

TUGAS AKHIR
FITOREMEDIASI LOGAM BERAT SENG (Zn) DENGAN
MEMANFAATKAN TANAMAN APU- APU (*Pistia stratiotes*)
MENGGUNAKAN SISTEM *BATCH*



Diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik
(S.T) Jurusan Teknik Lingkungan pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan
Ampel Surabaya

Disusun oleh:

LAILI OKTAVIANI

H75216037

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA

2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : LAILI OKTAVIANI

NIM : H75216037

Program Studi : TEKNIK LINGKUNGAN

Angkatan : 2016

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul:
“Fitoremediasi Logam Berat Seng (Zn) Dengan Memanfaatkan Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) Menggunakan Sistem *Batch*”. Apabila suatu saat nanti terbukti saya telah melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 17 Juli 2020

Yang menyatakan,

LAILI OKTAVIANI

NIM. H75216037

Yang menyatakan,



NIM. H75216037

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir oleh:

NAMA : LAILI OKTAVIANI

NIM : H75216037

JUDUL	:FITOREMEDIASI LOGAM BERAT SENG (Zn) DENGAN MEMANFAATKAN TANAMAN APU-APU (<i>Pistia stratiotes</i>) MENGGUNAKAN SISTEM <i>BATCH</i>
-------	---

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan:

Surabaya, 10 Juli 2020

Dosen Pembimbing I



Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL
NIP. 198512112014031002

Dosen Pembimbing II

ms

Widya Nilandita, M.KL
NIP. 198410072014032001

Tugas Akhir Laili Oktaviani ini telah dipertahankan
Didepan tim penguji tugas akhir
Di Surabaya, 17 Juli 2020

Dosen Penguji 1



Dosen Penguji II

me

Dosen Penguji III

Ship

Dosen Penguji IV

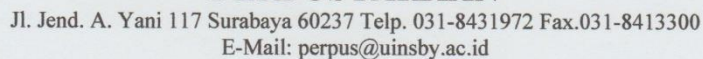
1199

Mengetahui,

Ph. Dekan Fakultas Sains dan
Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya

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





nama terang dan tanda tangan

Metode penelitian ini bersifat eksperimental skala lab yang menggunakan adalah deskriptif-kualitatif. Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu 10 da yang tinggal selama 10 hari dan dengan menggunakan lin yang konsentrasi awal 11,02 ppm. Pada penelitian ini reaktor A berisi 10 tanaman Apu-Apu dan reaktor B berisi 10 tanaman Apu-Apu. Pengujian kadar logam Zn dilakukan dengan metode analisa logam berat Zn dilakukan dengan metode Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektif menurunkan logam Zn. Pada penelitian ini removal logam berat Zn sebesar 83,85%. Sedangkan efisiensi removal logam berat Zn sebesar 79,50%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan penurunan kadar logam Zn dengan variasi jumlah tanaman Apu-Apu.

Metode penelitian ini bersifat eksperimental skala lab yang menggunakan adalah deskriptif-kualitatif. Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu 10 da yang tinggal selama 10 hari dan dengan menggunakan lin yang konsentrasi awal 11,02 ppm. Pada penelitian ini reaktor A berisi 10 tanaman Apu-Apu dan reaktor B berisi 10 tanaman Apu-Apu. Pengujian kadar logam Zn dilakukan dengan metode analisa logam berat Zn dilakukan dengan Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektif menurunkan logam Zn. Pada penelitian ini removal logam berat Zn sebesar 83,85%. Serapan logam berat Zn efisiensi removal logam berat Zn sebesar 79,50%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan penurunan kadar logam berat Zn variasi jumlah tanaman Apu-Apu.

Metode penelitian ini bersifat eksperimental skala lab yang menggunakan adalah deskriptif-kualitatif. Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu 10 da yang tinggal selama 10 hari dan dengan menggunakan lin yang konsentrasi awal 11,02 ppm. Pada penelitian ini reaktor A berisi 10 tanaman Apu-Apu dan reaktor B berisi 10 tanaman Apu-Apu. Pengujian kadar logam Zn dilakukan dengan metode analisa logam berat Zn dilakukan dengan Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektif menurunkan logam Zn. Pada penelitian ini removal logam berat Zn sebesar 83,85%. Serapan logam berat Zn efisiensi removal logam berat Zn sebesar 79,50%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan penurunan kadar logam berat Zn variasi jumlah tanaman Apu-Apu.

and the research approach used is number of Apu-Apu plants used in this study of 10 days and with an using artificial 11,02 ppm. In this research, reactor A is 10 Apu-Apu plants, and in reactor C content testing is carried out every day for method is carried out with an *Atomic Absorption Spectrophotometer*. It showed *Pistia stratiotes* effectively reduced a heavy metal removal efficiency of 2 Zn heavy metal removal efficiency of 79. It there are differences in the reduction in the number of Apu-Apu plants.

heavy metal, Phytoremediation, *Pistia stratiotes*

and the research approach used is number of Apu-Apu plants used in this study of 10 days and with an using artificial 11,02 ppm. In this research, reactor A is 10 Apu-Apu plants, and in reactor C content testing is carried out every day for method is carried out with an *Atomic Absorption Spectrophotometer*. It showed *Pistia stratiotes* effectively reduced a heavy metal removal efficiency of 2 Zn heavy metal removal efficiency of 79. It there are differences in the reduction in the number of Apu-Apu plants.

heavy metal, Phytoremediation, *Pistia stratiotes*

and the research approach used is number of Apu-Apu plants used in this study of 10 days and with an using artificial 11,02 ppm. In this research, reactor A is 10 Apu-Apu plants, and in reactor C content testing is carried out every day for method is carried out with an *Atomic Absorption Spectrophotometer*. It showed *Pistia stratiotes* effectively reduced a heavy metal removal efficiency of 2 Zn heavy metal removal efficiency of 79. It there are differences in the reduction in the number of Apu-Apu plants.

heavy metal, Phytoremediation, *Pistia stratiotes*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Limbah Industri.....	6
2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri	6
2.3 Logam Berat.....	9
2.4 Seng (Zn).....	9
2.4.1 Karakteristik Logam Seng (Zn)	10
2.4.2 Dampak Logam Seng (Zn).....	11
2.5 Pengolahan Limbah Mengandung Logam Berat.....	11
2.6 Fitoremediasi.....	12
2.7 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi	14
2.8 Aklimatisasi	15
2.9 Sistem kontinyu.....	15
2.10 Sistem <i>Batch</i>	16

5.2 Saran.....70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Reaktor Kontinyu	15
Gambar 2.2 Reaktor <i>Batch</i>	16
Gambar 2.3 Tanaman Apu – Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	17
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	31
Gambar 3.2 Reaktor A	34
Gambar 3.3 Reaktor B.....	34
Gambar 3.4 Reaktor C.....	34
Gambar 3.5 Bagan Alir Tahapan Penelitian	35
Gambar 4.1 Grafik Nilai pH.....	55
Gambar 4.2 Grafik Suhu pada Air	57
Gambar 4.3 Grafik Suhu Ruang.....	59
Gambar 4.4 Grafik Penurunan Kadar Zn pada Reaktor A	60
Gambar 4.5 Grafik Penurunan Kadar Zn pada Reaktor B	61
Gambar 4.6 Grafik Penurunan Kadar Zn pada Reaktor C	62
Gambar 4.7 Hasil Uji Normalitas.....	67
Gambar 4.8 Hasil Uji Homogenitas	67
Gambar 4.9 Hasil Uji <i>One Way Anova</i>	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I – Dokumentasi Penelitian	I-1
Lampiran II – Hasil Uji Laboratorium BARISTAND Surabaya.....	II-1
Lampiran III – Tabel Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	III-1

PENDAHULUAN

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “telah tampak kerusakan di darat dan di laut yang disebabkan oleh perbuatan tangan manusia: Allah SWT menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”.

Pencemaran logam berat seng (Zn) pada waduk Saguling Provinsi Jawa Barat telah diteliti oleh Julia Putri Adani, Eka Wardhani, Kancitra Pharmawati Institut Teknologi Nasional Bandung pada bulan Juni 2015. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengamatan kandungan logam berat Zn yang dilakukan pada ke-12 lokasi penelitian melebihi baku mutu. Konsentrasi tertinggi terdapat pada lokasi Cihaur yakni sebesar 0,5976 mg/L, hal ini disebabkan pada lokasi tersebut merupakan awal masuknya limbah dari Batujajar, dimana pada lokasi tersebut terdapat banyak kawasan industri. Industri yang menghasilkan logam berat antara lain pabrik tekstil dan pabrik garmen.

[illegible]

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menurunkan konsentrasi logam berat Zn, yaitu dengan proses pertukaran ion (*ion exchange*) yaitu dengan cara pemisahan logam berat dengan bahan resin pengikat kation, elektrolisa (pemisahan logam berat dalam air secara elektrolisis sehingga logam berat mengendap atau melapisi katoda), pengendapan kimia (logam berat diendapkan dengan hidroksida), dan elektroplanting koagulasi. Namun, metode - metode tersebut dirasa membutuhkan biaya yang besar. Untuk itu, pengolahan limbah yang tercemar logam berat dapat dilakukan dengan perlakuan secara biologis, yakni pemanfaatan tanaman untuk menurunkan kadar logam berat Zn dalam air limbah. Metode ini disebut juga dengan fitoremediasi.

