EFEKTIVITAS DAN EFISIENSI TANAMAN GENJER (*Limnocharis flava*) DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN SISTEM *BATCH*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk melengkapi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Program Studi Teknik Lingkungan

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Disusun Oleh:
Roci Lidiana
H75217042

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Roci Lidiana

NIM : H75217042

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2017

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul: "Efektivitas dan Efisiensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Sistem *Batch*". Apabila suatu saat nanti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini sata buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 10 Januari 2022

Yang menyatakan,

(Roci Lidiana)

NIM. H75217042

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh,

NAMA : Roci Lidiana

NIM : H75217042

JUDUL : Efektivitas dan Efisiensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Sistem *Batch*

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan:

Surabaya, 30 Desember 2021

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL	Sulistiya Nengse, ST, MT
NIP. 198512112014031002	NIP. 199010092020122019

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Roci Lidiana ini telah dipertahankan
di depan Tim Penguji Tugas Akhir
Surabaya, 10 Januari 2022

Mengesahkan
Dewan Penguji,

Dosen Penguji I	Dosen Penguji II
Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL	Sulistiya Nengse, ST, MT
NIP. 198512112014031002	NIP. 199010092020122019

Dosen Penguji III	Dosen Penguji IV
Sarita Oktorina, M. Kes	Funsu Andiarna, M. Kes
NIP. 198710052014032003	NIP. 198710142014032002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya

Prof. Dr. Hj. Evi Fatmatur Rusydiyah, M.Ag.
NIP. 197312272005012003

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 : Roci Lidiana
NIM : H75217042
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Teknik Lingkungan
E-mail address : roci.lidiana04@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 :

Efektivitas dan Efisiensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Sistem *Batch*

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif 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, 17 Januari 2022

Penulis

(Roci Lidiana)

ABSTRAK

Efektivitas dan Efisiensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Sistem *Batch*

Logam timbal (Pb) merupakan logam berat yang banyak digunakan di industri. Paparan Pb pada perairan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Metode pengolahan air yang dapat diterapkan untuk mencegah terjadinya pencemaran Pb di perairan yaitu fitoremediasi dengan tanaman genjer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman genjer yang efektif dan efisien dalam menurunkan kadar Pb. Penelitian ini bersifat eksperimental laboratorium. Sistem reaktor fitoremediasi yang digunakan yaitu sistem *batch* dengan konsentrasi Pb 14,03 ppm. Penelitian ini menggunakan variasi jumlah tanaman (5, 10, dan 15 rumpun) dan variasi waktu paparan (3, 5, dan 7 hari). Hasil penelitian menunjukan efisiensi penurunan Pb pada variasi 5 tanaman yaitu 90%, 93%, dan 99,6%, sedangkan efisiensi penurunan pada variasi 10 dan 15 tanaman yaitu, 95%, 95%, dan 96,6%. Jumlah tanaman genjer yang efisien untuk menurunkan kadar Pb yaitu 5 tanaman karena jumlah tanaman tersebut paling sedikit, namun nilai efisiensi yang dicapai sama dengan 2 reaktor lainnya. Berdasarkan perhitungan nilai efektivitas, didapatkan nilai efektivitas < 1, hal ini berarti efektivitasnya tidak tercapai. Hasil uji statistik Kruskal Wallis, pada penelitian menunjukan Asymp.sig > 0,05 dan Chi-square < 7,815, sehingga tidak ada perbedaan nyata penggunaan variasi jumlah tanaman genjer untuk menurunkan kadar logam Pb.

Kata Kunci: *fitoremediasi, timbal (pb), sistem batch, tanaman genjer.*

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

ABSTRACT

Effectiveness and Efficiency of Yellow Velvetleaf (Limnocharis flava) To Reduce Heavy Metal Lead (Pb) Levels Using a Batch System

Lead (Pb) is a heavy metal that is widely used in industry. Exposure Pb in waters can cause environmental damage. Water treatment methods that can be applied to prevent Pb pollution in the waters are phytoremediation with yellow velvetleaf. This study aims to determine the ability of yellow velvetleaf to be effective and efficient in reducing Pb levels. This research is an experimental laboratory. The phytoremediation reactor system used is a batch system with Pb concentration of 14.03 ppm. This study used variations in the number of plants (5, 10, and 15 clumps) and variations in exposure time (3, 5, and 7 days). The results showed that the efficiency of Pb reduction in variations of 5 plants was 90%, 93%, and 99.6%, while the efficiency decreased in variations of 10 and 15 plants was 95%, 95%, and 96.6%. The number of yellow velvetleaf that were efficient for reducing Pb levels was 5 plants because the number of plants was the least, but the efficiency value achieved was the same as the other 2 reactors. Based on the calculation of the effectiveness value, the effectiveness value is < 1, this means that the effectiveness is not achieved. The results of the Kruskal Wallis statistical test, in the study showed Asymp.sig > 0.05 and Chi-square <7,815, so that there was no significant difference in the use of variations in the number of yellow velvetleaf to reduce Pb metal levels.

Keywords: *phytoremediation, lead (Pb), batch system, yellow velvetleaf.*

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING ii
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI iv
ABSTRAK v
ABSTRACT vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL ix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 4
BAB II HASIL DAN PEMBAHASAN 6
2.1 Air Limbah 6
2.1.1 Karakteristik Air Limbah 7
2.1.2 Baku Mutu Air Limbah 10
2.2 Logam Berat Timbal dalam Air Limbah 13
2.3 Fitoremediasi 14
2.4 Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) 16
2.5 Sistem *Batch* 19
2.6 Aklimatisasi 20
2.7 Pengelolaan Limbah Tumbuhan Setelah Proses Fitoremediasi 20
2.8 Integrasi Keislaman 22
2.9 Penelitian Terdahulu 24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 30
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian 30

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.1.1 Lokasi Penelitian 30
3.1.2 Waktu Penelitian 30
3.2 Tahapan Penelitian 32
3.2.1 Tahap Persiapan Penelitian 33
3.2.2 Tahap Pelaksanaan Penelitian 36
3.3 Tahap Analisis Data 40
3.4 Hipotesis 42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 43
4.1 Tahap Aklimatisasi 43
4.2 Uji Fitoremediasi Tanaman Genjer 47
4.2.1 Pengukuran Suhu 56
4.2.2 Pengukuran pH 58
4.3 Konsentrasi Logam Berat Timbal Setelah Fitoremediasi 60
4.4 Efisiensi dan Efektivitas Penurunan Logam Berat Timbal 66
4.4.1 Efisiensi Penurunan Logam Berat Timbal 66
4.4.2 Efektivitas Penurunan Logam Berat Timbal 69
4.5 Analisis Perbedaan Kemampuan Variasi Jumlah Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dan Variasi Waktu Paparan dalam Menurunkan Kadar Logam Timbal 70
BAB V PENUTUP 73
5.1 Kesimpulan 73
5.2 Saran 73
DAFTAR PUSTAKA 74
LAMPIRAN 84

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman Genjer (Limnocharis flava)..... 17
Gambar 3. 1 Skema Tahapan Penelitian.....32
Gambar 3. 2 Sketsa Reaktor 33
Gambar 3. 3 Pembuatan Air Limbah Timbal Artifisial..... 35
Gambar 3. 4 Kerangka Penelitian..... 36
Gambar 4. 1 Pengukuran Tinggi Tanaman Genjer.....47
Gambar 4. 2 Hasil Pengukuran Suhu..... 57
Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran pH..... 59
Gambar 4. 4 Konsentrasi Timbal Saat Fitoremediasi..... 63

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya 11
Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kekurangan Reaktor Batch 19
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu..... 24
Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....30
Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan..... 38
Tabel 4. 1 Aklimatisasi Tanaman Genjer.....44
Tabel 4. 2 Kondisi Tanaman Genjer Saat Fitoremediasi..... 49
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Suhu 57
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran pH 58
Tabel 4. 5 Hasil Uji Konsentrasi Pb Reaktor Kontrol 60
Tabel 4. 6 Hasil Uji Konsentrasi Pb Reaktor 5 Tanaman 61
Tabel 4. 7 Hasil Uji Konsentrasi Pb Reaktor 10 Tanaman 62
Tabel 4. 8 Hasil Uji Konsentrasi Pb Reaktor 15 Tanaman 62
Tabel 4. 9 Efisiensi Penurunan Logam Berat Timbal Terhadap Tanaman Genjer66
Tabel 4. 10 Efektivitas Penurunan Logam Berat..... 69
Tabel 4. 11 Hasil Uji Statistik Kruskal-Wallis pada Konsentrasi Timbal..... 70

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah melalui Kementerian Perindustrian terus berupaya untuk meningkatakan produtivitas sektor industri di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik pada tahun 2017, beberapa sektor industri di Indonesia telah menunjukan persen pertumbuhan yang baik. Pada industri logam, pangan dan otomotif misalnya, mengalami pertumbuhan sebesar 10,6%, 9,49%, dan 6,35% (Kemenperin, 2017). Pertumbuhan industri ini selain dapat memberikan dampak positif terhadap perekonomian masyarakat, juga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Keberadaan industri tanpa diimbangi dengan dengan rencana pengelolaan lingkungan yang baik, dapat menyebabkan terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan yang dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat.

Beberapa industri diketahui menggunakan logam berat sebagai bahan baku atau bahan penunjang kegiatan produksinya. Salah satu logam berat yang banyak digunakan dalam industri yaitu timbal (Pb). Penggunaan timbal pada industri dapat ditemui pada industri pertambangan, baterai, pipa, produk logam, keramik, tekstil, elektronik dan lain-lain (Irianti, dkk., 2017). Setiap kegiatan produksi dari industri–industri tersebut, tentu akan mengasilkan hasil samping. Salah satu hasil sampingnya yaitu berupa air limbah yang mengandung timbal.

Timbal merupakan logam berat yang toksik dan sukar untuk terurai. Oleh sebab itu, keberadaan timbal di perairan sangat berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Permanawati dkk., 2016). Paparan timbal pada perairan dapat menyebakan ganguan ekosistem dan juga kematian pada biota air, sedangkan pada manusia, paparan timbal dapat mengakibatkan efek keracunan akut hingga kronis (Adhani & Hursaini, 2017). Berdasarkan hasil penelitian, timbal dari kegiatan industri telah mencemari beberapa perairan di Indonesia. Pada Sungai Malakutan Kota Sawahlunto misalnya, konsentrasi timbal diperairan ini mencapai 0,458 mg/l (Eldrin dkk., 2019). Pada Sungai Brantas Kota Gresik konsentrasi timbal mencapai

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

0,33 mg/l (Sidjabat dkk., 2020). Pada perairan Pulau Untung Jawa konsentrasi timbal yang mencemari mencapai 0,792 mg/l (Alisa, dkk., 2020). Konsentrasi timbal pada tiga perairan tersebut, berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 Lampiran VI tentang Baku Mutu Air Sungai telah melebihi nilai mutu yang disyaratkan yaitu sebesar 0,03 mg/l. Oleh sebab itu, untuk mencegah terjadinya pencemaran timbal di perairan, upaya pengolahan air limbah harus dilakukan.

Alternatif pengolahan air limbah yang dapat diterapkan untuk mengolah air yang tercemar oleh logam berat adalah fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan sistem pengolahan air limbah secara biologi. Fitoremediasi memanfaatkan tanaman sebagai media pengolahan air limbah. Mekanisme pengolahan air limbah dengan fitoremediasi yaitu tumbuhan akan menyerap, mereduksi dan menstabilkan kontaminan dari air limbah. Sehingga, air limbah setelah fitoremediasi tidak berbahaya lagi bagi lingkungan (Artiyani, 2011). Penggunaan fitoremediasi dalam remediasi lingkungan dapat diterapkan karena fitoremediasi memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan tersebut diantarannya, fitoremediasi mampu memulihkan lingkungan yang terkontaminasi oleh bahan organik, logam beracun, radionuklida, dan bahan berbahaya lainnya secara cepat dan hemat biaya (Dhir, 2013).

Salah satu tanaman yang dapat digunakan untuk fitoremediasi adalah tanaman genjer (*Limnocharis flava*). Tanaman genjer merupakan tumbuhan air yang memiliki kemampuan untuk mereduksi logam berat. Tanaman ini mampu mereduksi logam berat karena memiliki protein fitokelatin. Protein tersebut berfungsi sebagai senyawa pengikat logam berat (Rijal, dkk., 2016). Berdasarkan hasil penelitian, fitoremediasi menggunakan 3 rumpun tanaman genjer selama 6 hari dapat mereduksi logam berat besi (Fe) dan mangan (Mn) sebesar 63% (Priyanti & Yunita, 2013). Dalam hasil penelitian lain menunjukan, fitoremediasi menggunakan satu rumpun tanaman genjer dapat menurukan kadar logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd) dan merkuri (Hg) pada air limbah, dalam kurun waktu 4 minggu. Konsentrasi timbal (Pb) menurun dari 0,1145 ppm menjadi 0,0172 ppm. Konsentrasi kadmium (Cd) menurun dari 0,116 ppm menjadi 0,0422 ppm. Logam berat merkuri (Hg) juga mengalami penurunan dari 0,007 ppm menjadi 0,0018 ppm (Rijal, dkk., 2016).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Berdasarkan uraian diatas, dapat diketahui jika tanaman genjer memiliki kemampuan sebagai fitoremediator logam berat. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut. Penelitian dilakukan dengan memaparkan tanaman genjer dengan air limbah timbal artifisial berkonsentrasi 15 ppm. Konsentrasi tersebut dipilih karena pada air limbah industri umumnya mengandung logam berat timbal sebesar 11 ppm (Komarawidjaja, 2017). Untuk mengetahui hasil fitoremediasi yang lebih efektif dan efisien. Pada penelitian ini, fitoremedisi dilakukan dengan menggunakan perbedaan variasi jumlah tanaman genjer dan waktu paparan terhadap logam berat. Adapun variasi jumlah tanaman genjer yang digunakan yaitu 5, 10, dan 15 rumpun tanaman, sedangkan untuk variasi waktu paparan yaitu 3, 5, dan 7 hari.

Penelitian fitoremediasi logam berat timbal dengan tanaman genjer ini, menggunakan sistem batch. Sistem *batch* merupakan sebuah tangki tunggal yang digunakan dalam proses fitoremediasi. Pada sistem ini, semua sampel air yang digunakan dimasukan pada awal proses dan akan dikeluarkan semua pada akhir proses, sehingga pada reaktor tidak penambahan atau pengeluaran sampel air saat proses berlangsung. Keunggulan menggunakan sistem *batch* dalam proses fitoremediasi yaitu biaya investasi yang murah, serta pengoperasian dan perawatan yang mudah (A. Hidayat, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah jumlah tanaman genjer (*Limnocharis flava*) yang efektif dan efisien dalam menurunkan kadar kadar logam berat timbal?
2. Bagaimana perbedaan kemampuan pengguaan variasi jumlah tanaman genjer (*Limnocharis flava*) dalam menurunkan kadar logam berat timbal pada proses fitoremediasi?

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui jumlah tanaman genjer (*Limnocharis flava*) yang paling efektif dan efisien dalam menurunkan kadar logam berat timbal.
2. Mengetahui perbedaan kemampuan pengguaan variasi jumlah tanaman genjer (*Limnocharis flava*) dalam menurunkan kadar logam berat timbal pada proses fitoremediasis

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukan penelitian ini maka manfaat yang diperoleh yaitu:

1. Bagi Akademisi
   a. Dapat digunakan untuk menambah pengetahuan, wawasan dan sumber referensi tentang pemanfaatan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) sebagai fitoremediator untuk menurunkan logam berat timbal.
   b. Dapat menjadi penelitian pembanding dalam bidang fitoremediasi tanaman akuatik.
2. Bagi Industri

   Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pengolahan air limbah bagi industri yang menghasilkan air limbah yang mengandung logam berat timbal, dengan memanfaatkan tanaman genjer sebagai fitoremediator.
3. Bagi Masyarakat

   Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan masyarakat mengenai pemanfatan tanaman genjer untuk fitoremediasi logam berat timbal.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Tanaman genjer (*Limnocharis flava*) yang digunakan berasal dari area persawahan yang terletak di Jalan Grajagan No 107, Kecamatan Cluring,

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kabupaten Banyuwangi dengan variasi jumlah 5, 10, dan 15 rumpun tanaman.

2. Air limbah yang digunakan adalah air limbah artifisial dengan konsentrasi Pb sebesar 14,03 ppm.
3. Parameter yang diuji meliputi parameter utama dan parameter pendukung. Parameter utama yaitu kadar logam berat timbal pada air limbah, sedangkan parameter pendukung antara lain: pH, suhu, dan morfologi tanaman (kondisi daun, batang dan akar).
4. Baku mutu yang digunakan mengacu pada Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya Kelas 1 Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
5. Volume sampel limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 10 liter pada masing-masing reaktor
6. Proses fitoremediasi menggunakan sistem *batch.*

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

Air limbah adalah sisa dari suatu hasil usaha atau kegiatan yang berwujud cair dan bercampur dengan bahan–bahan lainnya yang terlarut dalam air. Air limbah pada dasarnya adalah air yang mengandung banyak polutan (N. Hidayat, 2016). Dalam komposisi air limbah secara garis besar terdiri atas 99,9% air dan 0,1% partikel padatan dan koloid (Faridatuzzahro dkk., 2015). Secara umum sumber air limbah terbagi atas air limbah domestik dan air limbah industri:

1. Air limbah domestik

   Air limbah domestik merupakan air buangan yang berasal dari kegiatan rumah tangga, perkantoran, dan kegiatan dengan sarana sejenis lainnya. Volume air limbah limbah domestik yang dihasilkan dari kegiatan–kegitan tersebut berkisar antara 200 hingga 400 liter/orang/hari. Besar kecilnya volume air limbah dosmetik bergantung pada banyaknya peralatan yang menggunakan air dikegitannya. Kandungan air limbah domestik sebagian besar didominasi oleh bahan organik, sehingga dalam pengolahan limbah jenis ini dinilai lebih mudah (Kencanawati, 2016).

2. Air limbah industri

   Air limbah industri merupakan air bekas dari sisa proses kegiatan/produksi industri, yang apabila tidak dikelola dapat mencemari lingkungan. Limbah cair industri cenderung lebih susah untuk dikelola karena mengandung minyak, logam berat, padatan terlarut, dan senyawa organik lainnya yang bersifat toksik (Arsyad, 2016).

Adapun dampak air limbah apabila tidak dikelola dengan baik yaitu sebagai berikut:

1. Gangguan kesehatan pada manusia

   Kandungan bakteri, virus, komponen organik, dan zat karsinogen yang terdapat dalam limbah cair dapat memicu muculnya vektor penyakit yang dapat menjangkit manusia (Tchobanoglous dkk., 2003).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

penyaringan dan pengolahan air dengan metode flokulasi (Kemendikbud, 2013).

2. Kekeruhan

   Kekeruhan disebabkan oleh bahan yang terapung dan terurainya zat tertentu, seperti jasad renik, senyawa organik, lumpur, atau benda lain yang melayang/terapung dengan ukuran sangat kecil (Arief, 2016).

3. Bau

   Bau yang muncul pada air limbah disebabkan oleh proses penguraian zat organik yang menghasilkan gas. Bau juga dapat timbul karena gas akibat reaksi kimia. Kuat atau tidaknya bau air limbah ditentukan oleh jenis serta banyaknya gas yang dihasilkan (Arief, 2016).

