikatan ion-ion positif logam berat sebagai bentuk penyerapan oleh akar disebabkan adanya sintesis enzimatis dari glutation pada bagian akar. Oleh karena adanya zat khelat maka terjadilah penumpukan zat kontaminan bersama unsur hara lainnya dalam akar sehingga akar memiliki kadar logam tertinggi diantara pada organ tumbuhan (Widyasari, 2021).

Tujuan dilakukannya proses fitoremediasi tidak lain yaitu karena untuk mengetahui laju penyerapan logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik oleh tumbuhan melati air. Laju penyerapan logam berat dapat diketahui melalui prinsip perhitungan antara berat kering akar (gr) dan konsentrasi masing-masing logam berat (ppm) yang dibagi dengan variasi lama waktu pemaparan yang ditentukan. Berikut data laju penyerapan yang disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Laju Penyerapan Tumbuhan Melati Air Pada Variasi Lama Waktu Pemaparan

Lama Waktu Penyerapan	Pengulangan	Laju Penyerapan Pb (ppm)	Rata-rata Laju Penyerapan Pb (ppm)	Laju Penyerapan Cu (ppm)	Rata-rata Laju Penyerapan Cu (ppm)
9 hari	1	0.08	0.8	0.23	0.23
	2	0.08		0.23	
	3	0.08		0.25	
	4	0.08		0.22	
12 hari	1	0.14	0.14	0.27	0.28
	2	0.14		0.27	
	3	0.15		0.28	
	4	0.14		0.28	
15 hari	1	0.23	0.24	0.39	0.40
	2	0.23		0.40	
	3	0.24		0.39	
	4	0.23		0.41	
18 hari	1	0.23	0.23	0.33	0.33
	2	0.24		0.34	
	3	0.23		0.33	
	4	0.23		0.33	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2022)



Gambar 4.6. Grafik Laju Penyerapan Logam Berat Pb dan Cu Pada Akar Melati Air

Berdasarkan hasil Tabel 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa rata-rata data laju penyerapan Pb pada lama waktu pemaparan 9 hari yaitu 0,8 ppm. Laju penyerapan Pb dengan lama waktu 12 yaitu 0,14 ppm. Laju penyerapan Pb dengan lama waktu 15 hari yaitu 0,24 ppm dan laju penyerapan Pb dengan lama waktu 18 hari yaitu 0,23 ppm. Sedangkan rata-rata laju penyerapan Cu pada lama waktu pemaparan 9 hari, 12 hari, 15 hari dan 18 hari berturut-turut adalah 0,23, 0,28, 0,40, dan 0,33 ppm. Oleh karena perbedaan konsentrasi antara logam Cu yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam berat Pb maka menurut pernyataan Perwitasari dkk (2018) semakin tinggi konsentrasi logam berat maka akan mempengaruhi proses metabolisme tumbuhan sehingga berdampak pada rendahnya berat kering tumbuhan dan akan meningkatkan laju penyerapannya. Keberadaan logam Pb yang cenderung lebih sedikit kadarnya dibandingkan logam Cu dalam sel tumbuhan diduga sebagian kecil terakumulasi pada bagian daun melewati transport aktif dan dianggap mempengaruhi metabolisme pembentukan klorofil dan kuantitas kloroplas karena sifat Pb sebagai unsur hara non esensial (Djo dkk, 2017).

Mekanisme penyerapan akar yakni melalui membran sel dalam akar serta perlakuan proses absorpsi di perairan terhadap ion-ion logam berat Pb dan Cu. Jika media tanam berkonsentrasi tinggi maka ion-ion positif logam berat akan masuk ke dalam jaringan akar dan berakhir dalam sel akar tumbuhan yang berkonsentrasi rendah bermuatan negatif. Peristiwa ini disebut juga dengan proses difusi (Katipana, 2015). Menurut Widyawati dan Kuntjoro (2021) terjadinya penyerapan logam berat oleh akar disebut juga sebagai penyerapan pasif, dimana pita caspary dalam endodermis akar melakukan pengontrolan terhadap akumulasi ion-ion logam berat yang masuk. Pada bagian akar juga melakukan transpirasi hingga terjadi tekanan akar selama waktu pemaparan yang menyebabkan adanya laju penyerapan air sehingga volume air dalam wadah perlakuan mengalami penurunan (Anisa, 2020).

Pada hari ke-15 penelitian ke hari 18 penelitian terjadi penurunan rata-rata laju penyerapan logam berat Pb dan Cu meskipun tidak signifikan. Hal ini diduga disebabkan oleh reaksi tumbuhan melati air yang telah mengalami titik jenuh terhadap penyerapan zat kontaminan. Titik jenuh penyerapan oleh akar merupakan ambang batas maksimum toleransi suatu tumbuhan terhadap mekanisme penyerapan zat kontaminan seperti logam berat dalam media tumbuh. Oleh karena itu, jika tumbuhan telah berada pada titik jenuh penyerapan maka akan terjadi proses eksudat akar sebagai bentuk pelepasan ion logam berat ke media tumbuh yang sebelumnya ion logam tersebut terserap oleh akar (Fauziah dan Rosariawari, 2020).

Adapun selain dilakukannya perhitungan laju penyerapan pada logam berat Pb dan Cu data penelitian juga diperkuat dengan adanya uji statistika

menggunakan spss 26 versi terbaru. Awal pengujian statistika yakni uji normalitas untuk lama waktu penyerapan logam Pb berturut-turut yaitu bernilai sig 0,972, 0,899, 0,195 dan 0,900. Adapun nilai uji normalitas pada lama waktu pemaparan logam Cu berturut-turut bernilai sig 0,766, 0,899, 0,790, 0,598. Hasil uji normalitas kedua logam berat tersebut bernilai sig $>0,05$ yang artinya data terdistribusi normal. Hal ini diduga disebabkan oleh efektifnya mekanisme penyerapan oleh akar tumbuhan melati air. Adapun pada uji homogenitas bernilai sig 0,250 untuk Pb dan sig 0,159 untuk Cu, dimana kedua nilai tersebut dinyatakan homogen karena sig $>0,05$. Kedua uji tersebut digunakan sebagai salah satu uji prasyarat untuk ke uji selanjutnya jika data normal dan homogen. Kemudian dilanjutkan dengan uji Anova satu arah atau One Way Anova sebagai uji hipotesis antara pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penurunan kadar logam berat Pb dan Cu pada tumbuhan melati air. Taraf signifikansi dalam uji yang digunakan yaitu 0,05. Adapun hasil uji One Way Anova diketahui $F_{hit} Pb = 2864,384$ (sig = $0,000 < 0,05$) sedangkan hasil uji One Way Anova $F_{hit} Cu = 1520,727$ (sig = $0,000 < 0,05$) yang artinya H_0 ditolak dan H_a diterima. Jika H_a diterima maka pada penelitian ini terdapat pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penurunan kadar logam berat Pb dan Cu limbah cair batik sendang.