3

perubahan kadar logam seng (Zn) dengan sistem *batch* dan efisiensi penurunan kadar logam seng dengan perlakuan tanaman Apu-tem *batch* dalam waktu 10 hari?

dapat perbedaan penurunan logam seng oleh tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) dalam waktu 10 hari?

Salah

masalah pada penelitian ini antara lain: penggunaan logam berat seng (Zn) artifisial dengan kontrol fitoremediator yang digunakan yaitu tanaman ini dilakukan selama 17 hari termasuk

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Limbah logam berat seng (Zn) artifisial dengan konsentrasi awal 11,02 ppm
2. Tanaman fitoremediator yang digunakan yaitu tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*)
3. Penelitian ini dilakukan selama 17 hari termasuk proses aklimatisasi tanaman
4. Jumlah tanaman untuk penelitian ini yaitu bervariasi setiap reaktornya
5. Reaktor yang digunakan untuk penelitian ini yaitu reaktor *Batch* berukuran panjang 60 cm x lebar 35 cm x tinggi 15 cm
6. Setiap reaktor terdapat aerator
7. Reaktor A merupakan kontrol
8. Reaktor B berisi 10 tanaman
9. Reaktor C berisi 15 tanaman

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri

Limbah industri adalah semua bahan sisa atau bahan buangan yang merupakan hasil samping dari proses kerja perindustrian dan tidak lagi berguna (Palar, 2004). Limbah- limbah industri yang terdapat kandungan logam didalamnya tidak dapat membuang limbahnya langsung ke sungai, waduk, atau laut dikarenakan keberadaan logam berat dalam limbah sangat berbahaya bagi kehidupan manusia, hewan, dan lingkungan (Karamah dkk., 2010). Limbah yang akan dibuang ke sungai harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan, dikarena sungai merupakan salah satu sumber air bersih bagi masyarakat, sehingga diharapkan sungai tidak tercemar dan dapat digunakan untuk masyarakat dalam memenuhi keperluan lainnya (Hatmanto, 2006). Logam – logam berat yang terdapat dalam badan perairan pada konsentrasi tertentu dan berubah fungsi menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan. Meskipun daya racun yang ditimbulkan oleh satu jenis logam berat terhadap semua biota perairan tidak sama, namun kehancuran dari satu kelompok dapat menjadikan terputusnya satu mata rantai kehidupan. Pada tingkat selanjutnya, keadaan tersebut tentu saja dapat menghancurkan satu tatanan ekosistem perairan (Palar, 2004).

2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri

Karakteristik limbah cair industri diperlukan untuk mengetahui cara pengolahan yang tepat untuk mengolah limbah agar mendapatkan hasil yang maksimal. Adapun karakteristik limbah cair dapat dibagi 3 (tiga) macam, yaitu:

1. Kimia

Karakteristik kimia pada limbah cair antara lain:

a. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air.

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD merupakan jumlah kebutuhan oksigen dalam air untuk proses reaksi secara kimia guna menguraikan unsur pencemar yang ada.

c. *Dissolved Oxygen* (DO)

DO merupakan kadar oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk respirasi aerob mikroorganisme.

d. Nitrogen

Nitrogen dalam air limbah umumnya terdapat dalam bentuk organik yang kemudian oleh bakteri akan diubah menjadi amonia. Kondisi aerobik akan mengubah amonia menjadi nitrat dan nitrit.

e. Ammonia (NH_3)

Ammonia merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH_4^+ pada pH rendah dan disebut amonium; amonia sendiri berada dalam keadaan tereduksi. Amonia dalam air permukaan berasal dari air seni dan tinja, juga dari oksidasi zat organik secara mikrobiologis, yang berasal dari air alam ataupun buangan industri dan buangan penduduk. Limbah cair yang mengandung zat amonia sangat berpengaruh terhadap kesehatan manusia. Zat amonia bersifat korosif dan iritasi (Darpito, 2015).

f. Sulfida Sulfat

Sulfida sulfat merupakan zat yang mematikan di dalam air dan umumnya dihasilkan oleh dekomposisi bahan organik yang mati. Sulfida dapat diubah menjadi sulfit dan hidrogen sulfida (H_2S) oleh bakteri pada kondisi anaerob. Sulfida sulfat memiliki ciri-ciri yaitu tidak berwarna, sangat beracun, mudah terbakar dan memiliki karakteristik bau telur busuk.

g. Fenol

Fenol merupakan bahan beracun yang dapat menghambat proses degradasi biologi oleh mikroba tertentu.

h. Derajat keasaman (pH)

pH merupakan jumlah konsentrasi ion hidrogen (H^+) pada larutan yang menyatakan tingkat keasaman dan kebasaan yang dimiliki. pH merupakan besaran fisis yang diukur pada skala 0 – 14. Apabila diketahui $pH < 7$ maka larutan dinyatakan asam, jika diketahui $pH > 7$ maka larutan tersebut merupakan larutan basa. Apabila nilai pH terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan kematian pada mikroorganisme. pH normal untuk kehidupan air adalah 6– 8.

- i. Logam berat

Logam berat terbagi menjadi dua jenis, yaitu esensial dan *non esensial*. Logam berat yang esensial bukan termasuk senyawa toksik apabila kadarnya sedikit pada makhluk hidup. Sedangkan logam berat *non esensial* merupakan logam berat yang belum diketahui keberadaannya dalam tubuh dan masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun.

2. Biologi

Pemeriksaan biologis di dalam air limbah bertujuan untuk mengetahui keberadaan bakteri patogen. Berbagai jenis bakteri yang terdapat di dalam air limbah sangat berbahaya karena dapat menyebabkan penyakit. Adapun parameter yang digunakan untuk mengukur karakteristik biologi yaitu banyaknya mikroorganisme yang terkandung dalam air limbah. Mikroorganisme yang terdapat pada air limbah antara lain:

a. Bakteri

b. Jamur

3. Fisika

Karakteristik fisik dapat dengan cara melihat dan juga dapat dirasakan secara langsung, antara lain:

a. Kekерuhan

Terdiri dari benda kasar yang mengendap atau tidak terlarut serta benda tercampur atau tersuspensi.

b. Warna

Warna dapat berasal dari zat warna. Warna merupakan ciri kualitatif untuk mengkaji kondisi umum air limbah

c. Suhu

Suhu dari air limbah sangat berpengaruh terhadap kecepatan reaksi kimia dan tata kehidupan dalam air

d. Bau

Bau dapat timbul karena adanya aktivitas mikroorganisme yang menguraikan zat organik dapat juga dari reaksi kimia yang terjadi dan menghasilkan gas tertentu.

2.3 Logam Berat

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 , terletak disudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S, dan bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7 dalam susunan berkala serta mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S sehingga mendorong terjadinya ikatan logam berat dengan gugus S (Apdy A.R, 2016). Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibagi menjadi dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, dimana keberadaanya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain sebagainya. Jenis logam berat kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, dimana keberadaanya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain sebagainya. (Darmono, 1995). Secara umum, logam berat mempunyai pengaruh negatif pada proses biologi utamanya dalam keadaan terlarut, bahkan dalam bentuk suspensi diketahui beracun bagi ikan (Amelia, 2015).

2.4 Seng (Zn)

Seng (Zn) merupakan komponen alam yang terdapat di kerak bumi. Biji Zn ditambang oleh 50 negara antara lain Cina, Australia, Eropa, dan Kanada. Dalam bijih Zn biasanya terdapat kandungan lain yaitu Tembaga (Cu), Emas (Au), dan Perak (Ag). Zn di bumi sangat melimpah. 1 kubik mil air laut

1. Melapisi besi atau baja guna mencegah korosi
2. Bahan tabung baterai
3. Bahan *alloy* seperti kuningan, nikel-perak, logam me ketik, dan penyepuhan listrik
4. Sebagai bahan suplemen vitamin atau mineral ya memiliki aktivitas antioksidan guna mencegah penu dini serta mempercepat proses penyembuhan.

2.4.1 Karakteristik Logam Seng (Zn)

Seng adalah komponen alam yang terdapat dal kerak bumi. Seng (Zn) adalah logam yang memi karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pu apabila terkena uap udara dan terbakar apabila terkena udara dengan warna api hijau terang. Seng (Zn) dapat berea dengan asam, basa, dan senyawa non logam. Seng (Zn) den nama Zinc memiliki nomor atom 30 dan memiliki berat at

- 2.4.1 Karakteristik Logam Seng (Zn)**
- Seng adalah komponen alam yang terdapat dalam kerak bumi. Seng (Zn) adalah logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar apabila terkena uap udara dan terbakar apabila terkena udara dengan warna api hijau terang. Seng (Zn) dapat bereaksi dengan asam, basa, dan senyawa non logam. Seng (Zn) dengan nama Zinc memiliki nomor atom 30 dan memiliki berat atom 65,38.

dini serta mempercepat proses penyembuhan.