4. Temperatur

   Temperatur air limbah akan mempengaruhi kecepatan reaksi kimia serta tatanan kehidupan pada air. Pembusukan pada air limbah dapat terjadi pada suhu yang tinggi dan tingkat oksidasi zat organik jauh lebih besar pada suhu tinggi (Arief, 2016).

5. Warna

   Warna timbul karena suatu bahan terlarut atau tersuspensi dalam air. Warna pada air limbah juga dapat disebabkan karena adanya bahan pewarna atau logam berat (Arief, 2016).

B. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia limbah cair dapat ditentukan melalui:

1. Biochemical Oxigen Demand (BOD)

   Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat organik yang mudah membusuk dalam suatu perairan. Berdasarkan pengertian lain BOD adalah jumlah oksigen yang digunakan oleh bakteri atau mikroorganisme untuk menstabilkan zat organik yang dapat terurai secara aerobik. Penguraian zat organik ini diartikan bahwa zat organik

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

digunakan oleh mikroorganisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh melalui proses oksidasi (Sawyer, dkk., 2003).

2. Chemical Oxigen Demand (COD)

   Chemical Oxygen Demand merupakan kebutuhan oksigen terlarut dalam air limbah terhadap zat organik yang sukar dihancurkan dengan cara oksidasi. Oleh karena itu, dalam proses penguraiannya diperlukan batuan pereaksi oksidator yang kuat dengan suasana asam. Bila dibandingkan dengan BOD nilai COD dalam air limbah akan cenderung lebih besar, karena COD diukur pada senyawa organik yang mudah terurai dan sukar terurai (Arief, 2016). COD saat ini banyak digunakan sebagai parameter pengganti BOD untuk pengukuran kebutuhan oksigen terlarut dalam air limbah domestik ataupun industri. Hal ini didasarkan pada uji COD, waktu yang diperlukan juga relatif lebih singkat dibandingkan dengan uji BOD. Uji COD hanya memerlukan waktu 2 jam (Quevauvilller, dkk., 2006).

3. Derajat Keasaman (pH)

   Derajat keasaman pada air limbah ditentukan melalui tinggi rendahnya ion hidrogen yang terkandung dalam air. Air limbah dengan pH tinggi atau rendah dapat membunuh mikroorganisme yang diperlukan dalam air. Demikian dengan makhluk hidup lain seperti ikan juga akan mati bila berada pada air dengan tingkat keasaman terlalu rendah atau tinngi (Arief, 2016).

4. Total Nitrogen (N)

   Total nitrogen merupakan kandungan nitrogen organik, amonia, nitrit dan nitrat yang terkandung dalam air limbah. Nitrogen dan fosfor bersama-sama dengan karbon berfungsi sebagai nutrien yang dapat menyesuaikan pertumbuhan tumbuhan di air (Qasim, 1985)

5. Lemak dan Minyak

   Lemak dan minyak ialah senyawa ester dari turunan alkohol yang tersususn dari unsur oksigen, karbon, dan hidrogen. Minyak sulit diuraikan oleh bakteri akan tetapi dapat dipecah oleh senyawa alkali

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

sehingga akan terbentuk senyawa sabun yang mudah terlarut. Keberadan minyak dan lemak dalam air limbah biasanya tergapung pada permukaan air dan sebagian lainnya berada di bawah permukaan air (Arief, 2016).

6. Logam – logam berat

   Logam berat dalam air limbah umumnya berupa cadmium, timbal, kromium, besi, tembaga, selenium, mangan, kobalt, arsen, dan lain sebagainnya. Jenis logam berat tersebut dapat membahayakan manusia pada konsentrasi tertentu (Kencanawati, 2016).

C. Karakteristik Biologi

Karakteristik bilogi pada air limbah digunakan untuk mengontrol timbulnya penyakit yang disebabkan oleh organisme patogen. Karakteristik biologi dapat berupa bakteri, virus, dan mikroorganisme lainnya yang terdapat dalam dekomposisi dan stabilitas senyawa organik (Tchobanoglous dkk., 2003).

2.1.2 Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu merupakan batas kadar ukuran pencemar maksimum yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan. Penetapan baku mutu air limbah mengacu pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Pada lampiran baku mutu ini, baku mutu air limbah dikategorikan menjadi 4 (empat) kelas yaitu:

a. Kelas satu merupakan air yang diperuntukan untuk air baku air minum.
b. Kelas dua merupakan air yang diperuntukan untuk prasarana/sarana rekreasi air, budidaya ikan, peternakan, dan untuk pengairan tanaman.
c. Kelas tiga merupakan air yang diperuntukan budidaya ikan, peternakan, dan pengairan tanaman.
d. Kelas empat merupakan air yang diperuntukan hanya untuk pengairan tanaman.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Parameter baku mutu air pada empat kelas tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya

Parameter	**Satuan**	**Kelas**				**Keterangan**
		1	**2**	**3**	**4**	
Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas permukaan air
TDS	mg/l	1000	1000	1000	2000	Tidak berlaku untuk muara
TSS	mg/l	40	50	100	400	
Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut
Ph	-	6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut
BOD	mg/l	2	3	6	12	
COD	mg/l	10	25	40	80	
DO	mg/l	6	4	3	1	Batas minimal
Sulfat	mg/l	300	300	300	400	
Klorida	mg/l	300	300	300	600	
Nitrat	mg/l	10	10	20	20	
Nitrit	mg/l	0,06	0,06	0,06	-	
Amoniak	mg/l	0,1	0,2	0,5	-	
Total Nitroge	mg/l	15	15	25	-	
Total Fosfat	mg/l	0,2	0,2	1	-	
Fluorida	mg/l	1	1,5	1,5	-	
Belerang sebagai H2S	mg/l	0,002	0,002	0,002	-	
Sianida	mg/l	0,02	0,02	0,02	-	
Klorin bebas	mg/l	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
Barium	mg/l	1	-	-	-	
Boron	mg/l	1	1	1	1	
Merkuri	mg/l	0,001	0,002	0,002	0,005	
Arsen	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,1	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		1	2	3	4	
Selenium	mg/l	0,01	0,05	0,05	0,05	
Besi	mg/l	0,3	-	-	-	
Kadmium	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	
Kobalt	mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	
Mangan	mg/l	0,1	-	-	-	
Nikel	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,1	
Seng	mg/l	0,05	0,05	0,05	2	
Tembaga	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,2	
Timbal	mg/l	0,03	0,03	0,03	0,5	
Kromium heksavalen	mg/l	0 ,05	0 ,05	0 ,05	1	
Minyak dan lemak	mg/l	1	1	1	10	
Deterjen total	mg/l	0,2	0,2	0,2		
Fenol	mg/l	0,002	0,005	0,01	0,02	
Aldrin/ Dieldrin	µg/L	17	-	-	-	
BHC	µg/L	210	210	210		
Chlordane	µg/L	3	-	-	-	
DDT	µg/L	2	2	2	2	
Endrin	µg/L	1	4	4		
Heptachlor	µg/L	18	-	-	-	
Lindane	µg/L	56	-	-	-	
Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
Toxapan	µg/L	5	-	-	-	
Fecal Coliform	MPN/ l00 mL	100	-	-	-	
Total Coliform	MPN/ l00 mL	1000	-	-	-	
Sampah	mg/m3	nihil	-	-	-	
Radioaktivitas						
Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	

Sumber: (Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, 2021)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.2 Logam Berat Timbal dalam Air Limbah

Logam berat merupakan logam yang memiliki berat jenis atau kepadatan spesesif lebih dari 5 g/cm^3. Logam berat dapat memberikan pengaruh terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Ditinjau dari tingkat toksikologinya, logam berat dibedakan menjadi logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial adalah logam yang masih dibutuhkan oleh manusia untuk menjaga metabolismenya. Contoh dari logam berat esensial yaitu besi (Fe). Logam berat nonesesial adalah logam yang tidak dibutuhkan oleh tubuh manusia, dan bahkan apabila masuk dalam tumbuh manusia dapat menimbulkan efek keracunan. Contoh dari logam berat nonesensial yaitu timbal (Pb) (Adhani & Hursaini, 2017).

Timbal merupakan salah satu jenis logam berat yang sangat toksik. Pada kehidupan manusia timbal banyak dimanfaatkan untuk bahan baku ataupun penunjang pada kegiatan industri seperti pembuatan baterai, keramik, bahan bakar fosil, cat, pestisida, pewarna, penstabil senyawa PVC pada pipa, pelapis kabel, dan lain sebgainya (Adhani & Hursaini, 2017). Masuknya timbal di lingkungan dapat melalui air limbah yang dihasilkan oleh industri–industri tersebut yang menggunakan timbal sebagai salah satu bahan bakunya. Timbal memiliki sifat yang sukar untuk terurai dan sangat mudah terakumulasi di lingkungan. Oleh sebab itu, apabila air limbah yang mengandung timbal dibuang ke perairan tanpa melalui proses pengolahan yang baik terlebih dahulu, tentu dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air dan gangguan kehidupan biota air (Permanawati dkk., 2016).

Logam berat timbal diketahui juga dapat masuk ke lingkungan melalui gas kendaraan bermotor. Partikel gas yang berukuran besar yang dikeluarkan oleh kendaraan akan terjatuh secara gravitasi ke bawah sehingga dapat mencemari tanah ataupun permukaan air. Sedangakan partikel yang berukuran lebih kecil dapat terbawa oleh udara dan akan jatuh kembali ke permukaan tanah dan air melalui hujan. Berdasarkan hal tersebut, kegiatan manusia mempunyai tentunya mempunyai pengaruh yang luas terhadap persebaran polusi timbal di bumi ini (Irianti, dkk., 2017).

Penggunaan timbal yang sudah menyebar di seluruh belahan bumi selain menimbulkan dampak pencemaran lingkungan (tanah, air, atau udara) ternyata juga

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dapat berdampak pada persoalan kesehatan manusia. Paparan timbal dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan efek keracunan akut dan kronis pada tubuh manusia (Adhani & Hursaini, 2017). Berikut adalah penjelasannya:

a. Keracunan akut

Keracunan akut timbal terjadi karena paparan dosis timbal yang tinggi dan dalam waktu paparan yang singkat yaitu berkisar hitungan hari hingga bulan. Keracunan timbal akut umumnya menimbulkan gejala yang dramatis dan hanya sebagian yang teramati secara spesifik (Adhani & Hursaini, 2017). Adapun dampak dari keracunan akut yaitu:

1) Nafsu makan hilang
2) Sakit kepala
3) Darah tinggi
4) Nyeri dan kram perut
5) Fungsi ginjal terganggu
6) Sulit tidur
7) Vertigo
8) Arthritis
9) Halusinasi

b. Keracunan kronis

Keracunan kronis timbal terjadi karena paparan timbal yang terakumulasi pada jangka waktu yang lama, yaitu berkisar bulalan hingga tahunan (Adhani & Hursaini, 2017). Keracunan timbal kronis umumnya menunjukan gejala–gejala yang spesifik pada bagian tumbuh manusia seperti:

1. Autisme/keterbelakangan mental
2. Cacat lahir
3. Alergi
4. Disleksia
5. Psikosis
6) Penurunan berat badan
7) Kerusakan otak dan ginjal
8) Kelemahan otot
9) Hiperaktif
10) Kematian

2.3 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan sistem pengolahan limbah cair secara biologi yang manfaatkan tanaman sebagai mediannya. Tumbuhan yang digunakan dalam sistem ini akan bekerja untuk meruduksi dan menstabilkan kontaminan limbah cair agar tidak berbahaya bagi lingkungan (Artiyani, 2011). Teknologi fitoremediasi dipilih karena diakui sebagai metode hemat biaya untuk memulihkan lingkungan yang

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

terkontaminasi bahan organik, logam beracun, radionuklida, dan bahan berbahaya lainnya secara cepat (Dhir, 2013). Mekanisme fitoremediasi dibedakan atas beberapa proses yaitu sebagai berikut:

1. Rhizofiltrasi

   Rhizofiltrasi merupakan proses penyerapan kontaminan oleh akar, sehingga kontaminan tersebut menempel pada permukaan akar dan membentuk lapisan film. Proses ini umunya terjadi pada fitoremediasi perairan, dengan cara tanaman diletakan pada permukaan air limbah (Pratama, 2018).

2. Fitoekstraksi

   Fitoekstraksi merupakan proses penyerapan kontaminan oleh tumbuhan dari media yang tercemar sehingga terhimpun di akar atau teralirkan ke bagian batang dan daun tanaman (Pratama, 2018).

3. Fitodegradasi

   Fitodegradasi merupakan proses penguraian zat kontaminan dengan rantai molekul kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul menjadi lebih sederhana. Molekul yang dihasilkan pada proses ini merupakan molekul sederhana yang bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman. Fitodegradasi terjadi pada seluruh bagaian tanaman, dari akar hingga daun dengan bantuan enzim yang terdapat pada akar. Enzim yang berperan pada tahap fitodegradasi yaitu *dehaloganase, oxygenase,* dan *reductase* (Pratama, 2018).

4. Fitostabilisasi

   Fitostabilisasi merupakan proses penempelan zat kontaminan pada akar. Akar pada tanaman akan mengimobilasi kontaminan dengan cara mengadsorpsi, mengakumulasi pada permukaan akar dan mengendapkannya pada zona akar. Zat kontaminan tersebut akan tertahan di akar secara stabil sehingga tidak ikut terbawa oleh laju air pada media yang tercemar. Proses fitostabilisasi ini biasanya terjadi pada remediasi tanah yang tercemar (Pratama, 2018).

5. Fitovolitalisasi

   Fitovolitalisasi merupakan proses transpirasi yang bekerja pada bagian ujung atas tanaman. Tahap ini merombak zat beracun yang terserap oleh tanaman

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

agar tidak berbahaya lagi melalui proses pengupan di atmosfer (Pratama, 2018).

Pada fitoremediasi logam berat dalam air limbah, akumulasi serta penyerapan logam berat oleh tumbuhan terbagi menjadi tiga tahapan yang saling berkaitan satu dengan lainnya antara lain:

1. Penyerapan logam berat

   Penyerapan logam berat pada air limbah dilakukan oleh akar. Akar menjadi bagian tumbuhan pertama yang akan mengkumulasi kandungan logam berat, karena seperti yang diketahui akar adalah bagian tumbuhan yang bersinggungan secara langsung dengan air limbah (Handayani, dkk., 2013).
2. Perpindahan logam berat ke bagian tumbuhan yang lain

   Setelah terakumulasi di akar, berikutnya logam berat akan disalurkan ke bagian tumbuhan lain seperti batang dan daun oleh jaringan pengangkut yaitu floem dan xilem (Handayani, dkk., 2013).
3. Pemusatan logam berat pada bagian tumbuhan

   Tumbuhan memiliki cara tersendiri agar keberadaan logam berat dalam tubuhnya tidak menghambat proses metabolisme seperti dengan cara menimbun logam berat pada bagian organ tumbuhan tertentu seperti batang ataupun daun (Handayani, dkk., 2013).

2.4 Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*)

Limnocharis flava atau genjer merupakan tanaman air yang berasal dari Benua Amerika. Dalam bahasa Inggris tanaman genjer disebut dengan nama *yellow velveleaf*. Tanaman genjer pertama kali diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1866 tepatnya di Kebun Raya Bogor. Mulanya genjer diperkenalkan dan disebarkan di seluruh dunia sebagai tanaman hias, namun karena kemampuan berkembang biakanya yang sangat cepat, saat ini genjer dianggap sebagai gulma (CABI, 2019). Adapun menurut (USDA, 2018) tanaman genjer dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kingdom : Plantae
Subkingdom : Tracheobionta
Superdivisi : Spermatophyta
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Liliopsida
Subkelas : Alismatidae
Ordo : Alismatales
Famili : Limnocharitaceae
Genus : *Limnocharis*
Spesies : *Limnocharis flava*

Gambar 2. 1 Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*)
Sumber: (USDA, 2018)

Tanaman genjer biasanya banyak ditemukan di area yang tergenang oleh air, seperti sawah, rawa, dan parit. Selain itu, tanaman genjer juga dapat tumbuh dengan baik pada air yang memiliki pH 4–6 dan suhu 25°C–30°C (CABI, 2019). Berdasarkan (Agrotek, 2019) morfologi tanaman genjer dideskripsikan sebagai berikut:

a. Daun

Genjer memiliki daun lengkap berwarna hijau yang terdiri atas tangkai daun, pelepah daum, dan heleai daun. Bentuk dari daun genjer yaitu elips dan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

meruncing dengan ujung yang tumpul. Ukuran daun genjer yaitu berkisar antara 4 sampai 25 centimeter untuk lebar daun, dan 5 hingga 50 centimeter untuk panjang daun.

b. Batang

Jenis batang yang dimiliki oleh genjer termasuk kedalam jenis batang basah karena mengandung banyak air. Panjang batang berkisar antara 5 hingga 75 cm. Bentuk dari batang genjer yaitu segitiga dengan banyak rongga udara di dalamnya.

c. Akar

Akar yang dimiliki tanaman genjer berjenis akar serabut. Akar pada tumbuhan ini berfungsi untuk menyerap nutrisi yang terdapat pada dasar perairan.

d. Bunga

Bunga genjer tumbuh di antara sela daun (pada ketiak daun). Bentuk bunga genjer mirip dengan payung yang terdiri atas 3 hingga 15 kuntum bunga dan termasuk dalam bunga majemuk. Bunga genjer tersusun atas, mahkota bunga dan putik yang berwarna kuning, serta 3 benang sari. Panjang tangkai bunga genjer antara 15 hinga 25 centimeter.

e. Buah dan biji

Buah genjer merupakan buah semu yang berarti buah tersebut muncul dengan melibatkan jaringan lain yang mendukung pertumbuhannya. Biji genjer terletak di dalam buah, biji tersebut berwarna hitam dan berukuran kecil. Biji genjer merupkaan salah satu media perkembangbiakan genjer.

Tanaman genjer berkembang biak melalui dua cara yaitu generatif dan vegetatif. Perkembangbiakan generatif dilakukan melalui penyerbukan benang sari, dan perkembangbiakan vegetatif dilakukan melalui tunas yang tumbuh di antara sulur tanaman. Dalam waktu satu tahun, tanaman genjer mampu menghasilkan satu juta benih baru, oleh sebab itu tanaman ini anggap sebagai gulma karena kemampuan berkembangbiaknya yang sangat cepat dan dalam jumlah yang banyak.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Perkembangbiakan genjer yang tidak terkendali dapat mengakibatkan terganggunya keseimbangan ekologi alami pada suatu perairan (CABI, 2019).

Terlepas dari anggapan tanaman genjer sebagai gulma, *limnocharis flava* banyak dimanfatkan masyarakat sebagai sumber makanan. Kandungan Ca, Fe dan ß-karoten yang relatif tinggi, membuat tanaman ini banyak dikonsumsi oleh masyarakat di berbagai negera seperti Indonesia, Thailand, Vietnam, Bangladesh, dan Malaysia. Selain untuk konsumsi manusia, *Limnocharis flava* juga dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan pupuk kompos untuk menyuburkan tanah (GSID, 2018). Pada beberapa penelitian diketahui tanaman genjer juga dapat digunakan sebagai media untuk memperbaiki kualitas air, seperti pada hasil penelitian (Rijal, dkk., 2016) genjer dapat menurukan kandungan logam berat timbal, kadmium dan merkuri. Akar serabut yang dimiliki oleh tanaman genjer memiliki manfaat penting dalam proses fitoremediasi air limbah. Sifat akar serabut yang cenderung kecil, ringan, dan rimbun, memudahkan akar untuk mengapung pada permukaan air dan menyebar kesegala arah sehingga akar dapat dengan mudah untuk menyerap kandungan logam berat dengan baik.