4.5 Removal Efficiency atau Daya Penyerapan Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus radicans*)

Perhitungan kemampuan tumbuhan melati air dalam menurunkan logam berat Pb dan Cu limbah cair batik tidak hanya dihitung pada laju penyerapan namun juga pada daya penyerapannya. Daya penyerapan dapat diartikan sebagai upaya agen fitoremediator dalam menurunkan kadar zat-zat

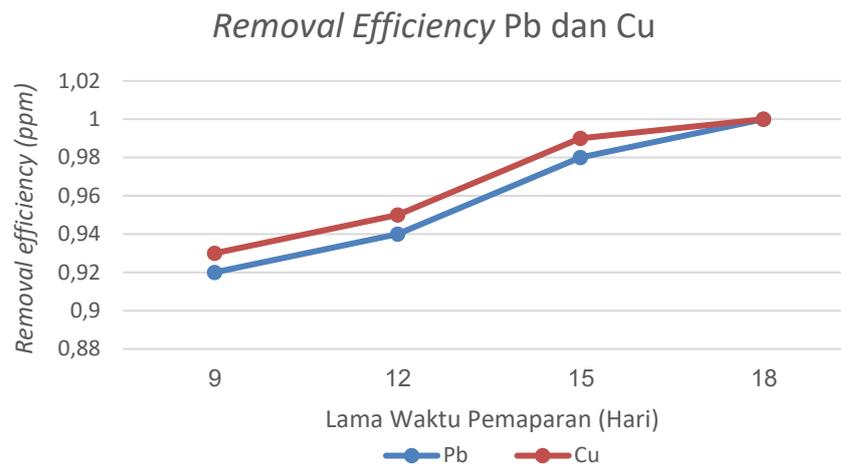
kontaminan dalam media tumbuh dengan perhitungan konsentrasi awal logam berat dikurangi konsentrasi akhir logam berat lalu dibagi konsentrasi awal logam berat. Adapun hasil perhitungan daya penyerapan tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) terhadap kadar logam berat Pb dan Cu dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6. *Removal Efficiency* atau Daya Serap Tumbuhan Melati Air

Lama Waktu Pemaparan	Pengulangan	Daya Serap Pb (ppm)	Rata-rata Daya Serap Pb (ppm)	Daya Serap Cu (ppm)	Rata-rata Daya Serap Cu (ppm)
9 hari	1	0.92	0.92	0.93	0.93
	2	0.91		0.93	
	3	0.91		0.94	
	4	0.92		0.93	
12 hari	1	0.94	0.94	0.95	0.95
	2	0.94		0.95	
	3	0.94		0.96	
	4	0.94		0.95	
15 hari	1	0.98	0.98	0.99	0.99
	2	0.98		0.99	
	3	0.98		1.00	
	4	0.98		0.99	
18 hari	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	1.00		1.00	
	3	1.00		1.00	
	4	1.00		1.00	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2022)

Berdasarkan data hasil *Removal efficiency* atau daya penyerapan pada Tabel 4.6. diketahui bahwa semakin lama waktu pemaparan yang diberikan maka semakin tinggi tingkat pula daya serap tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) terhadap media tumbuh limbah cair batik sendang. Adapun grafik peningkatan daya serap logam berat Pb maupun Cu oleh akar tumbuhan melati air dapat dilihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut:



Gambar 4.7. Grafik *Removal Efficiency* atau Daya Penyerapan Logam Berat Pb dan Cu

Berdasarkan adanya peningkatan daya serap logam berat Pb dan Cu yang tampak pada Gambar 4.7 tidak memiliki perbedaan nilai nyata daya serap diantara kedua logam berat tersebut. Hal ini terlihat pada lama waktu pemaparan 18 hari baik logam Pb maupun Cu memiliki rata-rata nilai daya serap yang sama yakni 1.00 ppm. Pada rata-rata perhitungan penyerapan logam berat Pb dan Cu yang mengalami peningkatan dalam daya serapnya seiring perlakuan lama waktu pemaparan maka hal ini sejalan dengan penelitian Wibowo (2014) jika penggunaan tumbuhan melati air memiliki efisiensi terhadap daya serap logam Cu selama meningkatnya waktu pemaparan hingga bernilai 55,97%. Sedangkan pada pernyataan Perwitasari dkk (2018) melati air memiliki nilai efisiensi dalam daya serap logam berat Pb hingga 89,59% yang sejalan dengan meningkatnya perlakuan lama waktu pemaparan serta konsentrasi logam berat yang diberikan.

Pada umumnya proses penyerapan yang mencakup laju penyerapan dan daya serap hingga adsorpsi zat-zat kontaminan oleh tumbuhan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya luas permukaan serapan, sifat

adsorbat, jenis logam berat, konsentrasi adsorbat atau logam berat, pH larutan, lama waktu pemaparan, dan suhu atau temperatur (Basri dan Hamzah, 2015). Selain itu menurut Rahadian (2017) jenis tanaman dan jumlah tanaman serta umur tanaman juga dapat menjadi pengaruh pada daya penyerapan logam berat. Pada penelitian ini yang menggunakan tumbuhan melati air dari segi morfologi akar memiliki sistem perakaran serabut yang lebat serta setengah terendam air. Hal ini sejalan dengan pernyataan Santriyana (2013) bahwa tingkat efektivitas suatu tumbuhan air agen fitoremediator dilihat dari segi morfologi akar dengan sistem perakaran serabut. Sistem perakaran serabut dinilai dapat menjangkau zat-zat kontaminan lebih tinggi karena memiliki rambut-rambut halus.

Daya penyerapan logam berat Pb dan Cu selain dilakukan oleh akar, tumbuhan melati air diketahui melakukan mekanisme kerja fitovolatilasi. Fitovolatilasi merupakan proses tumbuhan melepaskan uap air ke udara bebas yang bersifat tidak berbahaya dan ditandai dengan adanya embun dibagian atas wadah pengamatan. Logam berat Pb yang dilepaskan berupa $Pb(O_2)^2$. Sedangkan logam Cu berubah menjadi $Cu(O_2)^2$. Logam berat yang terdapat dalam limbah cair batik termasuk Pb dan Cu tidak sepenuhnya terserap dalam akar karena sebagian mengendap berbentuk molekul-molekul garam dalam air (Novita dkk, 2021).