2.4.1 Karakteristik Logam Seng (Zn)

Seng adalah komponen alam yang terdapat dalam kerak bumi. Seng (Zn) adalah logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar apabila terkena uap udara dan terbakar apabila terkena udara dengan warna api hijau terang. Seng (Zn) dapat bereaksi dengan asam, basa, dan senyawa non logam. Seng (Zn) dengan nama Zinc memiliki nomor atom 30 dan memiliki berat atom sebesar 65,39 g/mol. Zn memiliki titik lebur 419,73° C. Zn dalam alam tidak berada dalam keadaan bebas melainkan dalam bentuk mineral. Mineral yang mengandung Zn di alam beberapa antara lain: *kalaminit*, *willenit*, *franklinit*, *smithsonit* dan *zinkit*. Sumber Zn dapat berupa mineral sphalerit (ZnS), *kalaminit*, *willenit*, dan *zinkit* (ZnO). ZnO dalam asam sulfat akan menghasilkan Zn-Sulfat (ZnSO₄) dalam larutan. (Widowat dkk., 2008).

2.4.2 Dampak Logam Seng (Zn)

Dampak logam berat seng (Zn) dapat terbagi menjadi 3, yaitu:

a. Tumbuhan

Dampak logam berat seng (Zn) terhadap tumbuhan yaitu dalam waktu yang lama dapat mempengaruhi sintesis klorofil sehingga menghambat proses fotosintesis (Phukan, 2015 dalam (Afifah Nur Shobah, 2019)).

b. Manusia

Dampak logam berat seng (Zn) terhadap manusia yaitu dapat menyebabkan diare, muntah, bahkan hingga gangguan reproduksi (Nasution, 2011). Apabila terdapat lebih dari 12 gram seng (Zn) dalam tubuh manusia dalam waktu 2 hari terbukti mengalami hematologi, hati, dan ginjal.

c. Biota

Dampak logam berat seng (Zn) terhadap biota yaitu dapat mengakibatkan biota air mati apabila konsentrasinya lebih dari kadar rendah yang dibutuhkan oleh organisme.

2.5 Pengolahan Limbah mengandung Logam Berat

Pengolahan air limbah yang tercemar oleh logam berat dalam air dapat dilakukan dengan cara:

1. Pengolahan secara fisika

Pengolahan secara fisika dapat dilakukan dengan cara:

a. Osmosis balik

Osmosis balik atau *reverse osmosis* merupakan metode yang memanfaatkan membran semipermeabel sintesis untuk menyaring air yang tercemar. Beberapa kontaminan yang dapat dihilangkan dengan proses osmosis balik adalah logam berat, parasit, virus, bakteri, dan yang lainnya

b. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses dimana molekul cairan menyentuh dan menempel ke permukaan padatan. Dalam proses adsorpsi apabila material biologis digunakan sebagai absorben, maka prosesnya dikenal dengan biosorpsi (Rivania, 2019).

2. Pengolahan kimia

Pengolahan secara kimia dapat dilakukan dengan cara:

a. Pertukaran ion

Ion exchange atau pertukaran ion merupakan proses dimana media penukar ion (resin) ditukar dengan ion logam berat yang terkandung dalam air limbah. Pada proses ini, ion logam berat yang terkandung dalam air limbah terikat pada resin. Banyaknya ion logam yang terikat pada resin tergantung pada kapasitas resin yang digunakan.

b. Elektrolisis

Elektrolisis merupakan suatu peristiwa dimana suatu larutan akan diuraikan menjadi ion-ionnya yaitu ion positif (kation) dan ion negatif (anion) ketika arus listrik searah dialirkan kedalam larutan elektrolit. Adapun kelebihan dari metode elektrolisis adalah efisiensi penurunan kadar logam sangat tinggi karena alat ini dipengaruhi oleh temperatur. Sedangkan kekurangannya adalah kecilnya jarak antar elektroda yang menyebabkan terjadinya hubungan pendek apabila konsentrasi limbah yang terlalu tinggi (Gunawan dkk., 2015).

c. Pengendapan kimia

Pengendapan secara kimia yaitu dengan menambahkan bahan kimia yang dapat mengendapkan logam berat sebagai hidroksidanya (Putra & Fitri, 2016).

2.6 Fitoremediasi

Salah satu alternatif mengatasi pencemaran lingkungan yaitu dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah penggunaan tanaman, pohon-pohonan, rumput-rumputan dan tanaman air, untuk menghilangkan atau memecahkan bahan-bahan berbahaya baik organik maupun anorganik dari lingkungan. Fitoremediasi terdiri dari dua kata, yakni *phyto* yang berasal dari bahasa

berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri.

4. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi adalah proses perubahan senyawa dari toksik menjadi non toksik oleh tanaman tanpa melalui penyerapan terlebih dahulu.

5. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi merupakan proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap tumbuhan. Kontaminan terserap dan berubah struktur kimianya sebelum lepas ke udara.

Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi

Fitoremediasi memiliki kelebihan serta kekurangan, kelebihan dan kekurangan fitoremediasi antara lain yaitu:

1. Salah satu cara remediasi yang paling aman untuk lingkungan karena menggunakan tanaman
2. Ramah lingkungan dan menambah estetika
3. Tanaman yang digunakan untuk proses fitoremediasi mudah dikontrol

Fitodegradasi merupakan proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri.

Fitostabilisasi adalah proses perubahan senyawa dari toksik menjadi non toksik oleh tanaman tanpa melalui penyerapan terlebih dahulu.

Fitovolatilisasi merupakan proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap tumbuhan. Kontaminan terserap dapat berubah struktur kimianya sebelum lepas ke udara.

Fitoremediasi memiliki kelebihan serta kekurangan, kelebihan fitoremediasi antara lain yaitu:

1. Salah satu cara remediasi yang paling aman untuk lingkungan karena menggunakan tanaman
2. Ramah lingkungan dan menambah estetika
3. Tanaman yang digunakan untuk proses fitoremediasi mudah dikontrol

1. Salah satu cara remediasi yang paling aman untuk lingkungan dikarenakan menggunakan tanaman
2. Ramah lingkungan dan menambah estetika
3. Tanaman yang digunakan untuk proses fitoremediasi mudah dikontrol pertumbuhannya
4. Biaya operasional relatif lebih murah daripada pengolahan konvensional
5. Dapat di aplikasikan secara *in-situ* dan *ex-itu*
6. Logam berharga yang dapat direklamasi dan dipakai ulang melalui fitoremediasi (Sidauruk & Sipayung, 2015).

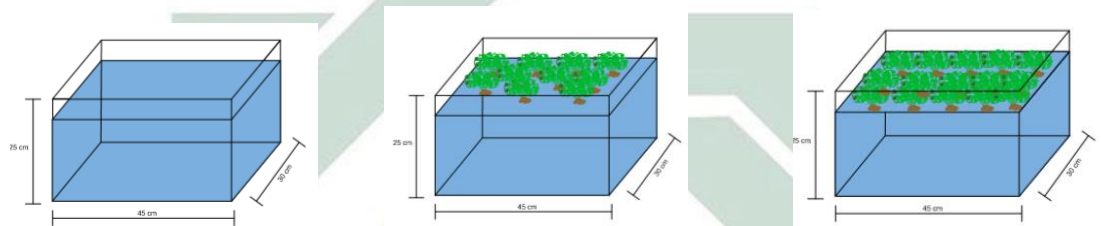
1. Membutuhkan waktu yang lama dalam prosesnya
2. Bergantung pada kondisi iklim

2.10 Sistem *Batch*

Sistem *Batch* merupakan proses dimana semua reaktan dimasukkan bersama-sama pada awal proses dan produk dikeluarkan pada akhir proses. Pada proses ini, semua reagen ditambahkan diawal proses dan tidak adanya penambahan ataupun pengeluaran ketika proses berlangsung (Elystia & Christian, 2019). Kelebihan sistem *Batch* antara lain:

1. Lebih mudah pengoperasiannya (Zubair & Mahiyatun, 2015)
2. Biaya dan harga instrumental relatif murah

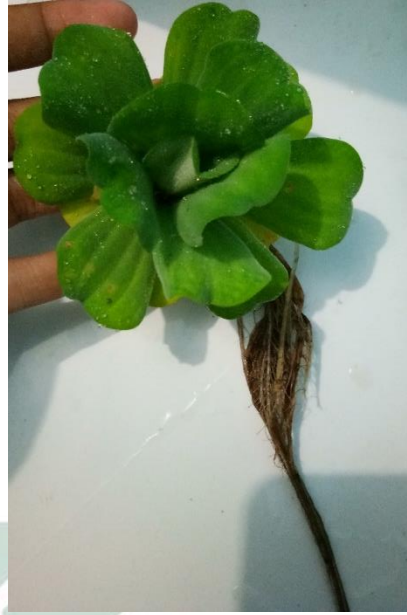
Berikut dibawah ini merupakan contoh gambar reaktor *batch*



Gambar 2.2 Reaktor *Batch*

2.11 Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*)

Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) merupakan familia *Araceae* dari genus *Pistia*. Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tumbuhan liar yang hidup di danau, tanaman ini sangat mudah ditemui di sawah, danau, telaga dan rawa-rawa dengan air yang mengalir tenang, selain itu tanaman ini juga dimanfaatkan sebagai tanaman hias. Karena kemiripannya dengan *lettuce* (selada), tanaman ini dijuluki *water lettuce* (selada air) atau di Indonesia disebut dengan Apu- Apu. Famili *Araceae* ini berasal dari sebelah barat Afrika, dan banyak tumbuh di Sungai Nil. Tanaman ini hidup mengapung pada permukaan air dengan akar-akarnya yang menggantung terendam di bawah bagian daunnya yang mengambang. Daunnya berwarna hijau terang muncul bergelombang dari akarnya, mirip dengan kelopak bunga mawar. Permukaan daunnya seperti terasa dilapisi beludru. Berikut merupakan gambar 2.3 Tanaman Apu – Apu (*Pistia stratiotes*).