2.5 Sistem *Batch*

Sistem *batch* adalah jenis sistem tangki dimana pada sistem ini sampel air yang digunakan dimasukan pada awal proses dan akan dikeluarkan semua pada akhir proses sehingga tidak penambahan atau pengeluaran sampel air saat proses berlangsung (A. Hidayat, 2017). Sistem *batch* pada fitoremediasi merupakan proses pengolahan air limbah dengan rektor tunggal dengan tahap pengoperasian meliputi pengisian reaktor, pereaksian air limbah, sedimentasi, dan pengeluaran air limbah setelah proses pengolahan (Barsan, dkk., 2017).

Cara kerja rekator *batch* pada dasarnya sangat sederhana. Pada proses fitoremediasi, tanaman dibuat tergenang pada air limbah saat perlakuan. Selama proses perlakukan pada waktu asumsi tertentu air limbah akan berproses dengan media tanaman fitoremediasi tersebut (Suharto & Susanawati, 2011). Berikut merupakan uraian mengenai kelebihan dan kekeurangan penggunaan reaktor batch:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kekurangan Reaktor *Batch*

Kelebihan	Kekurangan
a. Biaya peralatan murah b. Penggunaan mudah dan dapat dihentikan kapan saja secara tepat c. Dapat digunakan untuk air dengan campuran beracun dan kuat d. Perawatan dan pemberisihan mudah	a. Membutuhkan banyak tenaga kerja, karena pengawasan prosedur harus dilakukan dari awal hingga akhir untuk memantau kondisi reaktor yang berubah–ubah. b. Waktu pengosongan, pembersihan dan pengisian reaktor relatif membutuhkan waktu lama c. Hanya mampu digunakan pada skala kecil

Sumber: (Hibatullah, 2019)

2.6 Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan tahapan penyesuaian tanaman terhadap lingkungan baru. Tahap aklimatisasi merupakan tahapan penting karena tahapan peralihan dari keadaan semula ke lingkungan baru yang berbeda kondisi lingkunganya seperti suhu, iklim, dan lainnya yang dapat berubah–ubah (UNIMED, 2014). Faktor–faktor yang mempengaruhi aklimatisasi antara lain media tanam, intensitas cahaya, kelembapan, dan suhu ruang (Sukmadijaya, dkk., 2015).

Pada proses aklimatisasi perlu dilakukan terlebih dahulu pembersihan akar tanaman dari tanah atau lumpur yang menempel di tanaman. Aklimatisasi dilakukaan dengan cara meletakkan tanaman pada reaktor berisi air bersih kemudian membiarkannya selama 10 hari di dalam reaktor tersebut. Selama proses aklimatisasi perkembangan tanaman perlu untuk diperhatikan (Padmaningrum, dkk., 2014).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.7 Pengelolaan Limbah Tumbuhan Setelah Proses Fitoremediasi

Pada proses fitoremadiasi logam berat dalam air limbah, tumbuhan akan menyerap dan mengakumulasi logam berat di dalam bagian tubuhnya. Sehingga apabila tumbuhan tersebut mati atau selesai digunakan fitoremediasi, di dalam jaringan tubuh tumbuhan tersebut tentu masih terdapat kadungan zat pencemar yang berpotensi berbahaya bagi lingkungan. Oleh sebab itu, penangangan khusus perlu dilakukan seperti tidak dengan membuang secara sembarangan tumbuhan sisa fitoremediasi.

Tumbuhan sisa fitoremediasi yang terkontaminasi oleh logam berat seperti timbal, dalam Lampiran IX PP Nomor 22 Tahun 2021 dikategorikan pada jenis limbah B3 yang berasal dari sumber tidak spesifik dan termasuk dalam kategori bahaya 1 (satu). Kategori bahaya ini umumnya memiliki dampak akut yang dapat memberikan efek langsung terhadap manusia dan juga lingkungan (Unieco, 2020). Berikut merupakan cara yang dapat dilakukan oleh pihak industri untuk menangani limbah sisa tumbuhan fitoremediasi:

a. Pembakaran

   Sistem reduksi limbah B3 yaitu mengubah bentuk limbah dari fasa padat menjadi fasa gas. Penggunaan metode ini mampu mereduksi sekitar 90% volume limbah dan 75% berat limbah. Dalam proses pembakaran limbah harus menggunakan alat yang dinamakan dengan insenerator, dengan menggunakan alat ini kondisi pembakaran dapat terkendali. Insenerator dapat menghancurkan bahan organik dengan baik, sehingga cocok bila digunakan untuk mereduksi tumbuhan sisa fitoremediasi. Akan tetapi dalam pengaplikasiannya insenerator membutuhkan operasional yang tidak mudah, karena fasa yang akan dikeluarkan berbentuk gas pemantauan kualiatas udara yang dikeluarkan dari insenrator harus terus dipantau dan diperhatikan agar tidak menyebabkan polusi udara, selain itu pengoperasian insenerator ini harus dilakukan oleh operator yang sudah terlatih (BPPT, 2011).

b. Stabilisasi/Solidifikasi

   Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) merupakan pengolahan limbah B3 secara fisika dan kimia dengan melibatkan percampuran bahan pengikat untuk mereduksi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

limbah B3 tersebut. Salah satu metode S/S yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah fitoremediasi yaitu S/S berbasis semen portland. Semen cocok digunakan untuk solidifikasi karena semen memiliki struktur komposisi yang konsisten serta dapat dengan baik menunjukan proses pengerasan, setting, dan juga fiksasi logam berat. Pada proses S/S benda yang terkotaminasi timbal, semen akan mengikat timbal untuk bersama mengendap sehingga timbal dan semen akan terkonversi kebentuk yang cenderung lebih stabil baik secara fisk ataupun kimia (Anrozi & Trihadiningrum, 2017).

2.8 Integrasi Keislaman

Kemajuan sektor industri selain bernilai positif terhadap peningkatan ekonomi, juga dapat berpotensi negatif terhadap kualitas lingkungan. Hasil samping kegiatan industri atau yang biasa disebut dengan limbah, apabila tidak dikelola dan ditangani dengan baik dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Salah satu jenis limbah yang dihasilkan industri adalah limbah cair.

Limbah cair yang dibuang langsung ke perairan tanpa diolah dapat memicu timbulnya pencemaran air. Dengan banyaknya perairan yang tercemar bila terus dibiarkan dapat menyebakan kelangkaan air bersih. Sementara itu, air merupakan unsur penting dalam keberlangsungan makhluk hidup. Manusia, hewan dan tumbuhan menggantungkan hidupnya kepada air, karena air adalah asal muasal kehidupan sebagaimana kitab Allah SWT pada Surah Al-Anbiya ayat 30:

وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ

Artinya: "*Kami telah jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air".*

Manusia sebagai satu – satunya makhluk hidup di bumi yang diberi kelebihan akal oleh Allah SWT mempunyai kewajiban untuk menjaga dan mengelola lingkungan agar tidak rusak. Hal tersebut tertulis dalam kitab Allah SWT Surah Al-An'am ayat 165:

وَهُوَ ٱلَّذِى جَعَلَكُمْ خَلَٰٓئِفَ ٱلْأَرْضِ وَرَفَعَ بَعْضَكُمْ فَوْقَ بَعْضٍ دَرَجَٰتٍ لِّيَبْلُوَكُمْ فِى مَآ ءَاتَىٰكُمْ ۗ إِنَّ رَبَّكَ

سَرِيعُ ٱلْعِقَابِ وَإِنَّهُۥ لَغَفُورٌ رَّحِيمٌۢ

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Artinya: *"Dan Dialah yang menjadikan kamu penguasa-penguasa di bumi dan Dia meninggikan sebahagian kamu atas sebahagian (yang lain) beberapa derajat, untuk mengujimu tentang apa yang diberikan-Nya kepadamu. Sesungguhnya Tuhanmu amat cepat siksaan-Nya dan sesungguhnya Dia Maha Pengampun lagi Maha Penyayang"*

Allah SWT menjadikan manusia sebagai pemimimpin dan pemakmur di muka bumi. Keseimbangan lingkungan merupakan tanggung jawab manusia, baik yang disebabkan oleh manusia ataupun faktor alamiah. Melestarikan dan menjaga keseimbangan lingkungan merupakan salah satu bentuk ibadah yang bernilai pahala kepada Allah SWT. Sebaliknya, perbuatan pengrusakan lingkungan merupakan perbuatan yang dimurkai oleh Allah SWT dan termasuk perbuatan mungkar (Tualeka, 2011).

Bentuk usaha yang dapat dilakukan oleh manusia untuk mengatasi masalah pencemaran air yaitu dengan cara mengolah limbah cair dengan sistem baik. Salah teknologi yang dapat digunakan yaitu teknologi fitoremediasi. Dimana teknologi ini memanfatkan tumbuhan untuk mereduksi bahan pencemar pada limbah cair. Dalam Al-Qur'an Surah As-Syu'ara ayat 7 telah disebutkan bahwa Allah SWT telah banyak menciptakan tanaman dan tumbuhan yang dapat dimanfaatkan manusia dengan baik, berikut merupakan ayatnya:

اَوَلَمْ يَرَوْا اِلَى الْاَرْضِ كَمْ اَنْۢبَتْنَا فِيْهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيْمٍ

Artinya: *"Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam pasangan (tumbuh-tumbuhan) yang baik?"*

Salah satu tumbuhan yang baik yang diciptakan oleh Allah SWT adalah tanaman genjer (*Limnocharis flava.)*. Tanaman genjer memiliki banyak manfaat bagi manusia. Selain sebagai bahan makanan, genjer juga dapat dimanfaatkansebagai tumbuhan fitoremediasi untuk menurunkan kadar pencemar seperti logam berat, BOD, COD, TSS, dan zat organik atau anorganik lainnya.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan tabel penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian kali ini:

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis dan Judul	Rangkuman
1.	Muhammad Rijal, Mohamad Amin, Fathur Rochman, Endang Suarsini. *'Response Growth and the Effectiveness of the Absorption of Heavy Metal B-Iii by Limnochris Flava on a Scale Laboratory'*. (2016)	Tujuan penelitian ini untuk menganalisis respon pertumbuhan dan kemampuan Limnocharis flava dalam mengakumulasi logam berat Pb, cd, dan Hg. Prosedur kerja dalam penelitian ini, akuarium diisi dengan air limbah yang mengandung Pb, Cd, dan Hg sebanyak 5 liter kemudian di lakukan fitoremediasi satu tumbuhan genjer selama 4 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Limnocharis flava dapat tumbuh dengan baik di lingkungan kondisi tercemar dan memiliki kemampuan menyerap logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg). Limnocharis flava mampu mereduksi Pb, Cd, dan Hg rata–rata sebesar 89,97%, 63,56 %, dan 74,28%.
2.	Monik Kasman, Anggrika Riyanti, dan Catur Endah Kartikawati. *'Fitoremediasi Logam Aluminium (Al) Pada Lumpur Instalasi Pengolahan Air Menggunakan Tanaman Melati Air (Echinodorus palaefolius)'*. (2019)	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui efisiensi penurunan logam Al pada limbah lumpur PDAM melalui fitoremediasi dengan menggunakan tanaman melati air. Sampel air diambil pada pipa outlet Sludge Drying Bed (SDB) PDAM IPA Tanjung Sari. Pada penelitian ini menggunakan 2 perlakuan diantaranya, perlakuan 1 bak fitoremediasi dengan media tanam lumpur PDAM. Perlakuan 2, bak fitoremediasi dengan media tanam tanah humus, kerikil, dan lumpur PDAM. Analisis konsentrasi logam Al dilakukan pada hari ke 3, 5, 7, 9 dan 11. Hasil penelitian menunjukan, efisiensi penurunan pada perlakuan 1 bertutut-turut yaitu 46%; 62%; 72%; 80%; dan 83%, sedangkan pada perlakuan 2 yaitu 50%; 67%; 75%; 81%; dan 86%. Konsentrasi akumulasi logam Al pada akar tanaman melati air pada perlakuan 1 dan perlakuan 2 yaitu 898,10 mg/l dan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No	Nama Penulis dan Judul	Rangkuman
		302,42 mg/l. Besarnya akumulasi Al pada perlakuan 1 disebakabkan karena tidak adanya media tanam tambahan sehingga penyerapan logam Al lebih optimal akan tetapi tanaman mengalami daya regenerasi yang rendah.
3.	Prima Soheti, La Ode Sumarlin, dan Dany Poltak Marisi. *'Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes) untuk Menurunkan Kadar Torium'.* (2020)	Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui kemampuan tumbuhan kayu apu dalam menurunkan kadar torium (Th). Kandungan Th pada tumbuhan kayu apu dan limbah cair dianalisis dengan Spektrofotometer UV-VIS, dan radioaktivitas diukur dengan Ludlum Model 1000 Scaler. Pengujian dilakukan selama 15 hari, dengan menggunakan 2 rekator yiatu reaktor kontrol dan reaktor fitoremediasi (uji). Hasil penelitian menunjukan tumbuhan kayu apu mampu menurunkan kadar torium hingga 97,4%, yaitu dari konsentrasi awal 10 ppm menjadi 0,2582 ppm selama 15 hari waktu pemaparan. Selain itu, tumbuhan kayu apu juga dapat menurunkan radioaktivitas limbah cair sebesar 77,619%. Nilai radioaktivitas yang didapatkan telaah memenuhi Tingkat Klierens sehingga limbah radioaktif cair pasca fitoremediasi dapat dilepaskan ke lingkungan dengan aman.
4.	Zulfa Oktavia, Budiyono, dan Nikie Astorina Yunita Dewanti. *'Pengaruh Variasi Lama Kontak Fitoremediasi Tanaman Kiambang (Salvinia molesta) Terhadap Kadar Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Home Industry Batik "X" Magelang'.* (2016)	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kontak dengan menggunakan Salvinia molesta terhadap kadar Cd pada limbah cair batik. Air limbah yang digunakan merupakan hasil pengenceran limbah batik sebanyak 25%, dengan volume total pada bak adalah 5L. Tanaman yang digunakan untuk satu bak treatment adalah 140 gram. Waktu kontak pada penelitian ini dianalisi pada hari ke 3, 6, dan 9. Analisa data yang digunakan dala penelitian ini adalah uji beda Kruskall wallis. Hasil penelitian menunjukan kiambang (Salvinia molesta) dengan lama kontak 3 hari, 6 hari dan 9 memiliki

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No	Nama Penulis dan Judul	Rangkuman
		efektivitas penurunan rata-rata berturut-turut sebesar 44,60 %, 55,80 % dan 58,80 %. Hasil uji Kruskall wallis meunjukan terdapat perbedaan antara besarnya penurunan logam berat Cd terhadap variasi lama kontak, yaitu semakin lama waktu kontak, maka kadar logam berat kadmium pada air limbah semakin menurun.
5.	Prasetyo Herlambang, dan Okik Hendriyanto. *'Fitoremediasi Limbah Deterjen Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes l.) dan Genjer (Limnocharis flava l.)'.* (2017)	Tujuan pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui kemampuan kayu apu dan genjer dalam mereduksi kadar phospat dan COD pada air limbah deterjen. Dalam penelitian ini digunakan 2 variabel peubah yaitu variasi waktu tinggal (3,6,9,12,15) dan variasi jumlah tanaman (4, 5, 6, 7, 8). Hasil penelitian menunjukan kayu apu dan genjer dengan jumlah 8 dan waktu tinggal 15 hari adalah jumlah dan waktu tinggal yang paling efektif dalam meruduksi phospat dan COD air limbah deterjen. Kayu apu berhasil menurunkan kadar phospat dan COD sebesar 65,45% dan 32,94% Sedangakan genjer berhasil menurunkan kadar phospat dan COD sebesar 58,45% dan 26,80%. Dari hasil tersebut, bedasarkan Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013 tentang standart baku mutu limbah laundry, hanya reduksi COD menggunakan genjer yang belum memenuhi baku mutu. Kadar COD maksimum adalah 250 mg/l, sedangkan hasil percobaan berada pada nilai 268 mg/l
6.	Andik Setiyono, Rian A. Gustaman *'Pengendalian Kromium (Cr) yang Terdapat di Limbah Batik dengan Metode Fitoremediasi'.* (2017)	Tujuan penelitian ini adalah memberikan alternatif solusi dari dampak pencemaran Cr dengan memanfaatkan berbagai tumbuhan untuk menyerap Cr pada limbah batik. Tanaman air yang digunakan yaitu, enceng gondok, kayu apu, dan kayambang yang ditanam pada wadah yang berisi air limbah selama 5 hari. Hasil peneltian menunukan, konsentrasi Cr pada air limbah kelompok

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No	Nama Penulis dan Judul	Rangkuman
		1 menurun menjadi 0,0378 mg/l setelah diberi perlakuan dengan enceng gondok. Konsentrasi Cr pada air limbah kelompok 2 menurun menjadi 0,0315 mg/l setelah diberi perlakuan dengan kayambang. Konsentrasi Cr pada air limbah kelompok 1 menurun menjadi 0,0240 mg/l setelah diberi perlakuan dengan kayu apu. Hasil uji Kruskal Wallis menunjukkan nilai p= 0,280 atau tidak ada perbedaan penyerapan Cr yang terdapat pada limbah batik pada jenis tanaman enceng gondok, kayu apu, dan kayambang.
7.	Indri Oktoviana, Tengku Abu Hanifah, dan Ganis Fia Kartika. *'Potensi Tanaman Genjer (Limnocharis flava) sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II)'*. (2015).	Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui kemampuan tanaman genjer sebagai fitoremediator ion timbal (II). Analisis timbal pada penelitian ini menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA). Penelitian ini menggunakan 2 reaktor, yaitu 1 reaktor kontrol dan 1 reaktor perlakuan dengan 100 batang tanaman. Konsentrasi Pb yang digunakan yaitu 25 ppm. Analisis sampel dilakukan pada hari ke 3, 6 dan 12. Hasil penelitian menunjukan, konsentrasi timbal berturut-turut pada hari ke 3; 6 dan 12 hari yaitu 0,333 mg/L; 0,156 mg/L dan 0,010 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan tanaman genjer berpotensi sebagai fitoremediator ion timbal karena memiliki daya untuk menyerap ion Pb.
8.	Muhammad Rijal, Moh. Amin, Fatchur Rohman, Endang Suarsini, Nur Alim Natsir, Subhan: *'The effectiveness Pistia stratiotes, Limnocharis flava, and Hydrilla verticellata to increase the Quality of Polluted Water by Waste Detergents'*. (2018)	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas *P. stratiotes, L. flava*, dan *H. verticellata* dalam meningkatkan kualitas air yang tercemar oleh limbah deterjen di sungai Kahena Ambon. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan eperimental laboratorium. Penelitian ini lakukan selama 2 bulan. Berdasarakan hasil penelitian dari ketiga tanaman yang paling efektif meningkatkan kualitas air adalah *P. stratiotes* dengan penurunan kadar BOD 52,22% dan COD 64%, kemudian *L. flava* dengan penurunan kadar BOD 40,05%