Adanya pengaruh perlakuan variasi lama waktu pemaparan terhadap penurunan logam berat Pb dan Cu yang telah dianalisis menggunakan uji One Way Anova maka secara statistik menghasilkan asumsi bahwa setiap lama waktu pemaparan memiliki perbedaan pada masing-masing daya serap logam berat. Jika pada hasil uji One Way Anova ($\text{sig} = 0,000 < 0,05$) atau H_a diterima

yakni terdapat pengaruh perlakuan yang diberikan maka uji lanjutan yaitu uji post hoc sangat dianjurkan. Tujuan dilakukannya uji post hoc Bonferroni ini untuk menelaah perbedaan dan perbandingan signifikan data-data disetiap perlakuan lama waktu pemaparan yang diberikan. Adapun hasil analisis uji post hoc terdapat pada Tabel 4.7 untuk logam berat Pb dan Tabel 4.8 untuk logam berat Cu.

Tabel 4.7. Uji Post Hoc Terhadap Daya Serap Logam Berat Pb Tumbuhan Melati Air

Perlakuan	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
P ₁	0.000*	-	-	-
P ₂	-	0.000*	-	-
P ₃	-	-	0.000*	-
P ₄	-	-	-	0.000*

Keterangan: P₁: Perlakuan 9 hari pemaparan
P₂: Perlakuan 12 hari pemaparan
P₃: Perlakuan 15 hari pemaparan
P₄: Perlakuan 18 hari pemaparan
(*): nilai signifikansi

Tabel 4.8. Uji Post Hoc Terhadap Daya Serap Logam Berat Cu Tumbuhan Melati Air

Perlakuan	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
P ₁	0.000*	-	-	-
P ₂	-	0.000*	-	-
P ₃	-	-	1.000	1.000
P ₄	-	-	1.000	1.000

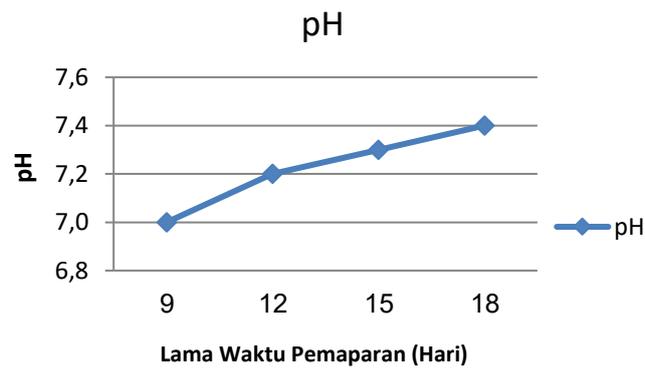
Keterangan: P₁: Perlakuan 9 hari pemaparan
P₂: Perlakuan 12 hari pemaparan
P₃: Perlakuan 15 hari pemaparan
P₄: Perlakuan 18 hari pemaparan
(*): nilai signifikansi

Berdasarkan hasil uji One Way Anova yang menyatakan H_a diterima yaitu terdapat pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penurunan logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik maka dilakukan uji pembeda yakni *post hoc test* sebagai uji lanjutannya. Pada uji post hoc Bonferroni yang telah dilakukan seperti dalam Tabel 4.7 maka dari data tersebut diketahui bahwa pada penurunan logam berat Pb disetiap perlakuan lama waktu pemaparan memiliki perbedaan nyata dengan nilai signifikansi ($p\text{-value} = 0,000 < 0,05$). Lama waktu

pemaparan optimal logam berat Pb dan Cu berdasarkan data *mean difference* adalah tepat pada hari ke-18 (P₄) dengan nilai signifikansi ($p\text{-value}=0,000 < 0,05$) yang dapat dilihat pada Lampiran 3, dimana pada lama waktu tersebut tingkat daya serap tumbuhan dinilai paling tinggi dan H₀ dinyatakan ditolak. Namun pada Tabel 4.8 hasil uji post hoc diketahui terdapat dua data *mean difference* logam berat Cu menyatakan bahwa pada hari ke-15 (P₃) dan 18 (P₄) lama waktu pemaparan memiliki tingkat daya serap yang rendah. Hal ini disebabkan nilai $p\text{-value}>0,05$ yang muncul yakni bernilai signifikansi $p\text{-value}=1,000$ maka H₀ diterima yang berarti tidak ada perbedaan nyata lama waktu pemaparan terhadap penurunan logam berat Cu. Hal tersebut juga diperkuat pada pengukuran laju penyerapan logam berat di hari ke-15 pemaparan tumbuhan mengalami titik jenuh penyerapan, dimana partikel-partikel logam berat yang telah terserap akan dilepaskan kembali ke dalam media tumbuh sehingga kandungan logam berat dalam akar pada hari ke-18 pemaparan mengalami penurunan (Fauziyah dan Rosariawari, 2020).

4.6 pH atau Derajat Keasaman

pH atau derajat keasaman merupakan salah satu komponen penting dalam parameter kualitas air terlebih lagi pada air limbah batik yang dinilai dapat mempengaruhi oksigen terlarut dalam air serta kadar zat-zat organik didalamnya. Pada umumnya pH yang bersifat optimal atau baik bagi pertumbuhan biota air yakni pH netral dengan kisaran nilai 6,7-8,5. Nilai tersebut dianggap sebagai kisaran penyerapan senyawa-senyawa yang cukup baik oleh tumbuhan pada media tanam (Siswandari dkk, 2016). Pengamatan pH dilakukan setiap lama waktu pemaparan yang telah ditentukan yakni 9, 12, 15, dan 18 hari. Grafik data nilai pH tersaji pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik pH Selama Fitoremediasi dengan Variasi Lama Waktu Pemaparan

Pengamatan pH juga digunakan sebagai parameter pendukung proses fitoremediasi. Berdasarkan grafik penelitian yang telah dilakukan nilai pH terlihat berbeda-beda di setiap lama waktu pemaparan. Semakin lama waktu pemaparan yang dilakukan maka nilai pH pada penelitian ini mengalami peningkatan kearah pH netral. Rata-rata ulangan pada nilai pH di hari ke-9 yang terlihat menunjukkan pH 7,0. Sedangkan pada hari ke-12, 15 dan 18 penelitian nilai pH perlahan-lahan naik dengan kisaran nilai berturut-turut 7,2, 7,3, 7,4. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa lama waktu pemaparan mempengaruhi laju kenaikan pH menjadi normal. Sehingga, dalam hal ini tumbuhan melati air dinilai mampu menurunkan logam berat dengan baik. Adapun terjadinya kenaikan pH oleh tumbuhan disebabkan proses fotosintesis yang baik oleh tumbuhan melati air. Peranan hidrogen dan energi serta CO_2 sebagai bahan fotosintesis akan diubah menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Sumber ion H^+ tersebut diperoleh dari limbah cair batik dan udara bebas, dimana saat ion H^+ yang dibutuhkan pada proses fotosintesis tumbuhan maka pH media tanam mengalami kenaikan (Widya dkk, 2015). Adapun nilai awal pH penelitian bersifat basa yang menurun ke arah normal akan berpotensi pada laju kelarutan logam berat yang terserap oleh akar tumbuhan (Basri dan Hamzah, 2015).