Gambar 2.3 Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*)

(Sumber: Dokumentasi Pribadi,2020)

2.11.1 Klasifikasi Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*)

Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) hidup mengapung pada permukaan air dengan akar-akarnya yang menggantung terendam di bawah, bagian daunnya yang mengambang. Berikut ini merupakan klasifikasi tanaman Apu – Apu (*Pistia stratiotes*)

Kingdom : *Plantae*

Subkingdom : *Tracheobionta*

Superdivisi : *Spermatophyta*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Liliopsida*

Subkelas : *Arecidae*

Ordo : *Arales*

Famili : *Araceae*

Genus : *Pistia*

Species : *Pistia stratiotes* L

2.11.2 Morfologi Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*)

1. Daun

Tanaman Apu- Apu tumbuh dipermukaan air berbentuk cuping agak melingkar, berklorofil sehingga berwarna hijau, dan permukaannya ditutupi rambut berwarna putih transparan. Rambut – rambut pada daunnya berfungsi untuk mencegah daun menjadi basah dan membantu tanaman Apu- Apu mengapung.

2. Akar

Akar tanaman Apu- Apu dapat tumbuh hingga 80 cm. Akarnya jumbai panjang seperti rambut yang menggantung di dalam air. Akar tanaman Apu- Apu berwarna putih untuk tanaman yang masih baru dan yang lama berwarna kecoklatan.

2.12 Kelebihan Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*)

Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tanaman yang cukup banyak ditemukan di lingkungan karena pertumbuhannya yang tergolong cepat. Selain tingkat pertumbuhan yang cepat, tingkat absorpsi atau penyerapan unsur hara dan air cukup besar. Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) juga memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap iklim (Fahrurrozi, 2010 dalam Oktaviani & Rachmadiarti, 2014). Tumbuhan Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) dapat hidup pada suhu 15°C-35°C, tetapi suhu optimum pertumbuhannya antara 17°C-30°C. Secara morfologi tanaman Apu-Apu memiliki diameter daun yang relatif tidak terlalu besar tetapi memiliki perakaran yang lebat dan panjang sehingga secara efektif dapat menyerap polutan, namun hal itu tidak menghalangi penetrasi cahaya ke dalam perairan (Izzah dkk., 2017). Akar tanaman Apu- Apu memiliki peranan penting dalam proses penyerapan logam berat. Karena, akar tanaman Apu-Apu memiliki kemampuan yang besar dalam menyerap logam berat dibandingkan pada bagian tubuh tumbuhan Apu- Apu yang lainnya (Munawwaroh & Pangestuti, 2018).

2.13 Integrasi Penelitian dengan Pandangan Islam

Aktivitas sehari-hari manusia akan menghasilkan limbah, baik limbah cair, limbah gas, maupun limbah padat. Apabila limbah yang dihasilkan tersebut tidak diolah dengan baik, akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Hal ini tersebut tertulis dalam Al-Qur'an yaitu pada Q.S Ar-Ruum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا أَلْعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “telah tampak kerusakan di darat dan di laut yang disebabkan oleh perbuatan tangan manusia: Allah SWT menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa rusaknya alam baik di darat maupun di laut merupakan akibat dari perbuatan manusia, Allah SWT ingin manusia tersebut merasakan bencana ataupun musibah yang diakibatkan oleh perbuatannya sendiri. Contohnya adalah pencemaran air, pencemaran air terjadi dikarenakan limbah cair yang dihasilkan oleh aktivitas manusia tidak diolah dengan baik. Dalam firman Allah SWT lainnya dalam Q.S Al-Baqarah ayat 30 menjelaskan Allah SWT menciptakan manusia bahwa seharusnya manusia itu menjaga alam yang telah diberikan oleh Allah SWT, bukan malah merusaknya.

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَأِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۖ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ
الْدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۖ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

(Q.S A- Baqoroh 30)

Artinya: “Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi. Mereka berkata: “Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?”. Tuhan berfirman: “Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui”.

خَلَقَ السَّمَاوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا ۖ وَأَلْقَىٰ فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَن تَمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ دَابَّةٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: “Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya bumi itu tidak menggoyangkan kamu; dan memperkembang-biakkan padanya segala macam jenis binatang. Dan kami turunkan air hujan dari langit, lalu kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik”.

[illegible]

2.14 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan untuk rujukan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Rangkuman
1.	Pengaruh penambahan logam Zn pada serapan logam Cu oleh Tanaman Kiapu (<i>Pistia stratiotes L</i>) pada air (2010)	Tania Pramadewi Busran dan Indah Rachmatiah	Hasil untuk perbandingan penyerapan konsentrasi logam berat tembaga (Cu) pada 3 kondisi yaitu kondisi tidak ada penambahan logam berat seng (Zn), kondisi terdapat penambahan logam berat seng (Zn) konsentrasi rendah, dan terdapat penambahan logam seng (Zn) dengan konsentrasi tinggi. Terdapat perbedaan titik jenuh tanaman antara model konsentrasi logam berat tembaga (Cu) 1 yaitu kadar logam berat seng (Cu) rendah dan logam berat seng (Zn) rendah dan model konsentrasi logam berat tembaga (Cu) 3 yaitu Cu rendah dan Zn tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan konsentrasi awal pada air. Akumulasi logam berat lebih banyak terdapat di bagian akar disebabkan karena mekanisme fitoremediasi tanaman Kiapu merupakan rhizofiltrasi. Penambahan logam seng (Zn) konsentrasi rendah mempunyai pengaruh dalam penyerapan

No	Judul Penelitian	Penulis	Rangkuman
			konsentrasi logam tembaga (Cu), sedangkan penambahan logam seng (Zn) dengan konsentrasi tinggi tidak berpengaruh pada penyerapan logam tembaga (Cu) oleh tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)
2.	Fitoremediasi Zn dari Limbah Cair Pabrik Pengolahan Karet dengan Pemanfaatan <i>Pistia stratiotes</i> L. (2014)	Indah Sri Rahma Ningsih, Wahyu Lestari, dan Yelmida Aziz	Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan pertumbuhan Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dan kemampuan Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dalam limbah cair pabrik pengolahan karet. Hasil penelitian mengenai fitoremediasi seng (Zn) dari limbah cair pabrik pengolahan karet dengan pemanfaatan Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>). kesimpulan bahwa pertumbuhan Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dalam limbah cair pabrik pengolahan karet pada konsentrasi 25% mampu meningkatkan berat tumbuhan sebesar 33,65 g. akan tetapi, Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) belum mampu meningkatkan pH sehingga limbah cair tidak memenuhi baku mutu untuk dibuang ke perairan.
3.	Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan menggunakan	Dea Ghiovani Raissa dan Bieby Voijant Tangahu	Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kemampuan tumbuhan Kayu Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)

No	Judul Penelitian	Penulis	Rangkuman
	Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) (2017)		untuk menurunkan kandungan organik dalam limbah laundry dan mengetahui kerapatan tumbuhan Kayu Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) yang optimum teradap penurnan kandungan organik limbah laundry. Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan bahwa tumbuhan Kayu Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) mampu menyisihkan kandungan BOD sebesar 98%, COD sebesar 96%, fosfat sebesar 99% dalam limbah laundry.
4.	Kiambang (<i>Pistia stratiotes</i>) sebagai Agen Fitoremediasi Logam Krom (Cr) (2017)	Isratul Izzah, Supriatno dan Wardiah	Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui tingkat penurunan kadar logam krom (Cr) menggunakan tumbuhan Kayu Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>). Hasil dari penelitan ini mengatakan bahwa Kiambang (<i>Pistia stratiotes</i>) mampu menyisihkan logam krom (Cr). Penyisihan logam krom (Cr) dapat mempengaruhi kandungan klorofil pada tanaman kiambang (<i>Pistia stratiotes</i>).
5.	Potensi (<i>Pistia stratiotes</i>) dan <i>Spirogyra</i> sebagai Agen Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) pada perairan (2014)	Riska Oktaviani, Fida Rachmadiarti, dan Wisanti	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyerapan yang dilakukan oleh Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dan <i>Spirogyra</i> . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biota <i>Spirogyra</i> dan