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No	Nama Penulis dan Judul	Rangkuman
		dan COD 48%, serta *H. verticellata* dengan penurunan kadar BOD 28,93% dan COD 32%. *P. stratiotes* memiliki tipe serabut perakaran dan rapat sehingga memiliki daya regangan yang lebih kuat dibandingkan *L. flava* dan *H. verticellata*
9.	Anny Thuraidah, Erie Indra Puspita, dan Neni Oktiyan. *'Pengaruh Genjer (Limnocharis flava) terhadap Penurunan Biological Oxygen Demand (BOD) Limbah Industri Karet'*. (2016)	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perbedaan variasi jumlah tanaman genjer dalam menurunkan kadar BOD limbah industri karet. Penelitian ini merupakan true eksperimen dengan rancangan one group pretest-postest, yang kemudian diuji dengan uji statistik regresi linier. Hasil penelitian menunjukan genjer dapat menurunkan BOD limbah karet, dengan hasil berturut-turut yaitu 1 tanaman (13,65%,), 2 tanaman (14, 52%), 3 tanaman (15,6%), 4 tanaman (20,94%), dan 5 tanaman (29,05%). Berdasarkan hasil tersebut diketahui variasi jumlah tanaman mempengaruhi penurunan BOD air limbah, namun nilai yang dihasilkan belum memenuhi baku mutu KEP-51/ MENLH/10/1995.
10.	N. Aurangzeb, S. Nisa, Y. Bibi, F. Javed, dan F. Hussain. *'Phytoremediation Potential of Aquatic Herbs from Steel Foundry Effluent'*. (2014)	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan fitoremediasi dari dua tanaman air yaitu, *Pistia stratiotes* dan *Eichhornia crassipes* untuk mereduksi logam berat dari limbah baja. Air Limbah didapatkan dari outlet furnace Pengecoran Baja yang berlokasi di Kawasan Industri Hayatabad, Peshawar. Analisis logam pada penelitian ini menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA). *Eichhornia crassipes* yang digunakan yaitu berjumlah 3 tanaman (250 gram), sedangkan *Pistia stratiotes* yang digunakan memiliki berat 40 gram. Penelitian ini dilakukan selama 30 hari. Hasil penelitian menunjukan *Pistia stratiotes* mampu menurunkan logam Pb dan Cu dengan efisiensi masing-masing 70,7% dan 66,5%. *Eichhornia crassipes* memiliki efisiensi lebih baik karena

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No	Nama Penulis dan Judul	Rangkuman
		mampu menurunkan logam berat lebih banyak yaitu Cd, Cu, As, Al dan Pb, dengan efisiensi penurunan berturut-turut adalah 82,8%, 78,6%, 74%, 73% dan 73%.
11.	Indah Rahayuningtyas, Nur Endah Wahyuningsih, Budiyono *'Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak dan Berat Tanaman Apu-Apu (Pistia stratiotes L.) terhadap Kadar Timbal pada Irigasi Pertanian'.* (2018)	Tujuan dari penelitian ini yaitu, untuk mengetahui pengaruh variasi lama waktu kontak (3 hari, 5 hari, dan 10 hari) dan berat tanaman (150 gram, 200 gram dan 250 gram) Pistia stratiotes L. dalam menurunkan kadar timbal pada air irigasi di Desa Suluwuh, Kecamatan Bulakamba, Kabupaten Brebes. Penelitian ini merupakan penelitian berbasis laboratorium. Kadar logam timbal diukur menggunakan AAS. Hasil penelitian menunjukan tanaman apu-apu (Pistia stratiotes L.) efektif dalam menurunkan kadar timbal pada air irigasi pertanian. Penurunan dan efektivitas tertinggi terjadi pada perlakuan dengan lama waktu kontak 10 hari yaitu 100% dengan tidak adanya perbedaan antara masing-masing variasi berat tanaman dan telah berada dibawah baku mutu yang ada yaitu 0,03 mg/l.

Sumber: (Hasil analisa, 2021)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian berjudul "Efektivitas dan Efisiensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Batch" dilaksanakan di *Greenhouse* yang terletak di Desa Grajagan, Kecamatan Purwoharjo, Kabupaten Banyuwangi. Pengujian parameter utama yaitu logam berat timbal (Pb) dilakukan di Laboratorium Lingkungan Banyuwangi yang terletak di Jl. Wijayakusuma No.102, Kecamatan Giri, Kabupaten Banyuwangi, sedangkan pengujian parameter pendukung (pH dan suhu) dilakukan di *Greenhouse* yang terletak di Desa Grajagan, Kecamatan Purwoharjo, Kabupaten Banyuwangi.

3.1.2 Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian yang meliputi proses persiapan hingga analisis laboratorium dilakukan pada bulan April hingga Juli 2021. Setelah penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil, berikutnya dilanjutkan dengan penyusunan dokumen laporan tugas akhir. Berikut merupakan jadwal pelaksaan penelitian dan penyusunan laporan:

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan										
		Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Jan
1.	Persiapan Alat dan Bahan											
2.	Pengambilan Tanaman Genjer											
3.	Pembuatan Greenhouse											
4.	Aklimatisasi											
5.	Pembuatan Air Limbah Artifisial											

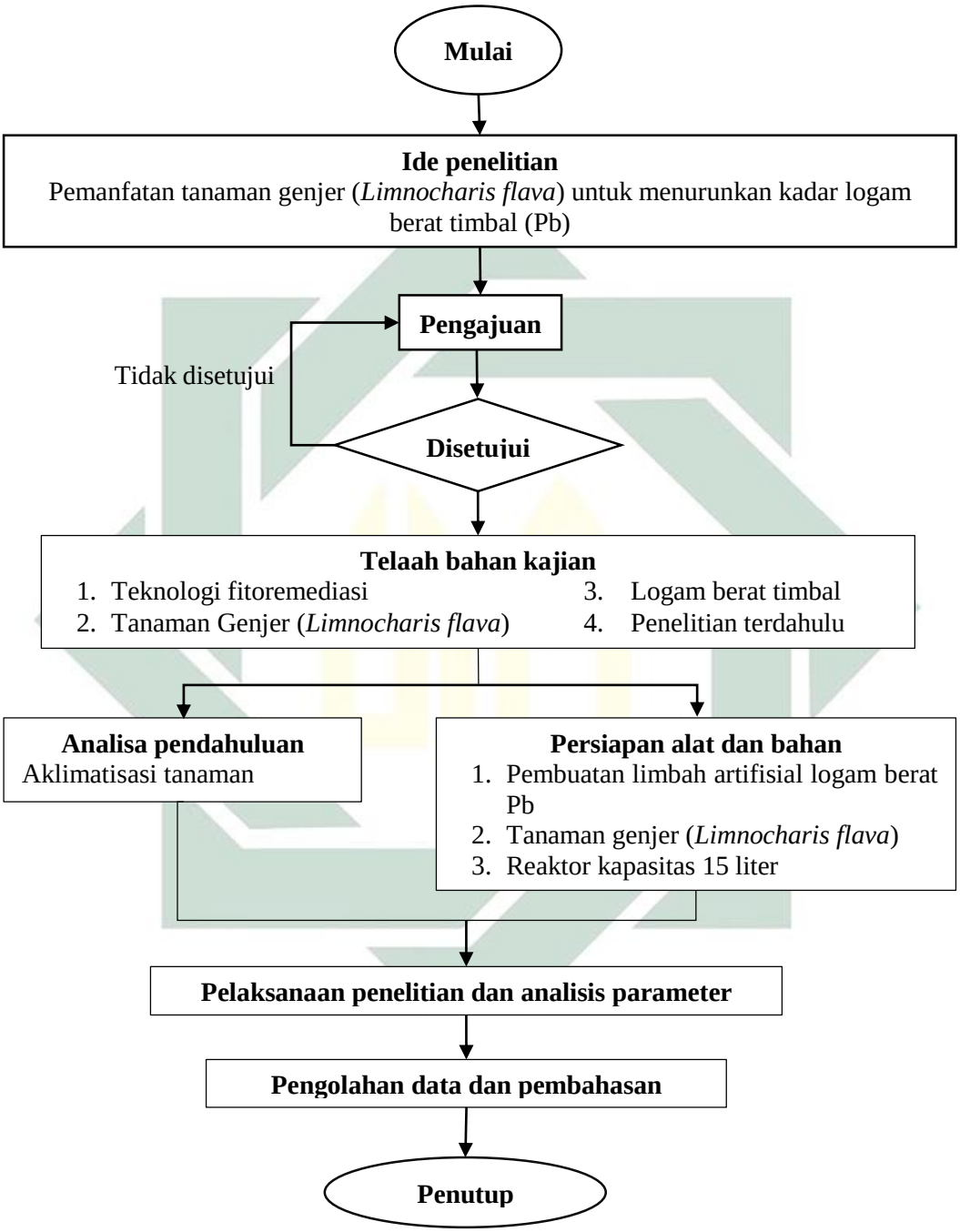
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No	Kegiatan	Bulan										
		Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Jan
6.	Proses Fitoremediasi											
7.	Analisis Laboratorium											
8.	Penyusunan Laporan dan Pengolahan Data											
9.	Pelaksanaan Seminar Hasil											
10.	Perbaikan Laporan											
11.	Pelaksanaan Sidang Akhir											

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan terdiri atas beberapa tahap yang digambarkan pada bagan alir berikut:



Gambar 3. 1 Skema Tahapan Penelitian

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.2.1 Tahap Persiapan Penelitian

Tahap persiapan merupakan tahapan yang dilakukan sebelum melakukan penelitian. Tahap ini terdiri atas langkah–langkah sebagai berikut:

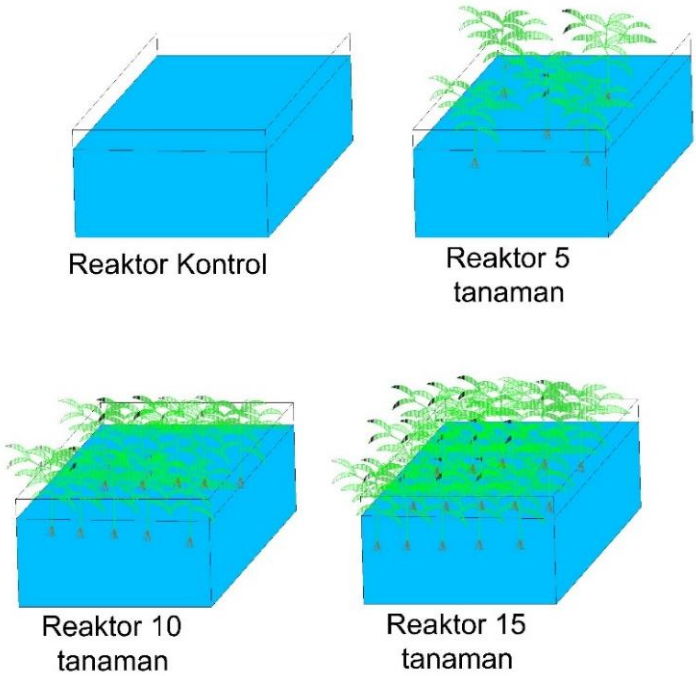
A. Telaah bahan kajian

Telaah bahan kajian dilakukan untuk menentukan fokus permalahan serta arah dari penelitian yang akan diangkat.

B. Persiapan alat dan bahan

1. Alat

Pada penelitian ini alat–alat yang digunakan dalam penelitian meliputi reaktor fitoremediasi, thermometer, pH meter, timbangan digital, jerigen besar sebagai wadah air limbah artifisial, dan botol plastik untuk pengujian laboratorium. Reaktor yang digunakan merupakan reaktor *batch* kapasitas 15 liter berbahan plastik. Jumlah reakor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 4 buah. Adapun pembagian fungsi yaitu 1 reaktor kontrol, 1 reaktor fitoremediasi 5 tanaman, 1 reaktor fitoremediasi 10 tanaman, dan 1 reaktor fitoremediasi 15 tanaman. Berikut merupakan sketsa reaktor yang akan digunakan:



Gambar 3. 2 Sketsa Reaktor

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2. Bahan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah tanaman genjer (*Limnocharis flava*), aquades dan serbuk logam berat timbal ($Pb(NO_3)_2$). Berikut merupakan persiapan penggunaan bahan yang digunakan dalam penelitian :

a. Kriteria tanaman genjer

Tanaman genjer yang digunakan dipilih berdasarkan ukuran yang seragam. Adapun kriteria pemilihan tanaman genjer yang digunakan untuk penelitian yaitu genjer muda dengan ciri–ciri, panjang batang 29-31 cm, lebar daun 7-10 cm, panjang daun 8-11 cm, panjang akar 15 cm dan jumlah batang setiap rumpun 5-6 batang. Selain itu, warna daun dan batang tanaman genjer yang digunakan harus berwarana hijau segar.

b. Pembuatan air limbah artifisial

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah artifisial logam berat timbal. Konsentrasi logam berat timbal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 15 ppm atau 15 mg/l. Konsentrasi air limbah 15 ppm tersebut didapatkan dengan cara melarutkan 15 mg padatan $Pb(NO_3)_2$ kedalam 1 liter aquades.

Pada penelitian ini total volume air limbah yang dibutuhkan yaitu 40 liter. Berdasarkan total volume air limbah tersebut, pembuatan konsentrasi 15 ppm didapatkan dengan cara melarutkan 600 mg padatan $Pb(NO_3)_2$ kedalam 40 liter aquades. Air limbah artifisial tersebut berikutnya dibagi pada 4 reaktor, dengan volume masing–masing 10 liter per reaktor. Berikut merupakan skema pembuatan air limbah konsentrasi 15 ppm:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Padatan $Pb(NO_3)_2$

a. Ditimbang $Pb(NO_3)_2$ 600 mg
b. Dimasukan pada glass

$Pb(NO_3)_2$ 15 ppm

a. Ditambahkan aquades hingga 100 ml pada glass berisi $Pb(NO_3)_2$
b. Diaduk hingga homogen
c. Dituang 100 larutan $Pb(NO_3)_2$ ke dalam bak tampung
d. Ditambahkan aquades hingga tanda batas 40 liter, lalu dihomogenkan kembali

Hasil

Gambar 3. 3 Pembuatan Air Limbah Timbal Artifisial

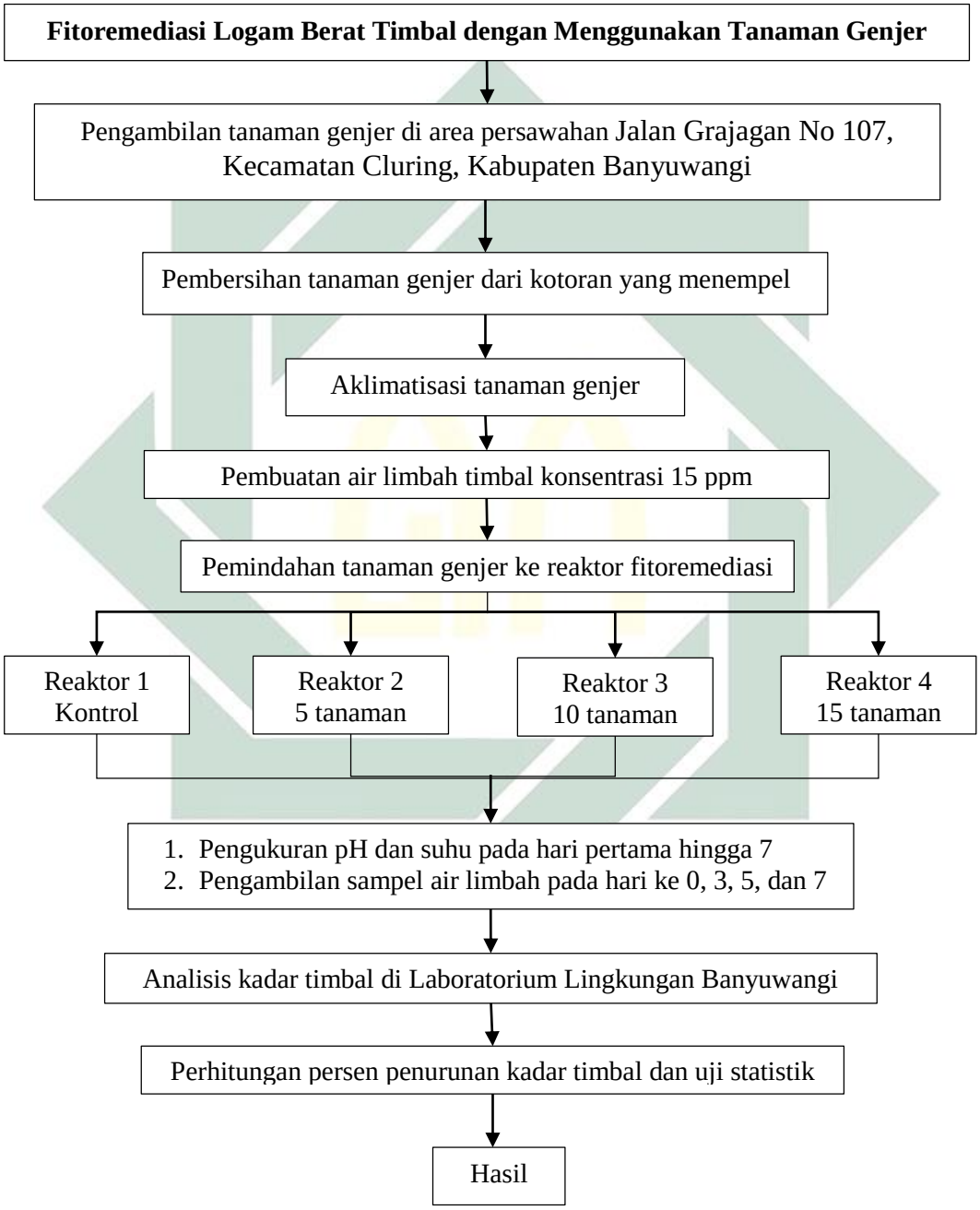
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.2.2 Tahap Pelaksanaan Penelitian

A. Data primer

1. Kerangka penelitian

Kerangka pikir penelitian merupakan konsep pada penelitian yang dibuat secara sistematis untuk mempermudah penelitian. Berikut merupakan bagan alir proses penelitian ini:



Gambar 3. 4 Kerangka Penelitian

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2. Aklimatisasi tanaman

Aklimatisasi merupakan tahap penyesuaian tumbuhan terhadap lingkungan atau media baru (Nurmalinda, dkk., 2018). Pada penelitian ini, aklimatisasi tanaman genjer diawali dengan pembersihan tanaman dari kotoran yang menempel. Tanaman dicuci dengan air yang mengalir hingga akar tanaman bersih dari lumpur, tanah, kerikil dan kotoran lainnya. Berikutnya, tanaman genjer diaklimatisasi selama 10 hari. Dimana 8 hari perendaman pada air (aquades) dan 2 hari perendaman pada air limbah timbal dengan konsentrasi 5% dari 15 ppm konsentrasi yang akan digunakan yaitu 1 ppm.