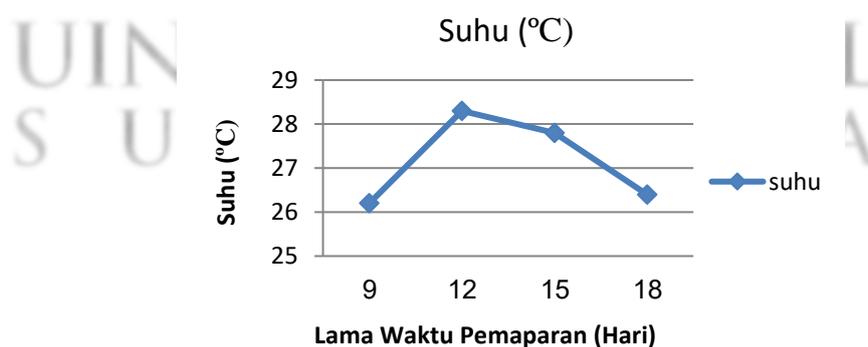
Nilai pH selama proses pengamatan fitoremediasi berkisar 6-7 atau dalam keadaan pH netral dan baik bagi pertumbuhan tanaman yang meskipun kandungan logam berat Pb dan Cu masih ada. Peranan penting tumbuhan dinilai memberikan hasil baik penelitian dimana tumbuhan melati air mampu menurunkan tingkat pH yang awalnya basa (8-9) menjadi dalam keadaan netral. Selain penyerapan oleh akar, tumbuhan dibantu oleh mikroorganisme disekitar akar yang hidup pada pH mendekati normal untuk berperan dalam menurunkan kadar logam berat. pH basa pada awal pengamatan media tanam akan membentuk suatu pengendapan yang disebabkan oleh mekanisme pembentukan gugus OH^- dari air limbah yang bereaksi dengan aquades (Wanta dkk, 2019).

Selain itu, pH air yang cenderung mengalami peningkatan ke arah normal akan mempengaruhi pengendapan dan penurunan kandungan logam berat dalam air. Menurut Caroline dan Guido (2015) kelarutan logam berat Pb akan mempengaruhi nilai pH, dimana selama proses fitoremediasi berlangsung logam Pb tidak akan seutuhnya larut dalam air jika tidak dilakukan pengadukan media dan kebanyakan akan mengendap. Namun dengan naiknya pH akan mempengaruhi toksisitas logam berat Pb dalam organ tumbuhan. Nilai pH dalam media tanam tumbuhan sangat mempengaruhi terjadinya proses biokimiawi. pH netral yang teramati dapat menunjukkan adanya penurunan kadar logam berat dalam media tumbuh serta menurunkan angka toksisitas tumbuhan, sehingga akan berdampak baik pada kelangsungan hidup biota didalamnya (Juhri, 2017). Menurut pernyataan Novandi dkk (2014) adanya

penambahan pupuk NPK cair ke dalam media tanam diduga dapat meningkatkan nilai pH pada air.

4.7 Suhu

Suhu merupakan salah satu karakteristik fisik yang sangat berkaitan dengan pH, kadar *Dissolved Oxygen* (DO) dan proses metabolisme dari suatu makhluk hidup, misalnya tumbuhan. Baik pengukuran pH maupun suhu dilakukan sebagai parameter pendukung dalam penelitian kualitas air. Menurut Djoharam dkk (2018) suhu optimal suatu perairan daerah tropis dengan kondisi baik berkisar antara 26-32 °C, dimana suhu tersebut dinilai baik bagi pertumbuhan biota air. Pada proses penyerapan zat-zat kontaminan, suhu dalam air tercemar batik secara tidak langsung mampu mempengaruhi mekanisme fotosintesis dan metabolisme tumbuhan. Banyaknya sinar matahari yang sampai pada tumbuhan dan masuk ke dalam air akan mempengaruhi suhu penelitian. Jika suhu yang ada tidak stabil dapat berdampak pada ketidakseimbangan reaksi kimia dan mikrobiologi (Basri dan Hamzah, 2015). Kisaran rata-rata suhu selama penelitian pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik Suhu Selama Fitoremediasi dengan Variasi Lama Waktu Pemaparan

Selain pengukuran pH sebagai parameter pendukung proses fitoremediasi pengamatan suhu juga perlu dilakukan. Berdasarkan pengamatan terhadap pengukuran suhu selama waktu pemaparan 18 hari, hasil yang diperoleh tertera

pada Gambar 4.9. Pada awal pengamatan di hari ke-9 diketahui jika rata-rata suhu bernilai 26,2 °C. Namun pada hari ke-12 terjadi peningkatan suhu sebesar 28,3 °C. Sedangkan suhu perlahan-lahan menurun di hari ke-15 dan 18 penelitian berturut turut sebesar 27,8 °C dan 26,4 °C. Terjadinya fluktuasi suhu selama penelitian yang dilakukan di laboratorium diduga disebabkan oleh kurangnya sinar matahari yang masuk dan suhu umum laboratoium yang berkisar 25 °C -28 °C. Pada umumnya lingkungan laboratorium dikenal sebagai lingkungan tertutup dan intensitas cahaya matahari yang tidak stabil sehingga pemicu terjadinya fluktuasi suhu lingkungan (Anam dkk, 2013).