No	Judul Penelitian	Penulis	Rangkuman
			Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) baik dalam perlakuan tunggal maupun kombinasi dengan penggunaan konsentrasi logam timbal (Pb) yang berbeda memiliki potens dalam menyerap dan menurunkan kadar timbal (Pb) pada perairan sehingga dapat digunakan sebagai fitoremediator dalam memperbaiki kualitas suatu perairan yang tercemar
6.	Analisis Morfologi dan Anatomi Akar Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i> L.) Akibat Pemberian Berbagai konsentrasi Kadmium (Cd) (2018)	Anita Munawwaroh dan Ardian Anjar Pengestuti	Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui menganalisa morfologi serta anatomi akar tanaman Apu- Apun (<i>Pistia stratiotes</i>) dengan menambahkan polutan kadmium (Cd). Berdasarkan hasil penelitian ini, tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) yang terpapar cadmium (Cd) memiliki tekstur akar yang lunak. Semakin tinggi perlakuan konsentrasi kadmium (Cd) terhadap Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) maka jumlah trakea akar Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) semakin sedikit.
7.	Kemampuan tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dalam menurunkan kadar logam nikel (Ni) limbah cair	Lestari Dwi Utami, Narwati, Umi Rahayu	Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui kemampuan tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dalam menurunkan kadar logam Ni limbah cair. Hasil dari penelitian ini

No	Judul Penelitian	Penulis	Rangkuman
			menunjukkan bahwa perlakuan dengan perlakuan jumlah tanaman berjumlah 5 selama 1 hari, 3 hari, dan 6 hari berturut-turut sebesar 3,187 mg/l, 2,018 mg/l, dan 1,038 mg/l
8.	Zinc Uptake Potential in Water Lettuce (<i>Pistia Stratiotes</i> , Linn)	S. S. Shingadgaon dan B. L. Chavan	Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui potensi Tanaman Apu-Apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dalam penyerapan logam seng (Zn). Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dinyatakan bahwa potensi penyerapan seng (Zn) lebih tinggi diakar daripada ditunas tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i>). Konsentrasi Zn yang digunakan pada penelitian ini antara lain; 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm.
9.	Water lettuce (<i>Pistia stratiotes</i> , Linn) potency as One of Eco-Friendly Phytoextraction Adsorber of Zinc Heavy Metal to Solve Industrial Waste Problem in Indonesia (2012)	Pebri Nurhayati, Sapta Abimanyu, Siti Kaswati, dan Iqbal Raditya Fajar	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui potensi tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i> , Linn) menyelesaikan permasalahan limbah industri di Indonesia. Hasil dari penelitian ini menyebutkan bahwa Tanaman Apu- Apu (<i>Pistia stratiotes</i> , Linn) mampu untuk menyerap logam berat Zn dengan menggunakan dua metode yaitu regenerasi dan non regenerasi. Metode regenerasi mengganti

No	Judul Penelitian	Penulis	Rangkuman
			tanaman Apu- Apu setiap dua hari sekali selama 4 hari. Sedangkan, metode non regenerasi membiarkan tanaman Apu-Apu selama empat hari
10.	Pengaruh variasi lama waktu kontak jumlah Tanaman Kayu Apu (<i>Pistia Stratiotes</i>) terhadap penurunan Kadar Cadmium (Cd) Limbah Cair Batik <i>home industry</i> "X" di Magelang	Amalia Jamil, Yusniar Hanani Darundiati, Nikie Astorina Yunita Dewanti	Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi lama waktu kontak jumlah tanaman kayu apu (<i>Pistia Stratiotes</i>) terhadap penurunan kadar logam berat kadmium (Cd). Hasil dari penelitian ini yaitu lama waktu kontak 8 hari dengan jumlah tanaman kayu apu sebanyak 8 tanaman kayu apu dapat menurunkan kadar logam berat kadmium (Cd) hingga mencapai rata-rata sebesar 0,168 mg/l dengan efisiensi rata-rata sebesar 64,09%
11.	Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) dan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	Ahmad Zubair, Ardi Arsyad, dan Rosmiati	Adapun tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui berapa besar penurunan konsentrasi kadmium (Cd) setelah proses fitoremediasi menggunakan kombinasi eceng gondok dan kayu apu dengan sistem aliran <i>Batch</i> . Hasil dari penelitian ini yaitu Penurunan konsentrasi tertinggi terdapat pada perlakuan 75 % Eceng gondok: 25 % Kayu Apu yaitu hingga 0,111 ppm (97,76 %) dari konsentrasi awal 5 ppm dan 1,091 ppm (89,04 %) untuk

3.6 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini merupakan sebuah acuan yang menjelaskan secara garis besar alur penelitian yang akan dilakukan. Kerangka penelitian ini dibuat bertujuan agar hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Adapun kerangka penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.

3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tahapan dan proses pengambilan data dari percobaan yang dilakukan. Tabel perlakuan sampel dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini

Tabel 3.1 Perlakuan Sampel Penelitian

No	Jumlah Tanaman (X)	Waktu Pengambilan Sampel/ hari (Y)										
		Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
1	0 tanaman (X ₁)	X ₁ ,Y ₀	X ₁ ,Y ₁	X ₁ ,Y ₂	X ₁ ,Y ₃	X ₁ ,Y ₄	X ₁ ,Y ₅	X ₁ ,Y ₆	X ₁ ,Y ₇	X ₁ ,Y ₈	X ₁ ,Y ₉	X ₁ ,Y ₁₀
2	10 tanaman (X ₂)	X ₂ ,Y ₀	X ₂ ,Y ₁	X ₂ ,Y ₂	X ₂ ,Y ₃	X ₂ ,Y ₄	X ₂ ,Y ₅	X ₂ ,Y ₆	X ₂ ,Y ₇	X ₂ ,Y ₈	X ₂ ,Y ₉	X ₂ ,Y ₁₀
3	15 tanaman (X ₃)	X ₃ ,Y ₀	X ₃ ,Y ₁	X ₃ ,Y ₂	X ₃ ,Y ₃	X ₃ ,Y ₄	X ₃ ,Y ₅	X ₃ ,Y ₆	X ₃ ,Y ₇	X ₃ ,Y ₈	X ₃ ,Y ₉	X ₃ ,Y ₁₀

Keterangan:

X₁, Y₀ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-0

X₂, Y₀ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-0

X₃,Y₀ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-0

$\mathbf{X}_I, \mathbf{Y}_1$ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-1

X₁,Y₂ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-2

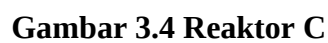
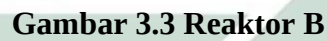
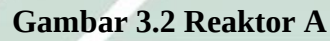
X₁,Y₃ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-3

X₁,Y₄ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-4

X₁,Y₅ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-5

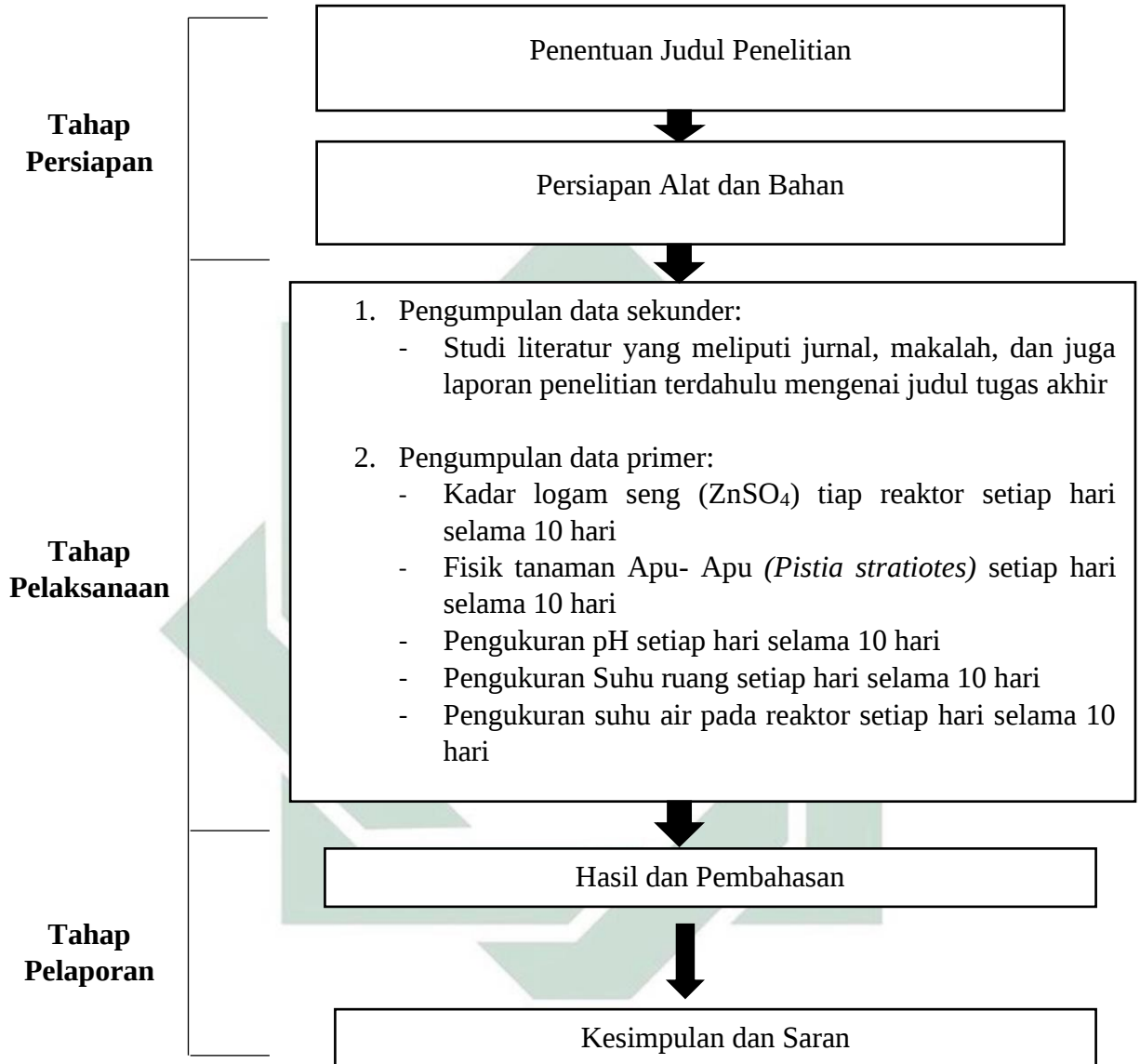
X₁, Y₆ = kontrol dengan pengambilan sampel hari ke-6