3. Perlakuan

Tanaman genjer (*Limnocharis flava*) yang telah diaklimatisasi berikutnya ditanam ke 3 reaktor yang berisi 10 liter air limbah. Adapun jumlah tanaman pada setiap reaktor yaitu 5, 10, dan 15 rumpun. Selain 3 reaktor yang berisi tanaman genjer. Pada penelitian ini juga digunakan satu buah reaktor kontrol. Reaktor kontrol adalah reaktor tanpa tanaman. Berikutnya, dilakukan proses fitoremediasi selama 7 hari dengan melakukan pengamatan terhadap parameter timbal, pH dan suhu, serta mengamati morfologi tanaman.

4. Rancangan percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial menggunakan 2 faktor. Dua faktor tersebut adalah variasi jumlah tanaman genjer dan variasi waktu paparan. Terdapat dua variabel pada penelitian ini yaitu:

a. Variabel bebas :
    1. Faktor pertama adalah jumlah tanaman genjer pada fitoremediasi logam berat timbal. Adapun taraf faktorial yang digunakan yaitu 5, 10, dan 15 rumpun tanaman genjer.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2. Faktor kedua yaitu lamanya waktu paparan yakni selama 7 hari dengan taraf pengukuran setiap 2 hari sekali yaitu pada hari ke-3, 5, dan 7.

b. Variabel terikat : Konsentrasi timbal ($Pb(NO_3)_2$). Konsentrasi timbal yang diguankan yaitu 15 ppm. Konsentrasi tersebut berdasarkan kandungan logam berat timbal pada industri umumnya sebesar 11 ppm (Komarawidjaja, 2017).

Penggunaan variasi tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah jumlah variasi tanaman berpengaruh terhadap penurunan kadar pencemar limbah cair. Berdasarkan penelitian (Herlambang & Hendriyanto, 2017) dan (Thuraidah, dkk., 2016) pemberian variasi jumlah tanaman dan waktu tinggal yang berbeda dapat mempengaruhi penurunan kadar pencemar air limbah. Berikut merupakan rancangan percobaannya:

Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan

Pengambilan Sampel Air	**Kontrol (K)**	**X_1**	**X_2**	**X_3**
X/Y				
R_0	R_0Y			
R_3	R_3YK	R_3YX_1	R_3YX_2	R_3YX_3
R_5	R_5YK	R_5YX_1	R_5YX_2	$R5YX_3$
R_7	R_7YK	R_7YX_1	R_7YX_2	$R7YX_3$

Keterangan:

K = Kontrol

X1 = Tanaman genjer 5

X2 = Tanaman genjer 10

X3 = Tanaman genjer 15

Y = Air limbah timbal

R0 = Pengujian air hari ke-0

R3 = Pengujian air hari ke-3

R5 = Pengujian air hari ke-5

R7 = Pengujian air hari ke-7

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

5. Pengambilan data

Parameter utama dalam penelitian ini yaitu konsentrasi timbal. Pengujian konsentasi timbal dilakukan pada hari pertama pemaparan dan pada hari ke-3, 5, dan 7 dengan dua kali pengulangan (duplo). Total sampel yang diambil selama penelitian yaitu sebanyak 25 sampel uji pada setiap masing–masing parameter. Pengujian pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Lingkungan Banyuwangi menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

Selain parameter utama, pada penelitian ini juga di ukur pH dan suhu. Pengukuran pH dan suhu air dilakukan sebagai data pendukung, hal tersebut dikarenakan tanaman genjer dapat tumbuh dengan baik apabila pH air berkisar 4–6 dan suhu 25°C–30°C (CABI, 2019). pH dan suhu diukur setiap hari pada masa penelitian yaitu mulai hari pertama hingga hari ke tujuh. Berikut merupakan cara pengukuran pH dan suhu yang akan dilakukan:

a. Pengukuran pH

   Langkah–langkah pengukuran pH adalah sebagai berikut:

   1) Menyiapkan pH meter
   2) Menekan tombol “on” pada pH meter
   3) Mencelupkan pH meter pada reaktor fitoremediasi
   4) Menunggu hingga angka yang muncul pada pH meter stabil dan tidak berubah–ubah, kemudian mencatat hasilnya

b. Pengukuran suhu

   Langkah–langkah pengukuran suhu adalah sebagai berikut:

   1) Menyiapkan termometer
   2) Mencelupkan termometer pada reaktor fitoremediasi
   3) Menunggu hingga suhu yang ditunjukan termometer berhenti, kemudian mencatat hasilnya.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

B. Data sekunder

Data sekunder yang digunakan berasal dari dokumen penelitian terdahulu seperti, jurnal, skripsi, thesis, prosiding, serta buku–buku referensi yang menunjang penelitan ataupun situs internet yang jelas sumbernya.

3.3 Tahap Analisis Data

Metode analisa data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa:

A. Analisis Deskriptif

Analisa deskriptif dilakukan dengan cara menghitung nilai efisiensi dan efektivitas penurunan timbal selama proses fitoremediasi, berikut merupakan persamaan yang digunakan:

1. Nilai efisiensi

   Efesiensi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah kemampuan atau cara menjalankan suatu proses secara tepat dan baik dengan waktu, tenaga, dan biaya seminimal mungkin. Nilai efesiensi dalam penelitian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\mathrm{Ef} = \frac{\mathrm{co} - \mathrm{ct}}{\mathrm{co}} \text{ x } 100\%$$

   Keterangan:

   Ef : efisiensi penurunan timbal(%)

   Ct : konsentrasi akhir sampel(ppm)

   Co : konsentrasi awal sampel (ppm)

2. Nilai efektivitas

   Efektivitas merupakan keterkaitan antara *output* penelitian dengan tujuan atau sasaran yang harus dicapai (Frandigda, 2018). Untuk mengetahui efektivitas sebuah penelitian dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

$$\text{Efektivitas} = \left(\frac{\text{Output Target}}{\text{Output Penelitian}}\right) \geq 1$$

Keterangan:

Output Target : Baku mutu logam berat timbal (ppm)

Output Penelitian : Konsentrasi timbal setelah fitoremediasi (ppm)

Hasil penelitian dapat dikatakan memiliki efektivitas atau tidak memiliki efektivitas apabila:

c. Hasil perbandingan menunjukan < 1, maka sebuah efektivitas tidak tercapai
d. Hasil perbandingan menunjukan ≥ 1, maka sebuah efektivitas tercapai

B. Analisis Statistik

Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Uji *Kruskal-Wallis*. Uji *Kruskal-Wallis* merupakan uji statistik nonparametrik. Uji ini umumnya digunakan untuk data yang memiliki dua atau lebih sampel yang tidak berkaitan atau berhubungan.

Pengambilan dasar keputusan Uji *Kruskal-Wallis* dilakukan dengan membandingkan nilai P-*value* dengan tingkat signifikansi pengujian (α). Jika, nilai P-*value* yang digunakan adalah 95%. Maka, tingkat signifikan α sebesar 0,05 (Junaidi, 2015). Berikut merupakan penjelasan pengambilan keputusan pada Uji *Kruskal-Wallis*:

1. Jika nilai *Asymp.Sig* > 0,05, maka tidak ada perbedaan atau H0 diterima dan H1 ditolak.
2. Jika nilai *Asymp.Sig* < 0,05, maka ada perbedaan atau H0 ditolak dan H1 diterima.

Pengambilan keputusan pada Uji *Kruskal-Wallis* selain berdasarkan nilai *Asymp.Sig*, juga dapat menggunakan nilai *Chi-Square* (X^2). Pada pengambilan keputusan ini, terlebih dahulu ditentukan nilai kritisnya melalui nilai derajat bebas (df). Berdasarkan nilai derajat bebas tersebut, kemudian dapat ditentukan nilai kritisnya dengan menggunakan tabel kritis *Chi-Square* kuadrat. Tabel tabel kritis

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Chi-Square kuadrat *terlampir*. Pengambilan keputusan berikutnya dilakukan dengan cara membandingkan nilai X^2 dengan nilai kritis pada tabel. Berikut merupakan penjelasan pengambilan keputusannya:

1. Jika X^2 > nilai kritis, maka ada perbedaan atau H0 ditolak dan H1 diterima.
2. Jika X^2 < nilai kritis, maka tidak ada perbedaan atau H0 diterima dan H1 ditolak.

3.4 Hipotesis

Hipotesis merupakan jawaban sementara atau dari suatu masalah yang diteliti. Berkut merupakan hipotesis dari penelitian yang akan dilakukan:

H0 = Tidak ada perbedaan penggunaan variasi jumlah tanaman genjer dalam menurunkan kadar logam berat timbal.

H1 = Terdapat perbedaan penggunaan variasi jumlah tanaman genjer dalam menurunkan kadar logam berat timbal.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Aklimatisasi

Proses pertama sebelum fitoremediasi adalah aklimatisasi tanaman fitoremediator. Aklimatisasi merupakan proses penyesuaian tanaman dari tempat asal ke tempat yang baru. Tujuan dari aklimatisasi yaitu untuk mengadaptasikan tanaman agar dapat hidup di kondisi lingkungan yang ekstrim atau tercemar (Handayanto, dkk., 2017). Sebelum tanaman diaklamatisasi, tanaman terlebih dahulu dibersihkan dari lumpur dan kotoran yang menempel. Selanjutnya setelah pembersihan, tanaman fitoremediator ditanam ke media beri isi air (bak hidroponik).

Aklimatisasi tanaman genjer pada penelitian ini dilakukan selama 10 hari, dengan jumlah tanaman genjer sebanyak 70 rumpun, sedangkan jumlah tanaman yang digunakan saat fitoremediasi yaitu sebanyak 30 rumpun. Penggunaan rumpun tanaman lebih saat aklimatisasi bertujuan untuk antisipasi jika saat pasca aklimatisasi tanaman banyak mengalami kerusakan atau kematian. Aklimatitasi tanaman pada penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan. Tahap pertama yaitu aklimatisasi tanaman genjer selama 8 hari. Pada aklimatisasi tahap ini, tanaman genjer ditanam dalam bak berisi air (aquades). Air yang digunakan pada tahap ini secara rutin diganti setiap 2 hari sekali. Penggantian air tersebut bertujuan untuk menetralkan tanaman dari media tanam sebelumnya (Haryati, dkk., 2012). Setelah aklimatisasi pertama, berikutnya dilakukan aklimatisasi kedua selama 2 hari. Pada aklimatisasi ini, tanaman genjer ditanam pada air yang mengandung 5% pencemar (Taurisna, 2020). Pencemar yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah logam berat timbal. Tujuan dari pemberian pencemar pada aklimatisasi kedua yaitu untuk mengadaptasikan tanaman dapat dengan air limbah, serta mengkondisikan agar tanaman tidak mati sebelum fitoremediasi (Kasman, dkk., 2019). Kondisi tanaman genjer selama tahap aklimatisasi dapat dilihat pada tabel berikut:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 1 Aklimatisasi Tanaman Genjer

Hari ke-	**Deskripsi**	**Gambar**
Hari ke-1	Batang dan daun genjer berwarna hijau segar.	
Hari ke-2	Kondisi fisik tanaman belum mengalami perubahan. Batang dan daun genjer masih berwarna hijau segar.	
Hari ke-3	Kondisi fisik genjer sedikit mengalami perubahan. Terdapat beberapa ujung daun genjer berwana kuning. Namun, kondisi batang genjer masih terlihat hijau segar.	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Deskripsi	Gambar
Hari ke-4	Kondisi daun dan batang genjer masih terlihat sama dengan hari ke tiga.	
Hari ke-5	Daun dan batang genjer mengalami perubahan warna. Beberapa daun mengalami bercak kuning dan batang berubah menjadi kekuningan.	
Hari ke-6	Daun dan batang genjer yang berwarna kuning mulai terlihat semakin banyak. Beberapa daun juga terlihat terdapat bercak cokelat diujungnya. Pada hari ini terdapat daun muda yang akan muncul.	
Hari ke-7	Kondisi genjer tidak jauh berbeda dengan hari ke sebelumnya. Bercak cokelat diujung daun semakin terlihat jelas. Pada hari ini juga terlihat ada kuncup bunga yang mekar.	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Deskripsi	Gambar
Hari ke-8	Kondisi genjer belum mengalami perubahan yang signifikan dari hari ke enam dan ke tujuh.	
Hari ke-9	Daun yang sebelumya berwarna kekuningan berubah menjadi kering dan berwarna cokelat. Jumlah daun dan batang yang berwarna kuning dan layu terlihat semakin banyak, namun tidak mendominasi.	
Hari ke-10	Jumlah tanaman yang kondisinya baik masih mendominasi, dibandingkan dengan daun dan batang yang mengalami layu.	

Sumber: (Hasil Penelitian,2021)

Berdasarkan tabel diatas, aklimatisasi tanaman genjer berlangsung dengan baik. Hal ini ditunjukan dengan batang dan daun yang sehat terlihat lebih mendominasi dibandingkan dengan daun dan batang yang mengalami perubahan warna/layu. Dari hasil pengamatan, daun dan batang yang mengalami perubahan tersebut adalah daun dan batang yang terletak paling luar atau yang paling tua.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.2 Uji Fitoremediasi Tanaman Genjer

Tahap berikutnya setelah aklimatisasi tanaman fitoremediator adalah uji fitoremediasi tanaman genjer terhadap air limbah logam berat timbal. Sebelum melakukan uji fitoremediasi, tanaman genjer yang akan digunakan untuk penelitian terlebih dahulu diukur panjang, lebar, dan tingginya agar sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Berikut merupakan gambar proses pengukuran tanaman genjer yang akan digunakan untuk penelitian:

. **Gambar 4. 1** Pengukuran Tinggi Tanaman Genjer

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah timbal artifisial dengan konsentrasi 15 ppm. Namun, saat air limbah artifisial tersebut diuji konsentrasinya di Laboratorium Lingkungan Banyuwangi, konsentrasi logam berat timbal yang didapatkan tidak sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan. Hasil uji konsentrasi menunjukan konsentrasi logam berat timbal adalah 14,03 ppm. Meskipun demikian, konsetrasi tersebut masih sesuai dengan acuan konsentarsi yang digunakan. Dimana konsentrasi air limbah logam berat timbal pada industri umumnya adalah 11 ppm (Komarawidjaja, 2017). Tidak sesuainya konsentrasi tersebut dapat disebabkan karena ketidaktelitian dalam pembuatan air limbah artifisial. Ketidaktelitian tersebut, dapat berupa pada saat pelarutan logam berat timbal, pengadukan yang dilakukan kurang homogen, serta dapat pula disebabkan karena masih terdapat massa serbuk logam berat yang tersisa dalam cawan (Azni & Sururi, 2014).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Percobaan ini menggunakan reaktor berjenis batch. Terdapat 4 reaktor yang digunakan, satu reaktor kontrol (tanpa tanaman) dan 3 reaktor dengan 5, 10, dan 15 rumpun tanaman. Proses fitoremediasi dilakukan selama 7 hari dengan taraf pengukuran konsentrasi logam berat timbal setiap 2 hari sekali yaitu pada hari ke-3, 5, dan 7, sedangkan untuk parameter pendukung seperti pH air dan suhu air dilakukan pengukuran setiap hari selama masa percobaan. Berikut merupakan kondisi tanaman genjer selama fitoremediasi:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 1 Kondisi Tanaman Genjer Saat Fitoremediasi

Hari ke-	Deskripsi			Gambar
	Reaktor 5 Tanaman	**Reaktor 10 Tanaman**	**Reaktor 15 Tanaman**	
1	Daun dan batang genjer berwarna hijau segar. Terdapat 1 bunga yang mekar. Akar juga dalam kondisi baik, menjumbai dan berwana cokelat. pH air dan suhu pada reaktor ini yakni 4,8 dan 26°C.	Daun dan batang genjer berwarna hijau segar. Terdapat 1 bunga yang mekar. Akar juga dalam kondisi baik, menjumbai dan berwarna cokelat. Suhu air pada reaktor ini yakni 25°C, sedangkan pH airnya adalah 4,5.	Daun dan batang genjer berwarna hijau segar. Akar juga dalam kondisi baik, menjumbai dan berwana cokelat. Suhu air pada reaktor ini yakni 25°C, sedangkan pH airnya adalah 4,5.	

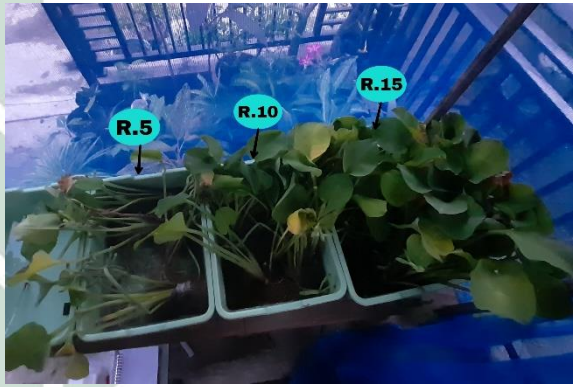
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Deskripsi			Gambar
	Reaktor 5 Tanaman	**Reaktor 10 Tanaman**	**Reaktor 15 Tanaman**	
2	Satu daun pada reaktor ini mengalami bercak kuning, akan tetapi untuk daun lainnya masih dalam kondisi baik. Batang juga masih dalam kondisi segar semua. Terdapat 1 bunga baru lagi. Akar pada reaktor ini masih dalam kondisi baik, menjumbai dan berwana cokelat. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 250 ml. Suhu pada reaktor ini yaitu 28°C, sedangkan untuk nilai pH adalah 5,7.	Batang genjer masih berwarna hijau segar. Namun, terdapat daun yang mengalami bercak kuning. Satu bunga yang mekar terlihat semakin merekah. Akar dalam kondisi baik, menjumbai dan berwana cokelat. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 250 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 28°C, sedangkan pH airnya adalah 5,1.	Batang genjer masih berwarna hijau segar. Namun, terdapat daun yang mengalami bercak kuning. Pada reaktor ini terlihat ada bunga yang mekar. Akar dalam kondisi baik, menjumbai dan berwana cokelat. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 250 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 27°C, sedangkan pH airnya adalah 4,4.	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Deskripsi			Gambar
	Reaktor 5 Tanaman	**Reaktor 10 Tanaman**	**Reaktor 15 Tanaman**	
3	Beberapa daun baru mulai tumbuh. Daun serta batang yang menguning terlihat layu. Kondisi akar juga terlihat mengalami kerontokan pada serabutnya. Meskipun megalami kerontokan pada serabut akar, beberapa akar baru berwarna putih terlihat tumbuh. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 27°C, sedangkan pH airnya adalah 5,1.	Beberapa daun baru mulai tumbuh. Daun serta batang yang menguning terlihat layu. Kondisi akar juga terlihat mengalami kerontokan pada serabutnya. Meskipun megalami kerontokan pada serabut akar, beberapa akar baru berwarna putih terlihat tumbuh. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 28°C,	Beberapa daun baru mulai tumbuh. Jumlah daun yang menguning semakin banyak. Kondisi akar juga terlihat mengalami kerontokan pada serabutnya. Meskipun megalami kerontokan pada serabut akar, beberapa akar baru berwarna putih terlihat tumbuh. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 28°C,	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Deskripsi			Gambar
	Reaktor 5 Tanaman	Reaktor 10 Tanaman	Reaktor 15 Tanaman	
		sedangkan pH airnya adalah 4,5.	sedangkan pH airnya adalah 4,4.	
4	Daun dan batang yang layu nampak mengering. Daun muda yang muncul terlihat semakin berkembang. Kondisi akar masih sama seperti hari ke 3. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 27°C, sedangkan pH airnya adalah 5.	Daun dan batang yang layu nampak mengering. Daun muda yang muncul terlihat semakin berkembang. Kondisi akar masih sama seperti hari ke 3. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 27°C, sedangkan pH airnya adalah 4,7.	Daun dan batang yang layu nampak mengering. Terdapat daun yang mengalami bercak cokelat pada ujungnya, selain itu daun lain yang berwarna kuning semakin banyak. Daun muda yang muncul terlihat semakin berkembang. Kondisi akar masih sama seperti hari ke 3. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Deskripsi			Gambar
	Reaktor 5 Tanaman	Reaktor 10 Tanaman	Reaktor 15 Tanaman	
			ini yakni 27°C, sedangkan pH airnya adalah 4,4.	
5	Daun dan batang yang menguning bertambah, serta beberapa daun juga nampak mengering pada ujungnya. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 28°C, sedangkan pH airnya adalah 5.	Daun dan batang yang berwarna kuning terlihat lebih banyak dari sebelumnya. Daun muda yang mulai berkembang juga terlihat menguning. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 27°C,	Daun dan batang yang mengering semakin banyak. Daun muda pada reaktor ini juga mengalami perubahan warna menjadi kuning. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 26°C,	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Deskripsi			Gambar
	Reaktor 5 Tanaman	Reaktor 10 Tanaman	Reaktor 15 Tanaman	
		sedangkan pH airnya adalah 4,7.	sedangkan pH airnya adalah 4,3.	
6	Daun dan batang yang menguning terlihat mengering. Kuncup bunga nampak belum ada yang mekar. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 27°C, sedangkan pH airnya adalah 5.	Beberapa daun muda terlihat menguning, serta jumlah daun dan batang yang mengering semakin banyak. Beberapa kuncup bunga juga nampak menguning. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 26°C, sedangkan pH airnya adalah 4,7.	Beberapa daun muda terlihat menguning, serta jumlah daun dan batang yang mengering semakin banyak. Beberapa kuncup bunga juga nampak menguning. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 26°C, sedangkan pH airnya adalah 4,3.	