Adapun kenaikan suhu yang terjadi dapat mempengaruhi pengikatan serta penyerapan logam berat dalam akar tumbuhan dan diiringi dengan munculnya pengendapan dibawah wadah. Pengendapan terjadi jika oksigen dalam air sebagai media tanam berkurang akibat peningkatan suhu (Basri dan Hamzah, 2015). Menurut pernyataan Oktavia dkk (2016) suhu lingkungan penelitian akan mempengaruhi suhu air limbah yang diberikan. Selain itu, adanya peran mikroba dalam proses perombakan logam berat yang pada umumnya berada suhu yang berkisar 25-32 °C. Tingkat penyerapan nutrisi pada proses metabolisme dan fotosintesis tumbuhan dipengaruhi oleh suhu dan akan berdampak pada laju difusi ion-ion logam berat yang bermuatan positif dan masuk ke dalam akar bermuatan negatif, sehingga terjadi proses tarik menarik atau disebut proses penyerapan. Mekanisme kerja fitoremediasi yang dipengaruhi suhu penelitian yakni fitovolatilasi, dimana pada proses tersebut tumbuhan melalui bagian akar menyerap zat-zat kontaminan pada kondisi suhu yang meningkat lalu dihantarkan melewati batas hingga ke daun. Kemudian zat

kontaminan diubah menjadi gas tidak berbahaya melalui stomata daun untuk di lepaskan ke atmosfer bebas dalam bentuk uap air. Oleh karena uap air yang dilepaskan maka volume air pada media tanam berkurang (Irawanto, 2010).

4.8 Fitoremediasi Tumbuhan Melati Air dalam Integrasi Keislaman

Lingkungan yang asri dan bersih sudah tentu akan menjadikan terciptanya kenyamanan bagi kelangsungan makhluk hidup baik manusia, hewan maupun tumbuhan. Oleh karena itu pencegahan dan kesadaran akan kebersihan lingkungan perlu di terapkan. Contoh sederhana perilaku baik dalam pencegahan kerusakan lingkungan yakni dengan melakukan fitoremediasi di area perairan tercemar. Salah satu area di kota Lamongan yang terindikasi adanya pencemaran air dapat ditemui di daerah industri rumahan pembuatan batik tepatnya di desa Sendang Lamongan. Limbah cair batik yang di hasilkan mengandung berbagai zat logam berat berbahaya dan jika di buang bebas tanpa di kelola akan berdampak buruk bagi lingkungan maupun makhluk hidup apabila telah sampai dalam rantai makanan. Terjadinya kerusakan lingkungan yang ditimbulkan tersebut sangat bertentangan dengan firman Allah dalam al-qur'an surat Al-A'raf ayat:56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا * إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ 56

Terjemahan: "Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdo'alah kepada-nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan." (Surat Al-A'raf ayat 56).

Pada ayat 56 surat Al-A'raf yang telah diterangkan diatas dapat di simpulkan bahwa Allah SWT tidak menciptakan manusia untuk melakukan hal-hal yang tidak bermanfaat dalam bentuk apapun. Contoh perilaku tidak bermanfaat yakni berupa berbuat kerusakan seperti mencemari perairan,

membunuh makhluk hidup yang tidak bersalah akibat sikap ceroboh manusia membuang sampah sembarangan dan lain-lain. Namun Allah SWT akan memberikan rahmat dan hidayahnya kepada orang-orang yang senantiasa melestarikan lingkungan agar tetap terjaga dengan baik (Nurhayati dkk, 2018). Hal baik tersebut dapat di terapkan pada perbuatan manusia seperti halnya melakukan fitoremediasi pada lingkungan tercemar dengan menggunakan bantuan agen fitoremediasi atau tumbuhan. Selain mengurangi dampak lingkungan yang terjadi metode fitoremediasi dapat disebut sebagai salah satu cara pelestarian lingkungan dan menjaga sumberdaya hayati.

Penggunaan metode fitoremediasi selain membutuhkan peran tumbuhan seperti tanaman melati air (*Echinodorus radicans*) dalam memulihkan bahan pencemar juga terdapat tugas utama manusia sebagai hamba Allah yang di tunjuk sebagai khalifah di bumi serta perantara untuk mewujudkan lingkungan yang bersih dan sehat. Oleh karena itu Allah berfirman dalam surat Al-Qasas ayat 77 yang berbunyi:

وَابْتَغِ فِيمَا آتَاكَ اللَّهُ الدَّارَ الْآخِرَةَ وَلَا تَنْسَ نَصِيبَكَ مِنَ الدُّنْيَا وَأَحْسِنْ كَمَا أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ وَلَا تَبْغِ الْفَسَادَ فِي الْأَرْضِ * إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ 77

Terjemahan: "Dan carilah (pahala) negeri akhirat dengan apa yang telah di anugerahkan Allah kepadamu, tetapi janganlah kamu lupakan bagianmu di dunia dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi. Sungguh, Allah tidak menyukai orang yang berbuat kerusakan." (Surat Al-Qasas ayat 77).

Arti daripada surat Al-Qasas ayat 77 menegaskan bahwa manusia di ciptakan oleh Allah SWT sebagai khalifah di bumi yang berperan dalam mengurus dan memakmurkan bumi dengan segala isinya. Allah SWT dalam ayat ini dengan tegas mengatakan bahwa manusia di bumi dilarang untuk

melakukan kerusakan baik kerusakan lingkungan maupun yang lainnya. Meskipun manusia sebagai penanggung jawab utama dalam mengatur lingkungan hidup hingga dapat menggunakan berbagai manfaatnya, namun manusia juga tetap harus mengelola, menjaga dan memelihara kelestarian lingkungan. Oleh karena itu keseimbangan ekosistem dan proses simbiosis antar makhluk hidup tidak terganggu (Rodin, 2017). Pengaturan adanya simbiosis yang saling menguntungkan antar makhluk ciptaan Allah SWT tertuang dalam surat Ali-Imran ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ۚ 190 الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَمَا وَقَعُوا ۗ وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ ۗ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا ۗ سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ 191

Terjemahan:” Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal (190). (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah engkau menciptakan semua ini sia-sia; Maha suci engkau, lindungilah kami dari adzab neraka (191).” (Surat Ali-Imran ayat 190-191).