Reaktor yang akan digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2 , 3.3 , dan 3.4 ini



3.8 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Adapun beberapa tahapan pelaksanaan penelitian ini adalah dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini:



Gambar 3.5 Bagan Alir Tahapan Penelitian

3.8.1 Tahap Persiapan

Tahap ini merupakan tahap awal yang meliputi tahap penentuan judul penelitian. Judul penelitian berdasarkan studi literatur dan penelitian terdahulu. Setelah ditentukan judul, maka dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan. Dalam persiapan alat dan bahan pada penelitian ini yaitu menggunakan 3 buah reaktor *Batch* (akuarium) yang memiliki panjang 60 cm lebar 35 cm dan tinggi 15 cm, selanjutnya menyiapkan tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*). Kemudian menyiapkan limbah artifisial ($ZnSO_4$) dengan konsentrasi 11,02 ppm yang nantinya akan dituangkan kedalam setiap reaktor yang berisi akuades sebanyak 25 liter. Dokumentasi berupa gambar/foto penelitian dapat dilihat pada [Lampiran I].

3.8.2 Tahap Penelitian

a. Tahap Aklimatisasi

Tahap penelitian ini dimulai dengan aklimatisasi tanaman yang akan digunakan untuk penelitian. Tujuan aklimatisasi tanaman yaitu agar tanaman yang akan digunakan dapat menyesuaikan terhadap lingkungan sebelum ditanam (Hidayati & Puspita, 2011). Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) didiamkan selama 7 hari dengan cara meletakkan Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) pada reaktor yang berisi air bersih (Achmad Zubair, 2015). Sebelum dimasukkan ke dalam reaktor, tanaman Apu- Apu dicuci akarnya dengan menggunakan air bersih yang mengalir untuk menghilangkan lumpur dan kotoran yang masih menempel (Ni'ma dkk., 2014). Pemilihan tanaman Apu- Apu yang digunakan untuk penelitian ini yaitu dengan ciri-ciri sebagai berikut:

1. Panjang Akar : 9-30 cm
2. Jumlah Daun : 9-19 helai
3. Berat basah tanaman : 15-49 gr

Setelah tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) diaklimatisasi, kemudian tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) dimasukkan kedalam reaktor. Reaktor yang A merupakan kontrol, yang mana hanya terdapat limbah artifisial ($ZnSO_4$) saja. Sedangkan pada reaktor B berisi limbah artifisial Zn kemudian ditambahkan tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) sebanyak 10 tanaman, dan pada reaktor C dimasukkan tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) sebanyak 15 tanaman. Pemberian variasi jumlah pada tanaman dilakukan karena perlakuan dengan jumlah tanaman dan waktu detensi yang berbeda memberikan pengaruh secara signifikan terhadap penurunan logam berat (Fitra & Rahayu, 2013). Penanaman tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) pada reaktor B dan C dilakukan selama 10 hari, sampel limbah artifisial seng ($ZnSO_4$) diambil sebanyak 50 ml pada setiap reaktor yang dilakukan setiap hari selama 10 hari, kemudian sampel diujikan di laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya untuk diuji kadar seng (Zn) setelah perlakuan oleh tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) setiap harinya.

Adapun pembuatan larutan sampel Zn adalah sebagai berikut:

3.8.3 Tahap Pelaporan

Tahap ini meliputi tahap analisa data dan membuat laporan hasil penelitian yang telah dilakukan selama kurang lebih 17 hari.

3.9 Analisis Data

Analisa data merupakan menganalisa semua data yang diperoleh mengenai penelitian fitoremediasi air tercemar polutan logam berat seng (Zn) memanfaatkan tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) menggunakan sistem *Batch*. Data- data tersebut berupa kadar penurunan Zn setelah proses fitoremediasi, pH, dan Suhu. Kemudian, setelah data diperoleh maka dianalisa menggunakan metode deskriptif dan statistik. Metode analisa data pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Metode deskriptif

Metode deskriptif digunakan untuk menjelaskan penurunan kadar Zn dengan perlakuan tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) menggunakan variasi jumlah tanaman dalam waktu 10 hari. Metode deskriptif menggunakan grafik dan gambar untuk mempermudah dalam menyusun data. Untuk mengetahui konsentrasi Zn dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Efisiensi(\%) = \frac{(co - ct)}{co} \times 100\%$$

Keterangan:

Ef : efisiensi variasi Tanaman Apu -Apu (*Pistia stratiotes*)

Co : konsentrasi awal sampel

Ct : konsentrasi akhir sampel

Pengambilan sampel limbah artifisial seng (Zn) dilakukan setiap hari pada setiap reaktor. Pengujian sampel dilakukan di laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya untuk pengukuran kadar logam berat seng (Zn) dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) sesuai dengan SNI

dengan mendokumentasi tanaman selama penelitian berlangsung

2. Metode statistik

Analisa data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan uji komparatif. Sebelum dilakukannya uji, prasyarat yang harus dipenuhi adalah uji normalitas dan uji homogenitas. Hasil uji normalitas dan homogenitas berdistribusi normal, untuk uji analisis data yang digunakan untuk penelitian ini yaitu *One Way Anova*.

Simpulan Penelitian

Simpulan penelitian pada penelitian ini adalah:

Terdapat perbedaan penurunan kadar Zn berdasarkan variasi jumlah tanaman

Terdapat perbedaan penurunan kadar Zn berdasarkan variasi jumlah tanaman

Analisa data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan uji komparatif. Sebelum dilakukannya uji, prasyarat yang harus dipenuhi adalah uji normalitas dan uji homogenitas. Hasil uji normalitas dan homogenitas berdistribusi normal, untuk itu uji analisis data yang digunakan untuk penelitian ini yaitu *One Way Anova*.

H1 = adanya perbedaan penurunan kadar Zn berdasarkan variasi jumlah tanaman

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji fitoremediasi didahului dengan melakukan aklimatisasi tumbuhan yang bertujuan agar tanaman yang akan digunakan untuk penelitian mampu beradaptasi dengan lingkungan baru. Sebelum digunakan dalam penelitian, terlebih dahulu dilakukannya aklimatisasi terhadap tanaman Apu-Apu. Aklimatisasi ini bertujuan untuk menetralkan tanaman Apu-Apu dari media sebelumnya. Caranya adalah membersihkan tanaman Apu-Apu dari lumpur dan kotoran yang masih menempel, kemudian menyiapkan bak penampungan yang sudah diisi oleh air. Memilih tanaman Apu-Apu yang sehat dan segar kemudian memasukkan kedalam bak penampungan. Aklimatisasi dilakukan selama seminggu dengan sistem pencahayaan alami (sinar matahari) (Ni'ma dkk., 2014). Pada tahap aklimatisasi, kondisi tanaman diharapkan dapat dikatakan stabil yakni dapat tumbuh subur dan tidak mati. Aklimatisasi pada penelitian ini yaitu dengan cara penanaman tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) pada bak plastik yang berukuran panjang 48 cm lebar 35 cm dan tinggi 15 cm berisi air bersih. Wadah bak plastik yang digunakan sebanyak 3 buah. Sebelum tanaman dimasukkan kedalam wadah bak plastik, tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) dicuci akarnya dengan air mengalir. Tujuannya agar kotoran yang menempel pada akar tanaman dapat hilang. Aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan selama 7 hari. Tahap aklimatisasi tanaman pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Tahap Aklimatisasi Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*)

Waktu Aklimatisasi (Hari)	Kondisi Tanaman pada Tahap Aklimatisasi	Gambar
1	Pada hari ke- 1, kondisi tanaman Apu- Apu segar dengan daun yang berwarna hijau cerah, dengan akar berwarna kecoklatan dan menjuntai	
2	Pada hari ke- 2, tanaman Apu-Apu masih terlihat segar, baik daun maupun akarnya	
3	Pada hari ke-3, daun dan akar tanaman Apu- Apu terlihat masih segar dengan akar menjuntai panjang didalam air	
4	Pada hari ke-4, perubahan fisik tanaman Apu- Apu tidak mengalami perubahan yang drastis dari hari sebelumnya, yakni daun masih terlihat segar dan akar yang masih panjang menjuntai	

kering lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua, sehingga tanaman tidak dapat menyerap logam secara optimal (Jamil dkk., 2016).