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Deskripsi			Gambar
	Reaktor 5 Tanaman	**Reaktor 10 Tanaman**	**Reaktor 15 Tanaman**	
7	Tanaman genjer nampak banyak yang layu dan mengering. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 28°C, sedangkan pH airnya adalah 4,8.	Tanaman yang menguning di hari sebelumnya terlihat mengering dan layu. Kuncup bunga masih terlihat menguning. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 26°C, sedangkan pH airnya adalah 4,7.	Tanaman yang menguning di hari sebelumnya terlihat mengering dan layu. Kuncup bunga masih terlihat menguning. Kondisi akar terlihat sama seperti hari sebelumnya. Volume air limbah Pb mengalami penurunan sebanyak 600 ml. Suhu air pada reaktor ini yakni 26°C, sedangkan pH airnya adalah 4,4.	

Sumber: (Hasil Penelitian,2021)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, seperti yang terlihat pada tabel di atas. Saat uji fitoremediasi dilakukan, tanaman genjer mengalami sejumlah perubahan kondisi fisik. Perubahan kondisi fisik tersebut antaralain munculnya daun dan akar, mekarnya bunga, perubahan warna batang dan daun, serta kerontokan pada serabut akar. Perubahan fisik tanaman genjer tersebut merupakan bentuk respon kemampuan tanaman dalam beradaptasi terhadap logam pada air limbah (Soheti, dkk., 2020). Selain itu, perubahan fisik tanaman juga dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, air, suhu dan cahaya (A'yuningsih, 2017).

Tanaman genjer saat proses fitoremediasi mengalami kerontokan pada serabut akarnya. Kerontokan akar ini mulai terjadi pada pemaparan hari ketiga logam berat timbal. Kerontokan tersebut disebabkan oleh penyerapan logam berat secara berlebih sehingga mengakibatkan gangguan penurunan metabolisme pada akar (Maryana, 2020). Akar mengalami gangguan metabolisme karena akar merupakan organ tanaman yang beriteraksi secara langsung dengan logam berat timbal di dalam air. Selain itu tanaman genjer juga mengalami perubahan pada daun dan batang. Perubahan fisik ini mulai terlihat pada pemaparan hari ke dua. Perubahan fisik daun dan batang tersebut disebabkan oleh gangguan logam berat timbal yang masuk dalam sel tanaman sehingga mengakibatkan gejala nekrosis dan klorosis pada tanaman genjer (Oktoviana, dkk., 2015). Klorosis merupakan perubahan warna pada bagian tubuh tanaman menjadi lebih kuning. Klorosis terjadi karena klorofil pada tanaman tidak berkembang dengan baik sehingga mengakibatkan sejumlah daun dan batang menguning , sedangkan nekrosis adalah matinya jaringan tubuh tanaman, sehingga mengakibatkan mengeringnya jaringan tubuh tersebut (Taufiq, 2014).

4.2.1 Pengukuran Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penting dalam keberlangsungan proses kimia dan biologi yang terjadi di dalam air. Suhu dalam fitoremediasi dapat mempengaruhi metabolisme dan proses fotosintesis tanaman air. Hasil pengukuran

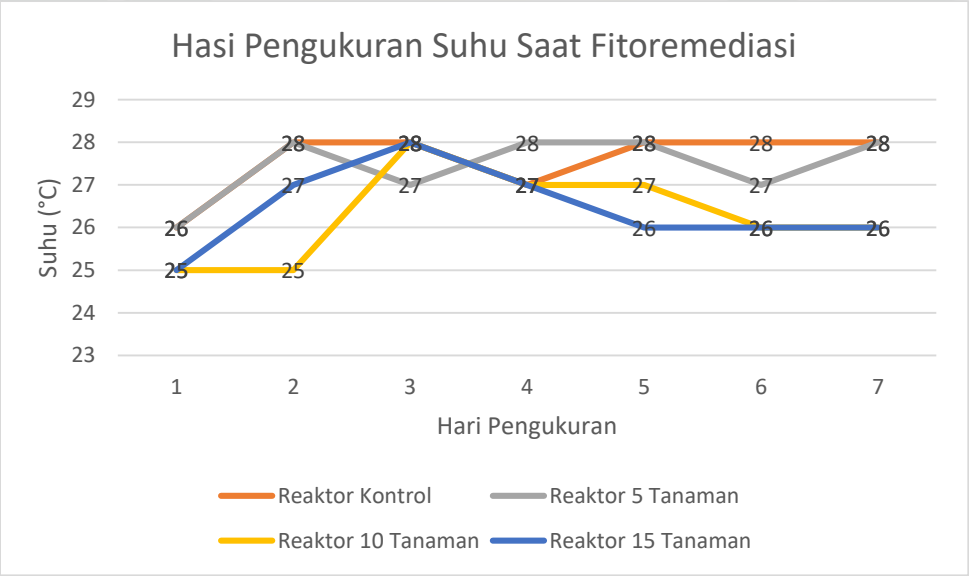
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

suhu pada keempat reaktor yang digunakan dalam fitoremediasi, dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Suhu

Hari ke-	**Reaktor** (°C)			
	Kontrol	**5 Tanaman**	**10 Tanaman**	**15 Tanaman**
1	26	26	25	25
2	28	28	25	27
3	28	27	28	28
4	27	28	27	27
5	28	28	27	26
6	28	27	26	26
7	28	28	26	26
Rata-rata	**28**	**27**	**26**	**26**

Sumber: (Hasil Penelitian, 2021)



Gambar 4. 2 Hasil Pengukuran Suhu

Sumber: (Hasil Penelitian, 2021)

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, pengukuran suhu menunjukan nilai yang fluktuatif atau naik turun. Naik dan turunnya suhu tersebut, dapat dipengaruhi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

oleh cuaca dan intensitas penyinaran matahari (Rahayuningtyas & Wahyuningsih, 2018). Adapun rata-rata suhu yang didapatkan selama 7 hari pengukuran yaitu 28°C pada reaktor kontrol, 27°C pada reaktor 5 tanaman, serta 26°C pada reaktor 10 dan 15 tanaman. Berdasarkan hasil tersebut, pada reaktor kontrol mendapatkan nilai suhu rata-rata yang paling tinggi. Hal ini dapat dapat disebabkan karena pada reaktor kontrol tidak ada tanaman yang digunakan, sehingga sinar matahari yang masuk lebih mudah menembus air dalam reaktor.

Berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VI, baku mutu suhu air adalah deviasi 3. Maksud dari deviasi 3 tersebut adalah nilai suhu kurang lebih 3°C dari suhu normal air (25°C), hal ini berarti baku mutu suhu berkisar 22°C – 28°C (Hanisa, dkk., 2017). Jika dilihat pada grafik dan tabel diatas, nilai suhu yang didapatkan telah sesuai dengan baku mutu. Selain telah sesuai dengan baku mutu, suhu air pada masing-masing reaktor juga telah sesuai dengan suhu optimum untuk mendukung pertumbuhan genjer yaitu berkisar 25°C–30°C (CABI, 2019). Suhu berpengaruh terhadap tingkat penyerapan fitoremediasi, karena suhu berkaitan dengan proses metabolisme dan fotosintesis tanaman. Berdasarkan (Ikawati, dkk., 2013) semakin tinggi suhu, tingkat penyerapan tanaman juga akan semakin tinggi. Hal ini karena dengan suhu yang tinggi, proses fitoremediasi akan meningkat, sehingga penyerapan tanaman juga akan meningkat.

4.2.2 Pengukuran pH

Derajat keasaman atau pH merupakan pengukuran kandungan ion hidrogen (H^+) dalam air. Nilai pH dapat menujukan intensitas asam ataupun basa suatu air. Semakin banyak ion H^+ maka, air akan bersifat asam dan jika sebaliknya, air akan bersifat basa (Mustofa, 2020). Hasil pengukuran pH pada keempat reaktor yang digunakan dalam fitoremediasi, dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

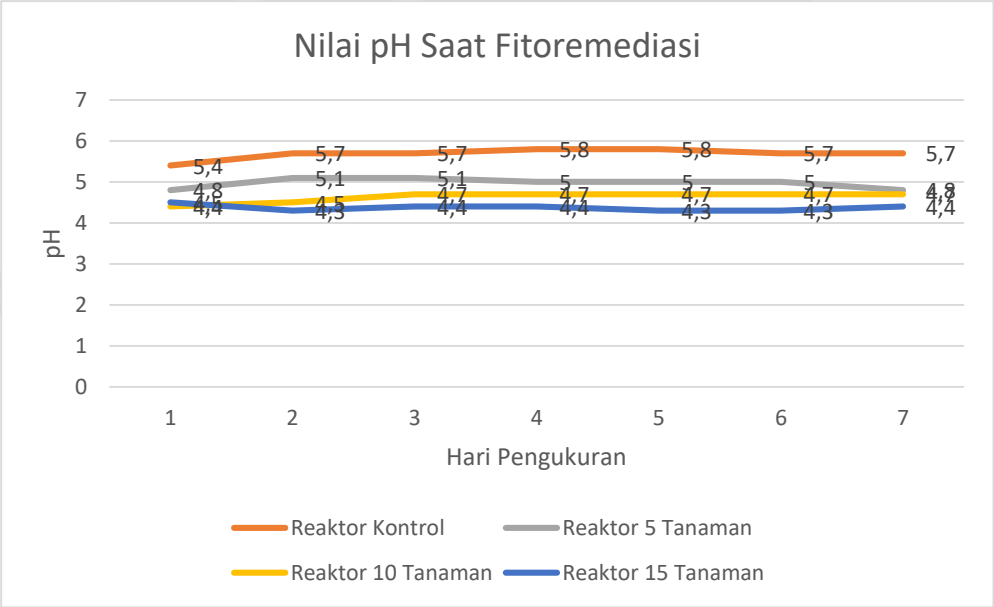
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran pH

Hari ke-	Reaktor			
	Kontrol	**5 Tanaman**	**10 Tanaman**	**15 Tanaman**
1	5,4	4,8	4,4	4,5

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Hari ke-	Reaktor			
	Kontrol	**5 Tanaman**	**10 Tanaman**	**15 Tanaman**
2	5,7	5,1	4,5	4,3
3	5,7	5,1	4,7	4,4
4	5,8	5	4,7	4,4
5	5,8	5	4,7	4,3
6	5,7	5	4,7	4,3
7	5,7	4,8	4,7	4,4
Rata-rata	**5,7**	**5**	**4,6**	**4,4**

Sumber: (Hasil Penelitian, 2021)



Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran pH

Sumber: (Hasil Penelitian, 2021)

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, hasil pengukuran pH yang dilakukan selama 7 hari berturut-turut diperoleh rata-rata pengukuran sebesar 5,7 pada reaktor kontrol, 5 pada reaktor 5 tanaman, 4,6 pada reaktor 10 tanaman, dan 4,4 pada reaktor 15 tanaman. Hasil nilai pH pada keempat reaktor menunjukan hasil dibawah baku mutu yang disyaratkan, dimana menurut PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VI, baku mutu pH air yaitu berkisar 6-9. Meskipun pH yang didapat tidak sesuai dengan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

baku mutu, pH yang didapatkan termasuk dalam nilai pH yang baik untuk perumbuhan tanaman genjer. Dimana, pH yang optimum untuk mendukung pertumbuhan genjer yaitu berkisar 4–6 (CABI, 2019).

Derajat keasaman (pH) dapat mempengaruhi tingkat penyerapan karena, tingkat asam dan basa pada perairan dapat mempengaruhi proses metabolisme dan respirasi tanaman (Ikawati, dkk., 2013). Pada pH asam, unsur yang terikat jaringan tanaman akan semakin meningkat, sedangkan pada pH basa, unsur yang terserap jaringan tumbuhan semakin sedikit, sehingga dapat menyebabkan metabolisme menjadi terganggu (Agusetyadevy, dkk., 2013).

4.3 Konsentrasi Logam Berat Timbal Setelah Fitoremediasi

Logam berat timbal merupakan salah satu jenis logam berat yang bersifat toksik. Keberadaan timbal diperairan apabila tidak ditangani dengan baik, tentu dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan (Permanawati dkk., 2016). Untuk mencegah terjadinya pencemaran tersebut, upaya yang dapat dilakukan yaitu melakukan uji fitoremediasi. Pada penelitian ini, uji fitoremediasi dilakukan dengan menggunakan tanaman genjer. Konsentrasi awal dari air limbah yang digunakan yaitu 14,03 ppm. Fitoremediasi penelitian ini menggunakan 4 buah reaktor batch. Adapun reaktor tersebut terdiri atas reaktor kontrol, reaktor 5 tanaman, reaktor 10 tanaman dan reaktor 15 tanaman. fitoremediasi dilakukan selama 7 hari, dengam pengambilan sampel uji air limbah dilakukan pada hari paparan ke 3, 5 dan 7. Berikut merupakan uraian dari hasil yang didapatkan setelah uji fitoremediasi:

Tabel 4. 5 Hasil Uji Konsentrasi Pb Reaktor Kontrol

Hari ke-	Konsentrasi Pb (ppm)		Rata - Rata
	I	II	
0	14,03		14,03
3	2,4	2,47	2,44
5	1,01	1,95	1,48
7	0,18	0,23	0,21

Sumber: (Hasil Penelitian, 2021)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.3, didapatkan konsentrasi rata–rata Pb awal sebesar 14,03 ppm. Pada hari ke-3, konsentrasi Pb rata-rata mengalami penurunan cukup besar yaitu 11,6 ppm sehingga konsentrasinya menjadi 2,44 ppm. Berikutnya pada hari ke-5 konsentrasi rata–rata Pb mengalami penurunan menjadi 1,48 ppm. Pada hari ke 7 konsentrasi rata–rata juga mengalami penurunan sebesar 0,86 ppm sehingga konsentrasinnya menjadi 0,21. Konsentrasi akhir timbal yang diperoleh pada reaktor kontrol ini, berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 pada Lampiran VI tentang Baku Mutu Kelas 1 Air Sungai dan Sejenisnya, belum sesuai dengan baku mutu yang disyaratkan yaitu 0,03 ppm.

Tabel 4. 6 Hasil Uji Konsentrasi Pb Reaktor 5 Tanaman

Hari ke-	Konsentrasi Pb (ppm)		Rata - Rata
	I	II	
0	14,03		14,03
3	1,27	1,48	1,375
5	0,57	1,26	0,915
7	0,06	0,05	0,055

Sumber: (Hasil Penelitian,2021)

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.3, didapatkan konsentrasi rata–rata Pb awal sebesar 14,03 ppm. Pada hari ke-3, konsentrasi Pb rata-rata mengalami penurunan cukup besar yaitu 12,7 ppm sehingga konsentrasinya menjadi 1,38 ppm. Berikutnya pada hari ke-5 konsentrasi rata–rata Pb mengalami penurunan sebesar 0,46 ppm, sehingga konsentrasinya menjadi 0,92 ppm. Pada hari ke 7 konsentrasi rata–rata juga mengalami penurunan sebesar 0,86 ppm sehingga konsentrasinnya menjadi 0,06. Konsentrasi akhir timbal yang diperoleh pada reaktor 5 tanaman ini, berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 pada Lampiran VI tentang Baku Mutu Kelas 1 Air Sungai dan Sejenisnya, konsentrasi timbal yang didapatkan belum sesuai dengan baku mutu. Baku mutu yang disyaratkan yakni 0,03 ppm, sedangakan konsentrasi yang didapatkan yiatu 0,06 ppm.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 7 Hasil Uji Konsentrasi Pb Reaktor 10 Tanaman

Hari ke-	Konsentrasi Pb (ppm)		Rata – Rata
	I	II	
0	14,03		14,03
3	0,76	0,76	0,76
5	0,64	0,72	0,68
7	0,06	0,05	0,055

Sumber: (Hasil Penelitian,2021)

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.3, didapatkan konsentrasi rata-rata Pb awal sebesar 14,03 ppm. Pada hari ke-3, konsentrasi Pb rata-rata mengalami penurunan cukup besar yaitu 13,27 ppm sehingga konsentrasinya menjadi 0,76 ppm. Berikutnya pada hari ke-5 konsentrasi rata-rata Pb mengalami penurunan sebesar 0,08 ppm, sehingga konsentrasinya menjadi 0,68 ppm. Pada hari ke 7 konsentrasi rata-rata juga mengalami penurunan sebesar 0,63 ppm sehingga konsentrasinnya menjadi 0,06. Konsentrasi akhir timbal yang diperoleh pada reaktor 10 tanaman ini, berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 pada Lampiran VI tentang Baku Mutu Kelas 1 Air Sungai dan Sejenisnya, konsentrasi timbal yang didapatkan belum sesuai dengan baku mutu. Baku mutu yang disyaratkan yakni 0,03 ppm, sedangakan konsentrasi yang didapatkan yiatu 0,06 ppm.