Pada surat Ali-Imran ayat 190-191 ini menjelaskan bahwa sesungguhnya Allah SWT tidak menciptakan makhluknya jika tidak bermanfaat bagi satu sama lain baik di sadari secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu contoh makhluk hidup yang di ciptakan Allah dan keberadaannya sangat mudah di jumpai yakni berbagai tumbuhan air yang dimana sebagian besar memiliki manfaat sebagai agen fitoremediator pada lingkungan tercemar seperti perairan tercemar limbah cair batik.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu pemaparan terhadap penurunan logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik di Desa Sendang Kabupaten Lamongan. Berdasarkan rumusan masalah penelitian yang diajukan dan analisis data serta pembahasan yang telah di kemukakan pada bab sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) pada lama waktu pemaparan yang dilakukan yakni 9 hari, 12 hari, 15 hari dan 18 hari memiliki potensi dalam menurunkan kadar logam berat limbah cair batik yaitu Pb berturut-turut sebesar 3,71 ppm, 2,65 ppm, 0,80 ppm dan 0,14 ppm. Pada kandungan logam berat Cu berturut-turut sebesar 4,09 ppm, 2,85 ppm, 0,31 ppm dan 0,26 ppm.
2. Perubahan morfologi melati air yakni tumbuhnya tunas baru 2-3 helai di setiap perlakuan namun bagian batang menjadi agak merunduk pada hari ke-15 dan 18 pemaparan. Pada daun mengalami klorosis dan nekrosis di seluruh perlakuan waktu pemaparan akibat tingginya kadar logam berat Pb dan Cu.
3. Lama waktu penyerapan optimal logam berat Pb dan Cu dalam limbah cair batik Sendang berdasarkan data hasil penelitian laju penyerapan logam berat Pb dan Cu yakni pada hari ke-15 pemaparan logam berat Pb sebesar 0,24 ppm dan Cu sebesar 0,40 ppm.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut pada rentang waktu pemaparan yang lebih lama dari perlakuan 18 hari untuk mengetahui ambang batas tumbuhan melati air (*Echinodorus radicans*) terhadap tingkat penyerapan logam berat Pb dan Cu maupun logam berat lainnya dalam limbah cair batik Sendang.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait media tumbuh yang digunakan dengan menggunakan perbandingan aquades dan limbah cair pada berbagai konsentrasi.
3. Apabila menggunakan sampel limbah cair batik di anjurkan melakukan pengenceran pada semua perlakuan media tumbuh dari proses aklimatisasi, *Range Finding Test* (RFT) hingga proses fitoremediasi yang bertujuan untuk kelangsungan hidup tumbuhan.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. E. dkk. (2011) 'K-3 Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintetis Dengan', *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*, pp. 26–27.
- Ain, S. Z. dan Noviana, L. (2019) 'Efektivitas Melati Air Dalam Menurunkan Kadar Bod, Cod Dan Tss Pada Air Limbah Laundry', *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 1(1), pp. 1–14.
- Anam, M. M., Kurniati, E. dan Suharto, B. (2013) 'Penurunan kandungan logam Pb dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dan Zeolit', *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 1(2), pp. 43–59.
- Anisa, F. (2020) Analisis Laju dan Daya Serap Tanaman Bambu Air (*Equistum hymale L.*) Terhadap Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). Skripsi. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Apriyani, N. (2018) 'Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya', *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 3(1), pp. 21–29.
- Arimbi, A. (2017) Efektivitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus radicans*) dalam Menurunkan Kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) serta TSS (*Total Suspended Solid*) Pada Limbah Cair Tempat Pemoangan Ayam Di Kecamatan Delitua Kabupaten Deli Serdang. Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- Arini, Ambar B. dan Asti Musman. (2011). *Batik: Warisan Adiluhung Nusantara*. Gramedia. Yogyakarta.
- Arisandy, F., Estuningsih, S. P. and Juswandi (2018) 'dan Air Asam Tambang Pada Proses Fitoremediasi', *Jurnal Penelitian Sains*, 20(20), pp. 44–49.
- Astuti, S. N. C. T. (2018) 'Agen Fitoremediasi Logam Berat Tembaga (Cu) Dari Limbah Cair Batik Berdasarkan Analisis Ekspresi Gen Phytochelatin Synthase'. Skripsi. UIN Sunan Kalijaga.
- Baroroh, F., Handayanto, E. dan Irawanto, R. (2018) 'Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia Molesta* dan *Pistia Stratiotes* Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman Brassica

- rapa', *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), pp. 689–700.
- Baroroh, F. dan Irawanto, R. (2016) 'Seleksi Tumbuhan Akuatik Berpotensi dalam Fitoremediasi Air Limbah Domestik di Kebun Raya Purwodadi', *Seminar Nasional Biologi*, (January), pp. 1–4.
- Basri, S. dan Hamzah, E. (2015) 'Studi Eksperimen: Efektivitas Kemampuan Tanaman Jeringau (*Acorus calamus*) untuk Menurunkan Kadar Logam Berat di Air', *Higiene*, 1(1), pp. 50–59.
- Billah, A. R., Moelyaningrum, A. D. dan Ningrum, P. T. (2020) 'Fitoremediasi Chromium Total (Cr-T) Menggunakan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Pada Limbah Cair Batik', *Jurnal Biologi Udayana*, 24(1), p. 47.
- Caroline, J. dan Moa, G. A. (2015) 'Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) (*Echinodorus palaefolius*) Pada Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan', *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*, 10(3), pp. 733–744.
- Darma, A. P. (2020) 'Fitoremediasi Total Dissolve Solid Pada Limbah Cair Industri Menggunakan Melati Air (*Echinodorus paleaefolius*) dengan Sistem Resirkulasi'.
- Dewi, D. C. (2012) 'Determinasi Kadar Logam Timbal (Pb) dalam Makanan Kaleng Menggunakan Destruksi Basah dan Destruksi Kering', *Alchemy*, 2(1). pp. 12-25.
- Dewi, E., Andriana, L. and R Irawanto (2018) 'Phenology Study of Aquatic Plants (*Sagittaria lancifolia* and *Echinodorus radicans*) in Purwodadi Botanic Garden', *Prosiding Seminar Nasional VI*, (September), p. 114-154.
- Djo, Y. H. W. dkk. (2017) 'Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Untuk Menurunkan COD dan Kandungan Cu Dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana', *Cakra kimia*, 5(2), pp. 137–144.
- Djoharam, V., Riani, E. dan Yani, M. (2018) 'Analisis Kualitas Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Pesanggrahan Di Wilayah Provinsi Dki Jakarta', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental*

- Management*), 8(1), pp. 127–133.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisus. Yogyakarta.
- Elawati, Kandowanko, N. Y. dan Lamondo, D. (2018) ‘Efisiensi Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) Oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) dengan Waktu Kontak Yang Berbeda’, *RADIAL-Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa, dan Teknologi*, 6(2), pp. 162–166.
- Eskani, I. N., Carlo, I. De dan Sulaeman, S. (2005) ‘Efektivitas Pengolahan Air Limbah Batik dengan Cara Kimia dan Biologi’, *Majalah Ilmiah*, pp. 16–27.
- Fauziyah, A. F., Mulyadi, E dan Rosariawari, F. (2020) ‘Penyisihan Logam Terlarut Cr Pada Limbah Batik Secara Fitoremediasi dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Air’. *Seminar Nasional (ESEC)*, pp. 9-15.
- Gusnita, D. (2012) ‘Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Di Udara dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal’, *Berita Dirgantara*, 13(3), pp. 95–101.
- Hardiani, H. (2008) ‘Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi’, *Jurnal Riset Industri*, 2(2), pp. 64–75.
- Hardiani, H. (2009) ‘Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat’, *Jurnal BS*, 44(1), pp. 27–40.
- Hidayah, N., Ilham, M. dan Irawanto, R. (2020) ‘Re-Inventarisasi Keanekaragaman Tanaman Air dan Persebarannya Di Kebun Raya Purwodadi-LIPI’, pp. 209–218.
- Hidayati, N. (2005) ‘Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator’, *HAYATI Journal of Biosciences*, 12(1), pp. 35–40.
- Hidayati, N. (2020) *Tanaman Akumulator Merkuri (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Untuk Fitoremediasi*. LIPI Press. Jakarta.
- Husainy, I. A., Bakti, D., dan Leidonald, R. (2014). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Di Air dan Sedimen Pada Aliran Sungai Percut Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Aquacoastmarine*. 2(4): 20-30.