4.2. Hasil Penelitian

Penelitian yang dilakukan selama kurang lebih 17 hari dengan judul “Fitoremediasi Logam Berat Seng (Zn) Dengan Memanfaatkan Tanaman Apu- Apu (*Pistia stratiotes*) Menggunakan Sistem *Batch*” bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman Apu- Apu dalam menyerap logam berat Zn selama 10 hari. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari selama 10 hari dan diujikan di Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya. Langkah yang pertama dilakukan yaitu membuat larutan limbah artifisial dengan konsentrasi 11,02 ppm dengan cara melarutkan serbuk $ZnSO_4$ sebanyak 4,34 gr dengan larutan akuades sebanyak 1000 ml. Kemudian, menyiapkan larutan akuades sebanyak 25 liter pada setiap reaktor yaitu reaktor A, reaktor B, dan reaktor C. Setelah semua reaktor dituang larutan akuades 25 liter, maka larutan limbah artifisial Zn dituangkan pada masing-masing reaktor sebanyak 250 ml. Setelah homogen, maka reaktor B dan C diisi tanaman. Reaktor A merupakan kontrol, yang mana tidak ada penanaman tanaman Apu- Apu didalamnya, sedangkan reaktor B ditanami tanaman Apu- Apu sebanyak 10 tanaman, dan reaktor C ditanami tanaman Apu- Apu sebanyak 15 tanaman. Setelah dilakukannya penanaman, maka dilakukannya pengamatan fisik dan pengamatan lingkungan setiap harinya selama 10 hari. Pengambilan sampel limbah setelah perlakuan dengan tanaman Apu- Apu dilakukan setiap harinya dengan cara mengambil sampel pada setiap reaktor sebanyak 50 ml dimasukkan kedalam botol kaca berwarna coklat untuk dibawa menuju laboratorium untuk diujikan. Hasil uji kadar Zn Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya dapat dilihat pada **[Lampiran II]**. Kondisi fisik tanaman Apu- Apu pada saat penelitian dapat dilihat pada tabel 4.2 dan perbedaan kondisi fisik tanaman Apu- Apu sebelum dan sesudah penelitian dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.2 Kondisi Fisik Tanaman Apu- Apu (*Pistia startiotes*) pada Reaktor B (10 Tanaman)

Waktu Penelitian (Hari)	Kondisi Fisik Tanaman	Gambar
0	Pada hari ke-0, kondisi tanaman Apu- Apu pada reaktor B terlihat segar, dengan daun berwarna hijau, dan akar panjang yang mengambang bebas. Berat basah tanaman didalam reaktor B rata-rata sebesar 37 gr. pH pada reaktor B menunjukkan angka 5,7 dengan suhu air 27C, dan suhu ruangan 30° C	
1	Pada hari ke-1 kondisi tanaman Apu- Apu tidak berbeda jauh pada hari ke-0. Pada hari ke-1, pH menunjukkan angka 5,5, dengan suhu air 27C, dan suhu ruangan 29° C	
2	Pada hari ke-2, tanaman Apu- Apu terlihat segar, dengan akar panjang menjuntai kebawah, daun terlihat dominan berwarna hijau. pH pada hari ke-2 sebesar 5,9 suhu ruangan 29° C, suhu air 29° C	

Waktu Penelitian (Hari)	Kondisi Fisik Tanaman	Gambar
3	Pada hari ke-3 tanaman Apu-Apu terlihat segar, dengan daun berwarna hijau tetapi terlihat beberapa daun terdapat bintik-bintik berwarna kuning. pH 5,8 suhu air 29° C suhu ruangan 30° C	
4	Pada hari ke-4 terlihat beberapa daun mulai berubah berwarna kuning. Daun yang berwarna kuning dominan yang terletak menempel pada air. Akar masih terlihat menjuntai panjang dan mengambang pada air. pH air pada hari ke-4 sebesar 5,5, suhu air 30° C dan suhu ruangan 31° C	
5	Pada hari ke-5 tanaman Apu- Apu mengalami kerusakan pada daun, beberapa daun terlihat turun kebawah, sedangkan akar tanaman Apu-Apu terlihat beberapa patah. pH air pada hari ke-5 yaitu sebesar 5,5, suhu air 29° C, sedangkan suhu ruangan 28° C	
6	Pada hari ke-6 kondisi tanaman Apu- Apu mengalami kerusakan yang lebih dibandingkan dengan kondisi tanaman Apu- Apu pada hari ke-5. Daun terlihat banyak yang berwarna kuning, dan ada juga yang tumbuh daun daun kecil sedangkan pada akarnya terlihat terdapat akar baru yang tumbuh berwarna putih. Suhu air 29° C, pH air 5,7, dan suhu ruangan 29° C	

**Tabel 4.3 Kondisi Fisik Tanaman Apu- Apu (*Pistia startiotes*) pada Reaktor C
(15 Tanaman)**

Waktu Penelitian (Hari)	Kondisi Fisik Tanaman	Gambar
0	Pada hari ke-0, kondisi tanaman Apu- Apu pada reaktor C terlihat segar, dengan daun berwarna hijau, dan akar panjang yang mengambang bebas. Berat basah tanaman yang terdapat pada reaktor C rata rata sebesar 32 gr. pH air pada reaktor C menunjukkan angka 5,8 dengan suhu air 28° C, dan suhu ruangan 30° C	
1	Pada hari ke-1 kondisi tanaman Apu- Apu masih terlihat segar dengan daun yang berwarna hijau dan akar panjang yang mengambang bebas didalam air. Suhu air sebesar 27° C, pH air 5,7 dan suhu ruangan sebesar 29° C	
2	Pada hari ke-2, kondisi tanaman Apu- Apu tidak jauh berbeda dari hari ke-1. Suhu air sebesar 28° C, suhu ruangan 29° C, serta pH air 5,6	

Waktu Penelitian (Hari)	Kondisi Fisik Tanaman	Gambar
6	Pada hari ke -6 kondisi tanaman Apu- Apu mengalami kerusakan yang lebih dibandingkan dengan kondisi tanaman Apu- Apu pada hari ke-5. Daun terlihat banyak yang berubah warna menjadi kuning, kering. Sedangkan pada akarnya banyak akar yang rontok. pH air pada hari ke-6 adalah 5,8, suhu air 29° C, dan suhu ruangan 29° C	
7	Pada hari ke-7, kondisi tanaman Apu- Apu terlihat tidak jauh berbeda dari kondisi pada hari sebelumnya yakni pada hari ke-6. Suhu ruangan pada hari ke-7 adalah 31°C, pH air 5,8, dan suhu air 29°C	
8	Pada hari ke-8. Terlihat daun nya banyak yang berwarna kuning, menipis, dan lepas dari badan tanamannya. Suhu air pada hari ke-8 sebesar 29° C, pH sebesar 6,0, dan suhu ruangan sebesar 32° C	
9	Pada hari ke-9 perubahan morfologi tanaman Apu- Apu terlihat banyak mengalami perubahan dari daun yang semula berwarna hijau menjadi kuning, daun yang segar menjadi layu, dan akar tanaman yang rontok dan jatuh ke dasar reaktor. Suhu air pada hari	