Tabel 4. 8 Hasil Uji Konsentrasi Pb Reaktor 15 Tanaman

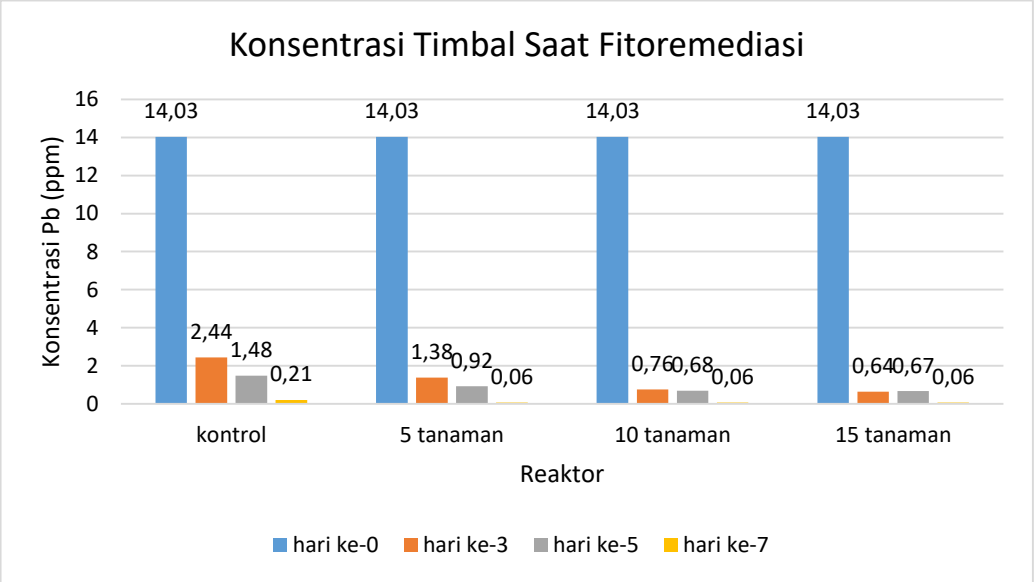
Hari ke-	Konsentrasi Pb (ppm)		Rata - Rata
	I	II	
0	14,03		14,03
3	0,58	0,69	0,055
5	0,7	0,63	0,067
7	0,05	0,06	0,055

Sumber: (Hasil Penelitian,2021)

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.3, didapatkan konsentrasi rata–rata Pb awal sebesar 14,03 ppm. Pada hari ke-3, konsentrasi Pb rata-rata mengalami

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

penurunan cukup besar yaitu 13,40 ppm sehingga konsentrasinya menjadi 0,64 ppm. Berikutnya pada hari ke-5 konsentrasi rata–rata Pb mengalami kenaikan sebesar 0,03 ppm, sehingga konsentrasinya menjadi 0,67 ppm. Pada hari ke 7 konsentrasi rata–rata juga kembali mengalami penurunan sebesar 0,61 ppm sehingga konsentrasinnya menjadi 0,06. Konsentrasi akhir timbal yang diperoleh pada reaktor 10 tanaman ini, berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 pada Lampiran VI tentang Baku Mutu Kelas 1 Air Sungai dan Sejenisnya, konsentrasi timbal yang didapatkan belum sesuai dengan baku mutu. Baku mutu yang disyaratkan yakni 0,03 ppm, sedangakan konsentrasi yang didapatkan yiatu 0,06 ppm.



Gambar 4. 4 Konsentrasi Timbal Saat Fitoremediasi

Sumber: (Hasil Penelitian,2021)

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui jika tanaman genjer memiliki kemampuan untuk menurunkan logam berat timbal. Hal ini menunjukan bahwa tanaman genjer dapat beradaptasi dengan lingkungan yang tercemar, sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat. Oleh sebab itu, tanaman genjer dapat disebut sebagai tanaman hiperakumulator. Akumulasi dan penyerapan logam berat timbal oleh tanaman genjer terbagi menjadi tiga proses yang saling berkaitan, yaitu penyerapan logam berat oleh akar, translokasi logam berat dari akar ke bagian

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

tanaman lain, dan lokalisasi logam berat pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tanaman tersebut (Haryati, dkk., 2012). Mekasisme fitoremediasi pada air limbah dengan tanaman dapat berupa mekanisme rhizofiltrasi dan mekanisme fitoekstraksi. Mekanisme rhizofiltrasi merupakan penyerapan logam timbal oleh akar, sehingga logam timbal akan melekat pada permukaan akar dan kemudian membentuk lapisan film, sebelum selanjutnya masuk dan ditranslasikan ke bagian tubuh tanaman lain, sedangkan mekanisme fitoekstraksi merupakan penyerapan logam timbal oleh tanaman, kemudian akan diakumulasikan pada jaringan tumbuhan, seperti daun dan batang (Pratama, 2018). Logam berat timbal yang masuk dalam tanaman genjer berikutnya akan disimpan pada bagian organel sel tanaman yang bernama vakuola (Irawanto & Mangkoedihardjo, 2015). Untuk masuk ke vakuola, logam berat timbal terlebih dahulu melewati sejumlah bagian sel seperti, plasmalemma, sitoplasma dan tonoplast untuk berikutnya masuk vakuola (Rachmadiarti, dkk., 2018).

Kemampuan tanaman genjer untuk menurunkan kadar logam berat timbal pada penelitian ini, disebabkan karena tanaman genjer memiliki kemampuan untuk membentuk protein regulator yang berfungsi sebagai senyawa pengikat logam berat. Protein regulator ini disebut dengan Fitokelatin (Rijal, dkk., 2016). Fitokelatin adalah peptida yang mengandung 2–8 asam amino sistein di pusat molekul serta suatu asam glutamat dan glisin pada ujung yang berlawanan. Fitokhelatin terbentuk dari dalam nukleus kemudian melewati retikulum endoplasma (RE), aparatus golgi, dan vasikula sekretori untuk sampai ke permukaan sel. Fitokelanin yang berada di permukaan sel ini, jika bertemu dengan logam berat seperti timbal, akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks, sehingga logam berat tersebut akan ikut terbawa ke jaringan tanaman lain (Haryati, dkk., 2012). Pada hasil uji nilai konsentrasi pada gambar 4.3 diketahui terdapat satu hasil uji yang hasilnya mengalami peningkatan yaitu pada reaktor 15 tanaman, hari paparan ke tujuh. Konsentrasi logam berat timbal mengalami peningkatan dari semula 0,64 ppm pada hari ke 5 menjadi 0,67 ppm pada hari ke 7. Hal ini dapat terjadi karena pada reaktor ini tanaman mengalami kejenuhan. Kejenuhan pada tanaman dapat terjadi karena

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

pada hari ke 3 tanaman mengakumulasi logam berat timbal terlalu banyak. Diketahui pada hari ke 3 konsentrasi logam berat timbal mengalami penurunan sebesar 13,4 ppm. Menurut (Oktavia & Dewanti, 2016) semakin banyak logam berat terserap, maka semakin banyak pula logam berat yang terakumulasi dalam tubuh tanaman, sehingga hal ini dapat menyebabkan kejenuhan yang mengakibatkan penyerapan menjadi terhambat.

Berdasarkan hasil akhir pengujian konsentrasi logam berat timbal pada penelitian ini, ketiga reaktor dengan tanaman (5, 10 dan 15 tanaman) mengalami penurunan logam berat timbal yang cukup signifikan. Namun, hasil konsentrasi pada ketiga reaktor tersebut belum sesuai dengan PP No 22 Tahun 2021 pada Lampiran VI tentang Baku Mutu Kelas 1 Air Sungai dan Sejenisnya, dimana baku mutu disyaratkan adalah 0,03 ppm.

Tanaman genjer merupakan salah satu tanaman yang memiliki banyak manfaat, sebagaimana dalam Al-Qur'an Surah As-Syu'ara ayat 7 dalam surah tersebut telah disebutkan bahwa Allah SWT telah banyak menciptakan tanaman dan tumbuhan yang dapat dimanfaatkan manusia dengan baik. Tanaman genjer merupakan tanaman pangan yang memiliki potensi cukup baik untuk merediasi logam berat pada lingkungan. Namun, perlu diwaspadai tanaman pangan yang digunakan sebagai fitoremediator, memiliki peluang sebagai penyebab timbulnya penyakit apabila dikonsumsi oleh makhluk hidup (Widowati, dkk., 2018). Oleh sebab itu, penggunaan tanaman pangan untuk fitoremediasi industri harus dilakukan secara baik, dan harus dipastikan jika tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi industri tidak dikonsumsi oleh makhluk hidup. Jenis tanaman lain selain tanaman pangan, yang dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediator logam berat adalah eceng gondok. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Aurangzeb, dkk., 2014) 3 buah tanaman eceng gondok mampu menurunkan kadar logam berat timbal dari 5,25 ppm menjadi 1,98 ppm dalam waktu 30 hari. Namun, jika dibandingan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, tanaman genjer memiliki kemampuan mereduksi logam berat timbal lebih baik. Pada hasil penelitian ini, 5 tanaman genjer mampu mereduksi logam berat timbal dari 14,03 ppm menjadi 0,06 ppm dalam kurun waktu 7 hari.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Menjaga kualitas air melalui pengolahan air limbah merupakan tanggung jawab manusia. Dalam Surah Al-Qamar ayat 28 yang memiliki arti, *"Dan beritahukanlah kepada mereka bahwa air itu dibagi di antara mereka (dengan unta betina itu); setiap orang berhak mendapatkan giliran minum".* Menurut buku Tafsir Al-Misbah oleh Muhammad Quraish Shihab, ayat tersebut memiliki tafsir "*Beritahukan mereka bahwa air itu milik bersama antara mereka dan unta betina. Masing-masing mendapat giliran minum pada hari yang ditentukan"*(Efendi, dkk., 2021). Pada ayat tersebut, diketahui jika tidak hanya manusia saja yang membutuhkan air, melainkan makhluk hidup lain juga membutuhkan air dalam hidupnya. Oleh sebab itu, mencegah terjadinya pencemaran air dengan melakukan pengolahan terhadap air limbah merupakan hal yang harus dilakukan oleh manusia, karena air merupakan kebutuhan esensial bagi makhluk hidup.

4.4 Efisiensi dan Efektivitas Penurunan Logam Berat Timbal

4.4.1 Efisiensi Penurunan Logam Berat Timbal

Berikut merupakan nilai efisiensi penurunan logam berat timbal terhadap tanaman genjer, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 9 Efisiensi Penurunan Logam Berat Timbal Terhadap Tanaman Genjer

Reaktor	Efisiensi Penurunan						
	Awal (ppm)	Hari ke-3		Hari ke-5		Hari ke-7	
		Penurunan	Ef	Penurunan	Ef	Penurunan	Ef
Kontrol	14,03	2,44	83	1,48	89	0,21	98,54
5 Tanaman	14,03	1,38	90	0,92	93	0,06	99,61
10 Tanaman	14,03	0,76	95	0,68	95	0,06	99,61
15 Tanaman	14,03	0,64	95	0,67	95	0,06	99,61

Keterangan:
Penurunan = Penurunan logam berat timbal (ppm)
Ef = efiensi (%)
Sumber: (Hasil Penelitian,2021)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel diatas, efesiensi penurunan pada keempat reaktor selalu mengalami kenaikan pada setiap pengujiannya. Pada reaktor kontrol mendapatkan nilai efisiensi penurunan sebesar 83% pada hari ketiga, 89% pada hari kelima dan 98,54% pada hari ketujuh, sedangkan pada reaktor dengan 5 tanaman mendapatkan nilai efisiensi penurunan sebesar 90% pada hari ketiga, 93% pada hari kelima dan 99,61% pada hari ketujuh. Reaktor dengan 10 tanaman juga mengalami kenaikan nilai efisiensi penurunan sebesar 95% pada hari ketiga, 95% pada hari kelima dan 99,61% pada hari ketujuh. Berikutnya pada reaktor 15 tanaman mengalami kenaikan nilai efisiensi penurunan sebesar 95% pada hari ketiga, 95% pada hari kelima dan 99,61% pada hari ketujuh.

Hasil efisiensi penurunan logam berat pada reaktor kontrol menunjukan, reaktor kontrol tetap mengalami peningkatan efisiensi penurunan. Meskipun, pada reaktor ini tidak menggunakan tanaman fitoremediator untuk menurunkan konsentrasi logam berat timbal. Penurunan konsentrasi timbal pada reaktor ini dapat disebabkan kerena logam mengendap pada dasar reaktor (Nurullah, 2018). Hal yang sama juga terjadi pada penelitian (Siswoyo, dkk., 2011) dimana pada penelitian yang dilakukan, reaktor yang tidak ditanami tumbuhan eceng gondok (kontrol) juga terjadi penurunan kadar timbal, karena selama penelitian reaktor didiamkan, sehingga dapat diketahui bahwa dalam hal ini telah terjadi proses pengendapan timbal secara alamiah. Selain itu, menurunnya konsentrasi timbal pada reaktor kontrol juga dapat disebabkan karena proses penguapan. Hal ini dapat disebabkan karena ion logam dapat berpindah dari media tanam (air) melalui proses penguapan dengan cara berikatan dengan oksigen dan membentuk suatu ion baru, berupa timbal oksida (PbO) atau timbal dioksida $Pb(O_2)_2$. Proses penguapan ini terjadi karena dipengaruhi suhu yang tinggi (Rahayuningtyas & Wahyuningsih, 2018).

Dari keempat jenis reaktor yang digunakan, reaktor dengan 5 tanaman menunjukan hasil kenaikan yang cukup signifikan (90%, 93% dan 99,61%). Pada reaktor ini meskipun jumlah tanaman yang digunakan paling sedikit, bila dibandingkan dengan 2 jenis reaktor tanaman lainnya, namun nilai efisiensi penurunan di hari ketujuh menunjukan nilai cukup baik yaitu sebesar 99,61%. Nilai

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

efisiensi pada reaktor 5 tanaman di hari ketujuh sama dengan reaktor 10 dan 15 tanaman. Hasil akhir yang sama pada ketiga reaktor dapat disebabkan oleh faktor suhu pada setiap reaktor. Pada reaktor 10 dan 15 tanaman, suhu air limbah hari ketujuh pada reaktor tersebut adalah 26°C, dimana suhu tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan suhu air limbah pada reaktor 5 tanaman, yaitu sebesar 28°C. Suhu dapat berpengaruh terhadap tingkat efesiensi penurunan, karena suhu berkaitan dengan proses metabolisme dan fotosintesis. Kenaikan suhu dapat menaikkan kecepatan difusi ion ke akar tanaman, sehingga efisiensi penurunan/penyerapan logam berat dapat meningkat (Oktavia & Dewanti, 2016).

Kecilnya konsentrasi penurunan logam berat timbal pada hari ketujuh reaktor 10 dan 15 tanaman, juga dapat disebabkan oleh kondisi volume air limbah yang semakin berkurang akibat dari pengambilan sampel untuk pengujian. Berkurangnya volume air limbah tersebut, menyebabkan terjadinya kompetisi pada tanaman untuk mendapatkan nutrisi agar dapat bertahan hidup. Ketidakseimbangan antara volume air limbah dengan kerapatan tanaman pada reaktor ini yang menyebabkan tanaman genjer tidak dapat mereduksi logam berat dengan maksimal. Kerapatan tanaman yang tinggi dapat menyebabkan penurunan produktivitas tanaman karena penguapan yang berlangsung tidak berjalan dengan sempurna sehingga tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik. Apabila tanaman tidak tumbuh dengan baik, maka akan berpengaruh terhadap proses fitoremediasi, dimana proses penyerapan logam berat tidak berjalan dengan maksimal (Nurfitri & Ganesha, 2010). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Rahayuningtyas & Wahyuningsih, 2018) bahwa pada perlakuan tanaman apu-apu dalam waktu kontak 5 hari pada logam timbal, variasi berat tanaman 150 gram penurunannya adalah 0,09 mg/l, penurunan tersebut lebih besar bila dibandingkan pada variasi berat tanaman 200 gram dan 250 gram, yaitu dengan penurunan sebesar 0,125 mg/l dan 0,13 mg/l.

Berdasarkan hasil nilai efisiensi penurunan yang telah diuraikan diatas, jumlah tanaman genjer yang memiliki efisiensi paling baik untuk menurunkan konsentrasi air limbah timbal adalah 5 tanaman. Hal ini karena, jumlah tanaman yang digunakan paling sedikit, namun nilai efisiensi yang dicapai sama dengan dua

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

reaktor lainya (reaktor 10 dan 15 tanaman) yaitu 99,6%. Meskipun nilai efisiensi yang didapatkan dari penelitian ini cukup besar, tetapi konsentrasi akhir logam berat timbal (0,06 ppm) yang didapatkan masih diatas baku mutu (0,03 ppm).

4.4.2 Efektivitas Penurunan Logam Berat Timbal

Efektivitas merupakan keterkaitan antara *output* penelitian dengan tujuan atau sasaran yang harus dicapai (Frandigda, 2018). Nilai efektivitas dapat diketahui dengan cara membandingkan nilai *output* target dengan *output* penelitian. *Output* target dalam penelitian ini yaitu konsentrasi baku mutu logam berat timbal, sedangkan *output* penelitian yaitu konsentrasi timbal setelah fitoremediasi. Berikut merupakan nilai efektivitas penurunan logam berat timbal:

Tabel 4. 10 Efektivitas Penurunan Logam Berat

Reaktor	Rata-Rata Konsentrasi Pb (ppm)[a]	Baku Mutu (ppm)[b]	Nilai Efektivitas
Kontrol	0,205	0,03	0,146
5 Tanaman	0,055	0,03	0,545
10 Tanaman	0,055	0,03	0,545
15 Tanaman	0,055	0,03	0,545

Keterangan:

a. Rata-rata konsentrasi Pb setelah fitoremediasi

b. Baku mutu Pb, PP No 22 Tahun 2021

Sumber: (Hasil Penelitian,2021)

Berdasarkan tabel diatas, nilai efektivitas rata-rata setelah proses fitoremediasi pada keempat reaktor yakni, reaktor kontrol dengan nilai efektivitas 0,146, reaktor 5, 10, dan 15 tanaman dengan nilai efektivitas masing-masing sebesar 0,545. Nilai efektivitas yang didapat dari keempat reaktor tersebut menunjukan hasil perbandingan output target (baku mutu timbal) dengan output penelitian (konsentrasi timbal setelah fitoremediasi) kurang dari angka 1. Hal ini berarti efektivitas penurunan logam berat tidak tercapai, sehingga dapat dikatakan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dalam penelitian ini jumlah tanaman genjer yang digunakan untuk fitoremediasi belum efektif untuk menurunkan air limbah logam berat timbal. Belum efektifnya jumlah tanaman genjer yang digunakan juga diperkuat oleh hasil akhir konsentrasi logam timbal yang belum sesuai dengan baku mutu PP No 22 Tahun 2021 yaitu sebesar 0,03 ppm.

4.5 Analisis Perbedaan Kemampuan Variasi Jumlah Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dan Variasi Waktu Paparan dalam Menurunkan Kadar Logam Timbal

Setelah dilakukan penelitian, berikutnya data hasil penelitian di uji menggunakan uji statistik *Kruskal-Wallis*. Uji ini dipilih karena dapat digunakan untuk membandingkan dua variabel, pada kelompok perbandingan lebih dari dua (Junaidi, 2015). Selain itu, pemilihan uji ini juga didasarkan pada data penelitian yang tidak berdistribusi normal. Berikut merupakan hasil pengujian *Kruskal-Wallis* pada penelitian ini:

Tabel 4. 11 Hasil Uji Statistik *Kruskal-Wallis* pada Konsentrasi Timbal

Test Statistics[a,b]

	Paparan Pb Hari ke-0	Paparan Pb Hari ke-3	Paparan Pb Hari ke-5	Paparan Pb Hari ke-7
Chi-Square	,000	6,747	3,000	4,421
Df	3	3	3	3
Asymp.Sig.	1,000	,080	,392	,219

Sumber: (Hasil Analisis,2021)

Berdasarkan hasil uji diatas, P-*value* yang didapatkan pada awal paparan timbal yaitu 1, lalu paparan pada hari ketiga yaitu 0,080, sedangkan paparan pada hari kelima yaitu 0,392, dan paparan pada hari ketujuh yaitu sebesar 0,219. Pada paparan hari ke-3, 5, dan 7, tersebut menunjukan P-*value* lebih dari 0,05. Hal ini berarti H0 “diterima” dan H1 “ditolak”, sehingga tidak ada perbedaan nyata

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

perlakuan (paparan hari ke-3, 5, dan 7) terhadap variasi jumlah tanaman yang digunakan (5, 10, dan 15 tanaman).