- Indah Susanti, A. dan Purwaningsih, N. E. (2021) 'Studi tentang Batik Cahaya Utama Di Desa Sendangagung Kecamatan Paciran Kabupaten Lamongan', *Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik*, 1(3), pp. 192–199.
- Indrasti, N. S. dkk. (2006) 'Penyerapan Logam Pb dan Cd oleh Eceng Gondok : Pengaruh Konsentrasi Logam Dan Lama Waktu Kontak', *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(1), pp. 44–50.
- Indrayani, L. (2019) 'Teknologi Pengolahan Limbah Cair Batik dengan IPAL BBKB Sebagai Salah Satu Alternatif Percontohan bagi Industri Batik', *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuanganan'*, (April), pp. 1–9.
- Irawanto (2016) 'Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan Akuatik Koleksi Kebun Raya Purwodadi', *Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi*, 4(1), pp. 1–12.
- Irawanto, R. (2010) 'Fitoremediasi Lingkungan dalam Taman Bali', *Local Wisdom : Jurnal Ilmiah Kajian Kearifan Lokal*, 2(4), pp. 29–35.
- Irawanto, R. dan Mangkoedihardjo, S. (2015) 'Fitoforensik Logam Berat (Pb dan Cd) Pada Tumbuhan Akuatik (*Acanthus Illicifolius* dan *Coix Lacryma-jobi*)', *Jurnal Purifikasi*, 15(1), pp. 54–66.
- Juhri, D. A. (2017) 'Pengaruh Logam Berat (Kadmium, Kromium, dan Timbal) Terhadap Penurunan Berat Basah Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) Sebagai Bahan Penyuluhan Bagi Petani Sayur', *Jurnal Lentera Pendidikan Pusat Penelitian LPPM UM Metro*, 2(2), pp. 219–229.
- Katipana, D. D. (2015) 'Uji Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Kangkung Air (*Ipomea aquatica* Forsk) Di Kampus Unpatti Poka', *Biopendix*, 1(2), pp. 153–159.
- Khodijah, N.S., Rudjito, A.S., Harun, M.U., dan Robiartini, B. (2016). Cekaman Lingkungan dan Potensi Logam Berat Pada Budidaya Sayuran di Lahan Pasca Tambang Timah. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2016*. Palembang, Oktober 2016.
- Kurniawati, H. Y., Karyanto, A. dan Rugayah (2015) 'Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair dan Dosis Pupuk NPK (15 :15 :15) Terhadap

- Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus* L.), *Jurnal Agrotek Tropika*, 3(1), pp. 30–35.
- Kurniawati, L. D. (2018) ‘Pemanfaatan Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius* Nees & Mart. Jf Macbr.) Sebagai Agen Fitoremediasi Pada Air Di Daerah Aliran Sungai Opak Desa Banyakan, Piyungan Bantul’, Skripsi. Universitas Sanata Dharma, pp. 1–150.
- Mursito, B. (2011). *Tanaman Hias Berkhasiat Obat*. Penebar Swadaya. Depok.
- Nafisah, D. (2019) Perlindungan Motif Batik Milik Pengrajin Tinjauan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta dan Fatwa DSN MUI. Skripsi. UIN Sunan Malik Ibrahim. Malang.
- Nilamsari, D. D. dan Rachmadiarti, F. (2019) ‘Kemampuan *Azolla microphylla* dalam Menyerap Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Konsentrasi Yang Berbeda’, *LenteraBio*, 8(3), pp. 207–212.
- Novita, Yuliani dan Purnomo, T. (2021) ‘Penyerapan Logam Timbal (Pb) dan Kadar Klorofil *Elodea canadensis* pada Limbah Cair Pabrik Pulp dan Kertas’, *LenteraBio*, 1(1), pp. 1–8.
- Nuraini, Iqbal dan Sabhan (2015) ‘Analisis Logam Berat dalam Air Minum Isi Ulang (AMIU) dengan Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)’, *Gravitasi*, 14(1), pp. 36–43.
- Nurbidayah., Suarsini, E., dan Hastuti, U. S. (2014). Biodegradasi dengan Isolat Bakteri Indigen Pada Limbah Tekstil Sasiringan di Banjarmasin. *Prosiding Seminar Nasional Sinergi Pangan Pakan dan Energi Terbarukan*. Yogyakarta, Oktober 2014.
- Nurhayati, A., Ummah, Z. I. dan Shobron, S. (2018) ‘Kerusakan Lingkungan Dalam Al-Qur’an’, *Suhuf*, 30(2), pp. 194–220.
- Oktavia, Z., Budiyono dan Dewanti Nikie Astorina Yunita (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), pp. 1–23.
- Oktaverina, V., Hadijah, I., & Rahayu, S. E. P. (2020). Studi Tentang Batik Sendang UD. Cahaya Utama Kabupaten Lamongan. *Prosiding*

Pendidikan Teknik Boga UNY, 15(1), pp. 1-10.

- Patandung, A., HS, S. dan Aisyah, A. (2016) 'Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi (*Vetiver zizanioides*) Terhadap Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) Pada Lahan TPA Tamangapa Antang Makassar', *Al-Kimia*, 4(2), pp. 8–21.
- Perwitasari, P., Handayanto, E. dan Rindyastuti, R. (2018) 'Penggunaan *Echinodorus radicans* dan *Pistia stratiotes* Untuk Fitoremediasi Air Tercemar Timbal (Pb) Serta Pengaruhnya Terhadap Tanaman *Amaranthus tricolor*', *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), pp. 2549–9793.
- Pratomo, S. (2004). Fitoremediasi Zn (SENG) Menggunakan Tanaman Normal dan Transgenik *Solanum nigrum L.* Tesis. Universitas Diponegoro. Semarang. pp. 1–56.
- Purnomo, Y. H. (2010) 'Degradasi Limbah Batik Berwarna Biru dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platinum Jogjakarta', *skripsi*. Universitas Islam Indonesia.
- Puspita, U. R., Siregar, A. Sahri dan Hidayati, N. V. (2011) 'Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediasi Logam Berat Kromium (Cr) yang Terdapat Pada Limbah Cair Industri Batik', *Berkala Perikanan Terubuk*, 39(1), pp. 58–64.
- R, N., Hayati, R. dan Zahara, T. A. (2014) 'Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Bayam Cabut (*Amaranthus tricolor L.*)', *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), pp. 1–10.
- Rachmawati, D. (2020) Fitoremediasi Menggunakan Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) untuk Menurunkan Logam Besi (Fe), *Skripsi*. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Rahadian, R., Sutrisno, E. dan Sumiyati, S. (2017) 'Efisiensi Penurunan COD dan TSS dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*)', *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), pp. 1–8.
- Rahmadina, A., Yuniati, R. dan Salamah, A. (2019) 'Akumulasi Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada *Eclipta prostrata*, *Synedrella nodiflora*, dan

- Tridax procumbens*', *Bioeduscience*, 3(1), pp. 23–32.
- Renngiwur, J., Lasaiba, I. dan Mahulauw, A. (2016) 'Analisis Kualitas Air yang Di Konsumsi Warga Desa Batu Merah Kota Ambon', *Jurnal Biology Science dan Education*, 5(1), pp. 84–92.
- Rizkiaditama, D., Purwanti, E. dan Muizzudin (2017) 'Analisis Kadar Klorofil Pada Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.) Di Kawasan Ngoro Industri Persada (NIP) Ngoro Mojokerto Sebagai Sumber Belajar Biologi', *Prosiding Seminar Nasional III Tahun 2017*, (April), pp. 287–293.
- Rodin, D. (2017) 'Alquran dan Konservasi Lingkungan: Telaah Ayat-Ayat Ekologis', *Al-Tahrir: Jurnal Pemikiran Islam*, 17(2), p. 391-410.
- Rompegading, A. B. dkk. (2021) 'Pengujian Awal Potensi Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata*) dalam Pemanfaatannya Sebagai Fitoremediasi Terhadap Tanah yang Tercemar Logam Cu', *Bioedusains: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 4(2), pp. 251–257.
- Rondonuwu, S. B. (2014) 'Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor', *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(1), p. 52.
- Rosahada, A. D., Budiyo and Dewanti, N. A. Y. (2018) 'Biokonsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Pola Konsumsi Ikan Mujair Di Wilayah Danau Rawapening', *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 6(6), pp. 1–7.
- Rukminasari, N., Nadiarti dan Awaluddin, K. (2014) 'Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Air Laut Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan *Halimeda* sp', *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 24(1), pp. 28–34.
- Sanjaya, D. A. dan Bhandesa, A. M. (2019) 'Studi Eksplorasi Pengobatan Pada Usada Pemunah Cetik Kerikan Gangsa', *Jurnal Penelitian Agama Hindu*, 3(2), p. 144.
- Santriyana, D. D. (2013) 'Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang Ditumbuhkan Pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak', *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(1), pp. 1–11.
- Sembel, D. T. (2015). *Toksikologi Lingkungan*. Andi. Yogyakarta.

- Shofiyannah (2015) 'Perkembangan Batik Sendang Duwur Tahun 1950-1996: Kajian Motif dan Makna', *Avatara, e-Journal Pendidikan Sejarah*, 3(3), pp. 398–408.
- Siregar, T. H. (2009) 'Pengurangan Cemaran Logam Berat Pada Perairan dan Produk Perikanan dengan Metode Adsorpsi', *squalen*, 4(1), pp. 24–30.
- Siswandari, A. M., Hindun, I. dan Sukarsono (2016) 'Fitoremediasi Fosfat Limbah Cair Laundry Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus paleaefolius*) dan Bambu Air (*Equisetum hyemale*) Sebagai Sumber Belajar Biologi', *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 2(3), pp. 222–230.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Tanaka, N., Ng, W.J., dan K.B.S.N. Jinadasa. (2011). *Wetlands for Tropical Applications: Wastewater Treatment by Constructed Wetlands*. Imperial College Press. London.
- Tim Penyusun. (2002). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta. Balai Pustaka.
- Viobeth, B. R., Sumiyati, S. dan Sutrisno, E. (2013) 'Fitoremediasi Limbah Mengandung Timbal (Pb) dan Nikel (Ni) Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*)', *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(1), pp. 1–10.
- Wanta, K. C. dkk. (2019) 'Pengaruh Derajat Keasaman (pH) dalam Proses Presipitasi Hidroksida Selektif Ion Logam dari Larutan Ekstrak *Spent Catalyst*', *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), p. 94-105.
- Warni, D. dkk. (2017) 'Analisis Logam Pb, Mn, Cu, Dan Cd Pada Sedimen Di Pelabuhan Jetty Meulaboh, Aceh Barat', *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2(2), pp. 246–253.
- Wibowo, P. D. (2014) 'Penyisihan Logam Pada Lindi Dengan Sistem *Sub-Surface Constructed Wetland*', *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), pp. 1–10.
- Widiarso, T. (2011) 'Fitoremediasi Air Terkontaminasi Nikel dengan Menggunakan Tanaman Ki Ambang (*Salvinia molesta*)', pp. 1–5.
- Widya, C., Zaman, B. dan Syafrudin (2015) 'Pengaruh Waktu Tinggal dan

- Jumlah Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD dan Warna', *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), pp. 1–8.
- Widyasari, N. L. (2021) 'Kajian Tanaman Hiperakumulator Pada Teknik Remediasi Lahan Tercemar Logam Berat', *Jurnal Ecocentrism*, 1(1), pp. 17–24.
- Widiyawati, M. E. dan Kuntjoro, S. (2021) 'Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Air di Sungai Buntung Kabupaten Sidoarjo', *LenteraBio*, 10(1), pp. 77–85.
- Yuliani, D., Sitorus, S. dan Wirawan, T. (2013) 'Analisis Kemampuan Kiambang (*Salvinia Molesta*) Untuk Menurunkan Konsentrasi Ion Logam Cu (II) Pada Media Tumbuh Air', *Jurnal Kimia Mulawarman*, 10(2). pp. 68-73.
- Yuyun, Y., Peuru, A. R. A. dan Ibrahim, N. (2017) 'Analisis Kandungan Logam Berat Timbal Dan Kadmium Pada Pengolahan Ikan Asin Di Kabupaten Banggai Kepulauan', *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy) (e-Journal)*, 3(1), pp. 71–76.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A