Pengambilan dasar keputusan hasil uji statistik *Kruskal-Wallis* juga dapat menggunakan nilai *Chi-Square* (X^2) yang didapatkan. Berdasarkan hasil uji pada tabel diatas, nilai X^2 yang didapatkan pada awal pemaparan yaitu 0, pada hari ketiga sebesar 6,747, pada hari kelima sebesar 3, dan pada hari ketujuh sebesar 4,421. Pada tabel diatas juga diketahui besar derajat bebas pada penelitian yaitu 3. Pada penelitian ini taraf signifikasi yang digunakan adalah 0,05, sehingga nilai kritis yang diperoleh yaitu 7,815. Nilai kritis tersebut, diperoleh dengan cara menghubungkan nilai df (3) dengan taraf signifikasi (0,05) pada tabel kritis *Chi-Square.* Tabel kritis *Chi-Square* dapat dilihat pada lampiran. Berdasarkan nilai *Chi-Square* (X^2) yang didapatkan, pada paparan hari ke-3, 5, dan 7, nilai X^2 menunjukan nilai yang lebih kecil dari nilai kritis (7,815). Hal tersebut berarti, H0 "diterima" dan H1 "ditolak" atau tidak ada perbedaan nyata pada perlakuan. Maka, keputusan yang didapat dari nilai *Chi-Square* ini sama dengan keputusan yang didapat dengan menggunakan nilai P-*value* atau *Asymp.Sig.*

Tidak adanya perbedaan nyata pada uji tersebut dapat disebabkan karena penggunaan variasi jumlah tanaman serta waktu paparan yang digunakan dalam penelitian terlalu sedikit atau kecil. Hasil penelitian ini, serupa dengan penelitian fitoremediasi kombinasi tanaman kiambang dengan kayu apu yang dilakukan oleh (Maryana, 2020), dimana hasil uji *Kruskal-Wallis* menunjukan, keempat nilai P-*value* (1, 0,123, 0,092 dan 0,143) yang didapatkan lebih dari 0,05. Sehingga, tidak ada perbedaan nyata dalam hasil penelitian tersebut. Hal tersebut karena sedikitnya kombinasi tanaman yang digunakan (4 kombinasi) serta singkatnya range waktu kontak fitoremediasi (4, 8 dan 12 hari). Pada hasil penelitian lainnya yang dilakukan oleh (Setiyono & Gustaman, 2017), fitoremediasi logam Kromium dengan mengunakan tanaman enceng gondok, kayu apu, dan kayambang, juga mendapatkan hasil uji *Kruskal-Wallis* P-*value* lebih dari α (p=0,280) atau tidak ada perbedaan nyata. Hal yang didapatkan ini juga disebabkan karena variasi yang digunakan terlalu sedikit, dimana variasi yang digunakan hanya menggunakan 3 jenis tanaman dan jumlah replikasi sampel yang digunakan yaitu 6 replikasi.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Berdasarkan dua penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa jumlah variasi penelitian dapat mempengaruhi hasil uji ada/tidaknya perbedaan nyata dalam penelitian.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Jumlah tanaman genjer yang efsien digunakan untuk menurunkan konsentrasi air limbah timbal yaitu 5 tanaman. Hal ini karena, jumlah tanaman yang digunakan paling sedikit. Namun, nilai efisiensi yang dicapai sama dengan dua reaktor lainya (reaktor 10 dan 15 tanaman) yaitu 99,6%. Akan tetapi pada penelitian ini, tanaman genjer yang digunakan untuk fitoremediasi belum efektif untuk menurunkan air limbah logam berat timbal, karena nilai efektivitas yang didapatkan < 1. Selain itu, konsentrasi akhir yang didapatkan juga masih di atas baku mutu.
2. Berdasarkan hasil uji statistik Kruskal Wallis yang dilakukan, pada penelitian ini tidak ada perbedaan nyata dalam penggunaan variasi jumlah tanaman genjer yang digunakan untuk menurunkan kadar logam berat timbal.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Perlu dilakukan modifikasi penelitian fitoremediasi dengan menggunakan kombinasi unit pengolahan air lainnya, agar air limbah yang dikelola sesuai dengan baku mutu.
2. Perlu dilakukan analisis akumulasi logam berat yang terserap pada tubuh tanaman agar mendapatkan data yang lebih variatif dan lengkap.
3. Perlu dilakukan pengulangan pengambilan sampel yang lebih banyak agar validasi data semakin signifikan.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR PUSTAKA

Adhani, R., & Hursaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press.

Agrotek. (2019). *Klasifikasi dan Morfologi Tanaman Genjer*. https://agrotek.id/klasifikasi-dan-morfologi-tanaman-genjer/

Agusetyadevy, I., Sumiyati, S., & Sutrisno, E. (2013). *Fitoremediasi Limbah yang Mengandung Timbal (Pb) dan Kromium (Cr)*. 8.

Alisa, C. A. G., Albirqi P, M. S., & Faizal, I. (2020). Kandungan Timbal dan Kadmium pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Akuatika Indonesia*, *5*(1), 21. https://doi.org/10.24198/jaki.v5i1.26523

Anrozi, R., & Trihadiningrum, Y. (2017). Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3. *Jurnal Teknik ITS*, *6*(2), F445–F450. https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25134

Arief, L. M. (2016). *Pengolahan Limbah Industri: Dasar—Dasar Pengetahuan dan Aplikasi di tempat Kerja* (1 ed.). ANDI.

Arsyad. (2016). Perencanaan Sistim Perpipaan Air Limbah Kawasan Pemukiman Penduduk. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, *6*(1).

Artiyani, A. (2011). Penurunan Kadar N-Total Dan P-Total Pada Limbah Cair Tahu Dengan Metode Fitoremediasi Aliran Batch Dan Kontinyu Menggunakan Tanaman Hydrilla Verticillata. *Spectra*, *IX*(18), 9–14.

Aurangzeb, N., Nisa, S., Bibi, Y., Javed, F., & Hussain, F. (2014). Phytoremediation potential of aquatic herbs from steel foundry effluent.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Brazilian Journal of Chemical Engineering, *31*(4), 881–886. https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140314s00002734

A'yuningsih, D. (2017). *Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Perubahan Struktur Anatomi Daun*. 8.

Azni, P. A. S., & Sururi, M. R. (2014). *Pengaruh Logam Tembaga dalam Penyisihan Logam Nikel dari Larutannya menggunakan Metode Elektrodeposisi*. 11.

Barsan, N., Nedeff, V., Temea, A., Mosnegutu, E., Chitimus, A. D., & Tomozei, C. (2017). A Perspective for Poor Wastewater Infrastructure Regions: A Small-scale Sequencing Batch Reactor Treatment System. *Chemistry Journal of Moldova*, *12*(1), 61–66. https://doi.org/10.19261/cjm.2017.387

BPPT. (2011). Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). *Peraturan Terkait Pengolahan Limbah B3*. https://www.kelair.bppt.go.id/sib3pop/tentangb3.htm

CABI. (2019). *Limnocharis flava (yellow bur-head)*. Centre for Agriculture and Bioscience International. https://www.cabi.org/isc/datasheet/30804

Dhir, B. (2013). *Phytoremediation: Role of Aquatic Plants in Environmental Clean-Up*. Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1307-9

Efendi, S., Deswira, R., & Prakoso, T. (2021). *QS. Al Qamar (Bulan) – surah 54 ayat 28 [QS. 54:28]*. Risalah Muslim. https://risalahmuslim.id/quran/al-qamar/54-28/

Eldrin, N. E. H., Puryanti, D., & Budiman, A. (2019). Identifikasi Kandungan Timbal (Pb), Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) pada Air Sungai Malakutan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kota Sawahlunto. *Jurnal Fisika Unand*, *8*(1), 41–45. https://doi.org/10.25077/jfu.8.1.41-45.2019

Faridatuzzahro, L., Sedyawati, S. M. R., & Widiarti, N. (2015). Penurunan Nilai Bod Cod Limbah Tahu Menggunakan Tanaman Cyperus Papirus Sistem Wetland. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *4*(1). http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs

Frandigda, R. S. (2018). *Rancang Bangun Alat Potong Dengan Konsep Ergonomi Pada UD.Samudra Loyang*. [Skripsi]. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

GSID. (2018). *Species profile: Limnocharis flava*. Global Invasive Species Database. http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Limnocharis+flava

Handayani, I. F., Setyowati, E., & Santoso, A. M. (2013). *Efisiensi Fitoremediasi Pada Air Terkontaminasi Cu*. 6.

Handayanto, E., Nuriani, Y., Muddarisna, N., Syam, N., & Fiqri, A. (2017). *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. UB Press.

Hanisa, E., Nugraha, W. D., & Sarminingsih, A. (2017). *Penentuan Status Mutu Air Sungai Berdasarkan Metode Indekskualitas Air–National Sanitation Foundation (IKA-NSF) sebagai Pengendalian Kualitas Lingkungan*. *6*(1), 15.

Haryati, M., Purnomo, T., & Kuntjoro, S. (2012). *Kemampuan Tanaman Genjer (Limnocharis Flava (L.)Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda*. *1*(3), 8.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Herlambang, P., & Hendriyanto, O. (2017). Fitoremediasi Limbah Deterjen Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes l.) dan Genjer (Limnocharis flava l.). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, *7*(2), 100–114.

Hibatullah, H. F. (2019). *Fitoremediasi Limbah Domestik (Grey Water) Menggunakan Tanaman Kiambang (Salvinia Molesta) Dengan Sistem Batch* [Tugas Akhir]. UIN Sunan Ampel.

Hidayat, A. (2017). *Kinetika Reaktor Batch*. https://id.scribd.com/presemtation/362961269/Kinetika-Reaktor-Batch

Hidayat, N. (2016). *Bioproses Limbah Cair* (1 ed.). ANDI.

Ikawati, S., Zulfikar, A., & Azizah, D. (2013). Efektivitas dan Efisiensi Fitoremediasi pada Deterjen dengan Menggunakan Tanaman Genjer (Limnocharis flava). *Jurnal Umrah*, 7.

Irawanto, R., & Mangkoedihardjo, S. (2015). Fitoforensik Logam Berat (Pb dan Cd) pada Tumbuhan Akuatik (Acanthus ilicifolius dan Coix Lacryma-Jobi). *Jurnal Purifikasi*, *15*, 14.

Irianti, T., Kuswandi, Nuranto, S., & Budiyatni, A. (2017). *Logam Berat dan Kesehatan*.

Junaidi, J. (2015). *Statistik Uji Kruskal-Wallis*. Universitas Jambi. https://www.researchgate.net/publication/277868384

Kasman, M., Riyanti, A., & Kartikawati, C. E. (2019). Fitoremediasi Logam Aluminium (Al) Pada Lumpur Instalasi Pengolahan Air Menggunakan Tanaman Melati Air (Echinodorus palaefolius). *Jurnal Daur Lingkungan*, *2*(1), 7–10. http://dx.doi.org/10.33087/daurling.v2i1.17

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kemendikbud. (2013). *Pengolahan Kualitas Air*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Kemenperin. (2017). Indonesia Masuk Kategori Negara Industri. *Kementrian Perindustrian Republik Indonesia*. https://kemenperin.go.id/artikel/18473/Indonesia-Masuk-Kategori-Negara-Industri

Kencanawati, C. I. P. K. (2016). *Diktat Mata Kuliah: Sistem Pengelolaan Air Limbah*. Teknik Mesin Universitas Udayana. https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan

Komarawidjaja, W. (2017). Paparan Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *18*(2), 173. https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2047

Maryana, M. (2020). *Fitoremediasi Menggunakan Variasi Kombinasi Tanaman Kiambang (Salvinia Molesta M) dan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L) dalam Menurunkan Besi (Fe) dengan Sistem Batch* [Tugas Akhir]. UIN Sunan Ampel.

Mustofa, A. (2020). *Pengelolaan Kualitas Air untuk Akuakultur*. UNISNU Press.

Nurfitri, A., & Ganesha, J. (2010). Pengaruh Kerapatan Tanaman Kiapu (Pistia stratiotes L) terhadap Serapan Logam Cu pada Air. *Jurnal Teknik Lingkungan*, *16*, 10.

Nurmalinda, Yuliansyah, A. T., & Prasetya, A. (2018). *Aklimatisasi Tanaman Lemna Minor dan Azolla Microphylla Terhadap Lindi TPA Piyungan pada*

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Awal Fitoremediasi [Prosiding]. Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan teknologi Nuklir.

Nurullah, L. (2018). *Analisis Removal Logam Berat dengan Metode Floating Wetland Menggunakan Tanaman Kolonjono (Brachiaria mutica) dan Bakteri pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta, PT.KAI*. 15.

Oktavia, Z., & Dewanti, N. A. Y. (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*, 9.

Oktoviana, I., Hanifah, T. A., & Kartika, G. F. (2015). Potensi Tanaman Genjer (Limnocharis flava) sebagai Fitoremediator Ion Timbal (II). *JOM FMIPA*, *2*(2).

Padmaningrum, R. T., Aminatun, T., & Yuliati. (2014). Pengaruh Biomasa Melati Air (Echinodorus paleafolius)dan Teratai (Nyphaea firecrest) Terhadap Kadar FosfaT, BOD, COD, TSS, dan Derajat Keasaman Limbah Cair Laundry. *Jurnal Penelitian Saintek*, *19*(2).

Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, No 22 Tahun 2021 Peraturan Pemerintah (2021).

Permanawati, Y., Zuraida, R., & Ibrahim, A. (2016). Kandungan Logam Berat (Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr) dalam Air dan Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *JURNAL GEOLOGI KELAUTAN*, *11*(1), 9. https://doi.org/10.32693/jgk.11.1.2013.227

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Pratama, R. P. (2018). *Fitoremediasi* [Geneca Environmental Service]. https://www.gesi.co.id/fitoremediasi/

Priyanti, & Yunita, E. (2013). *Uji Kemampuan Daya Serap Tumbuhan Genjer (Limnocharis Flava) Terhadap Logam Berat Besi (Fe) Dan Mangan (Mn)*. FMIPA Universitas Lampung.

Qasim, S. R. (1985). *Wastewater treatment Plants*. CBS College Publishng.

Quevauvilller, P., Thomas, O., & Der Beken, A. V. (2006). *Wastewater Quality Monitoring and Treatment*. John Wiley & Sons, Ltd.

Rachmadiarti, F., Fitrihidajati, H., Purnomo, T., Yuliani, Y., & Wahyuningsih, D. A. (2018). Azolla microphylla and Pistia stratiotes as Phytoremediator of Pb (lead). *Proceedings of the International Conference on Science and Technology (ICST 2018)*. Proceedings of the International Conference on Science and Technology (ICST 2018), Bali, Indonesia. https://doi.org/10.2991/icst-18.2018.20

Rahayuningtyas, I., & Wahyuningsih, N. E. (2018). Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak dan Berat Tanaman Apu-Apu (Pistia stratiotes L.) terhadap Kadar Timbal pada Irigasi Pertanian. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, *6*, 9.

Rijal, M., Amin, M., Rochman, F., & Suarsini, E. (2016). Response Growth and the Effectiveness of the Absorption of Heavy Metal B-Iii by Limnochris Flava on a Scale Laboratory. *International Journal of ChemTech Research*, 8.

Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science* (fifth). McGraw-Hill.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Setiyono, A., & Gustaman, R. A. (2017). Pengendalian Kromium (Cr) yang terdapat di Limbah Batik dengan Metode Fitoremediasi. *Unnes Journal of Public Health*, *6*(3), 155. https://doi.org/10.15294/ujph.v6i3.15754

Sidjabat, F. N., Alwi, V., & Puspitasari, Y. (2020). Pengukuran Timbal Pada Air Sungai dan Bioindikator Lokal di Sungai Brantas Kota Kediri, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ekologi Kesehatan*, *19*(3), 13.

Siswoyo, E., Kasam, I., & Abdullah, L. M. S. (2011). Penurunan Logam Timbal (Pb) pada Limbah Cair TPA Piyungan Yogyakarta dengan Constructed Wetlands Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes). *Jurnal Sains &Teknologi Lingkungan*, *3*(1), 73–79. https://doi.org/10.20885/jstl.vol3.iss1.art6

Soheti, P., Sumarlin, L. O., & Marisi, D. P. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *EKSPLORIUM*, *41*(2), 139. https://doi.org/10.17146/eksplorium.2020.41.2.6092

Suharto, B., & Susanawati, L. D. (2011). Penurunan Kandungan Logam Pb Dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (Equisetum Hyemale) dan Zeolit. *AGROINTEK*, *5*, 11.

Sukmadijaya, D., Dinarti, D., & Isnaini, Y. (2015). *Pertumbuhan Planlet Kantong Semar (Nepenthes rafflesiana Jack.) Pada Beberapa Media Tanam Selama Tahap Aklimatisasi*. Seminar Departemen Agronomi dan Hortikultura, Bogor.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Taufiq, A. (2014). *Identifikasi Masalah Keharaan Tanaman Kacang Tanah*. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. https://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/

Taurisna, T. L. (2020). *Pemanfaatan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Untuk Menurunkan Kadar COD, BOD, TSS Pada Limbah Cair Industri Tempe Dengan Menggunakan Fitoremediasi Sistem Batch* [Tugas Akhir]. UIN Sunan Ampel.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4 ed.). McGrawhill.

Thuraidah, A., Puspita, E. I., & Oktiyani, N. (2016). Pengaruh Genjer (Limnocharis flava) terhadap Penurunan Biological Oxygen Demand (BOD) Limbah Industri Karet. *Medical Laboratory Technology Journal*, *2*(1), 6. https://doi.org/10.31964/mltj.v2i1.28

Tualeka, M. W. N. (2011). Teologi Lingkungan Hidup Dalam Perspektif Islam. *PROGRESIVA*, *5*, 10.

Unieco. (2020). Jenis Limbah B3 Berdasarkan Kategori dan Sumbernya. *Universal Eco Sustainable Waste Management*. https://www.universaleco.id/jenis-limbah-b3

UNIMED. (2014). *BAB IX: Aklimatisasi Tanaman Hasil Kultur In Vitro*. Universitas Negeri Medan.

USDA. (2018). *Limnocharis flava (L.) Buchenau [excluded] yellow velvetleaf*. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Science. https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=LIFL5

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Widowati, H., Sutanto, A., & Sulistiani, W. S. (2018). *Fitoteknologi dan Efek Fitoremediasi (Buku Ajar Pendukung Mata Kuliah Bioremediasi)*. LPPM UMMetro Press.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id