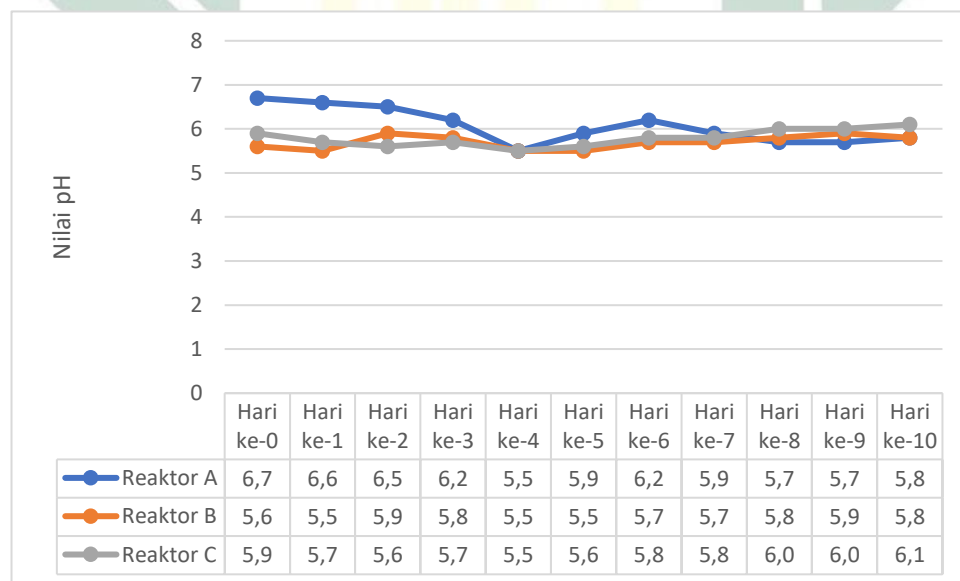
penelitian, akar tanaman Apu- Apu menjadi lebih pendek yang berkisar antara 9-27 cm. Jumlah daunnya juga mengalami perubahan, yaitu dari 9-19 helai menjadi 8-15 helai. Hal ini dikarenakan stres logam berat, terdapat tanaman Apu- Apu yang daunnya mengering dan tidak tumbuh baru. Hal ini bisa terjadi dikarenakan keberadaan logam berat yang menghambat pertumbuhan tanaman sebagai respon positif terhadap stres logam berat. Stres logam berat menghambat pertumbuhan tanaman bahkan kematian tanaman. Stres logam berat negatif tanaman (Mangkoediharjo dan Samudro 2010 *dalam* Samudro et al., 2018). Penurunan metabolisme yang terjadi pada tanaman Apu- Apu (Mangkoediharjo dan Samudro 2010 *dalam* Samudro et al., 2018) dalam konsentrasi yang tinggi dapat mengakibatkan jaringan akar rusak, hal ini akan berdampak pada fitokelatin (Ulfin 2009). Fitokelatin merupakan enzim yang ada pada tanaman yang berfungsi untuk mengikat logam. Kerontokan yang terjadi pada akar dan daun menyebabkan terjadinya proses klorosis. Klorosis merupakan rusaknya jaringan tanaman yang menyebabkan terhambatnya sintesis klorofil sehingga daun menjadi kuning dan kemudian menunjukkan gejala nekrosis.

Proses fitoremediasi dipengaruhi oleh beberapa kondisi lingkungan, seperti suhu, pH, dan cahaya matahari (Budyono dkk., 2019). Dalam penelitian, tidak hanya kondisi fisik tanaman saja yang diamati, tetapi kondisi lingkungan pun juga diamati. Pengamatan suhu ruangan dilakukan selama 10 hari menggunakan alat *thermometer* yang dipasang di dalam *growth chamber*. Hasil dari pengamatan suhu ruangan pada saat penelitian menunjukkan bahwa suhu ruangan berada di antara 25°C hingga 30°C.

Tabel 4.6 Nilai pH pada saat penelitian

Hari	Nilai pH		
	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C
Hari ke-0	6,7	5,6	5,9
Hari ke-1	6,6	5,5	5,7
Hari ke-2	6,5	5,9	5,6
Hari ke-3	6,2	5,8	5,7
Hari ke-4	5,5	5,5	5,5
Hari ke-5	5,9	5,5	5,6
Hari ke-6	6,2	5,7	5,8
Hari ke-7	5,9	5,7	5,8
Hari ke-8	5,7	5,8	6,0
Hari ke-9	5,7	5,9	6,0
Hari ke-10	5,8	5,8	6,1

Sumber: Hasil Pengamatan, 2020



Gambar 4.1 Grafik pH

(Sumber: Hasil Pengamatan, 2020)

Berdasarkan tabel 4.6 dan gambar 4.1 diatas, nilai pH pada saat penelitian memiliki nilai yang berkisar antara 5,5-6,7; yang mana pada nilai tersebut tanaman Apu-Apu masih dapat hidup hingga akhir penelitian. Nilai

pH optimum untuk pertumbuhan tanaman Apu-Apu berkisar antara 6,5-7,0; dalam hal ini, dapat disimpulkan bahwa tanaman Apu-Apu dapat tumbuh meskipun tidak pada pH optimum menurut Layla (2008). Nilai pH pada saat penelitian mengalami kenaikan dan penurunan. Nilai pH mengalami penurunan pada hari ke-5 pada semua reaktor. Pada umumnya, unsur hara akan mudah diserap tumbuhan pada pH 6-7, karena pada pH tersebut sebagian besar unsur hara akan mudah larut dalam air (Argita dan Mangkoedihardjoe., 2016 dalam Istighfari dkk., 2018). Kenaikan pH dapat disebabkan oleh adanya aktivitas fotosintesis oleh tanaman fitoremediator. Proses fotosintesis merubah CO_2 menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ yang memerlukan hidrogen dan energi. Hidrogen didapatkan dari H^+ yang diperoleh dari air limbah dan udara. Sehingga pada pengambilan H^+ mengakibatkan pH mengalami kenaikan (Syafudin dkk., 2015). Umumnya, pada pH yang semakin tinggi, maka kestabilan akan bergeser dari karbonat ke hidroksida. Hidroksida ini sangat mudah sekali untuk membentuk ikatan permukaan dengan partikel-partikel yang terdapat pada badan perairan (Jamil dkk., 2016). Jumlah daun yang mengalami nekrosis semakin banyak seiring meningkatnya juga konsentrasi limbah, sehingga bagian nekrosis pada daun yang masuk ke dalam media tumbuh terdekomposisi dan menghasilkan asam humat yang dapat menyebabkan pH semakin menurun (Azis dkk., 2014). Nilai pH yang tidak normal akan dapat mengganggu metabolisme tumbuhan yang berakibat tumbuhan air tersebut mati (Istighfari dkk., 2018).

Pertumbuhan dan penyerapan tanaman Apu-Apu dapat dipengaruhi oleh suhu. Suhu optimum untuk pertumbuhan Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) berkisar antara 25°C-30°C. Grafik suhu pada saat penelitian dapat dilihat pada tabel 4.7 dan pada gambar 4.2 dibawah ini.

4.2.3 Perubahan Suhu Ruang

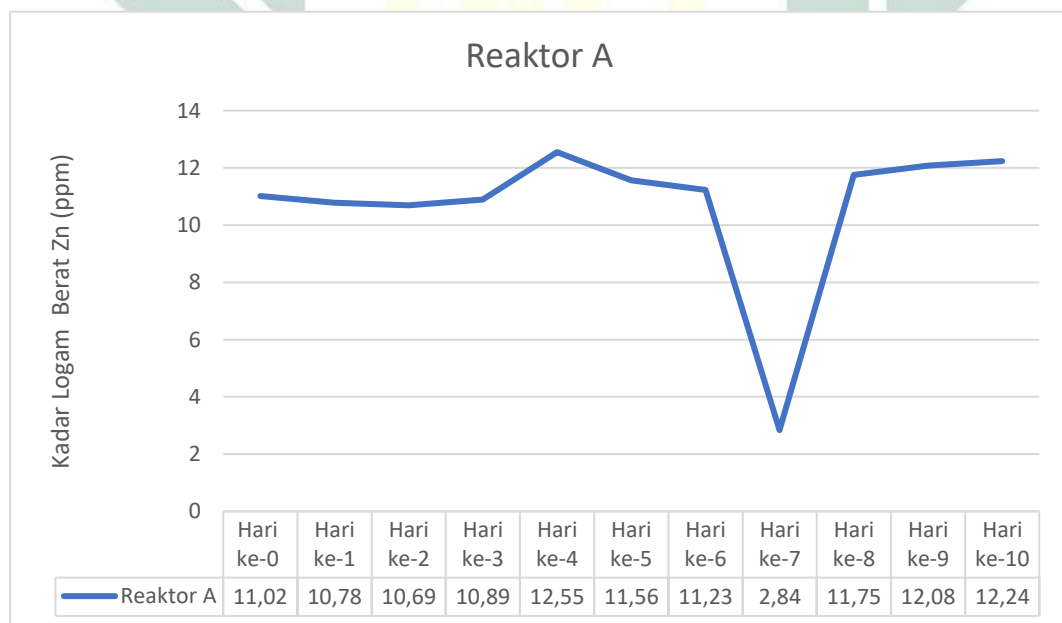
Tabel 4.8 Nilai Suhu Ruang Pada Saat Penelitian

Sumber: Hasil Pengamatan, 2020

Tabel 4.9 Nilai Kadar Zn pada Reaktor A, Reaktor B, dan Reaktor C

Hari	Nilai kadar Zn (mg/l)		
	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C
Hari ke-0	10,66	10,48	11,94
Hari ke-1	10,78	7,31	6,12
Hari ke-2	10,69	3,47	5,14
Hari ke-3	10,89	6,53	5,74
Hari ke-4	12,55	5,16	3,12
Hari ke-5	11,56	5,01	2,99
Hari ke-6	11,23	3,39	2,90
Hari ke-7	2,84	3,28	2,63
Hari ke-8	11,75	0,89	2,34
Hari ke-9	12,08	3,08	2,26
Hari ke-10	12,24	3,02	2,28

Sumber: Hasil Analisa, 2020

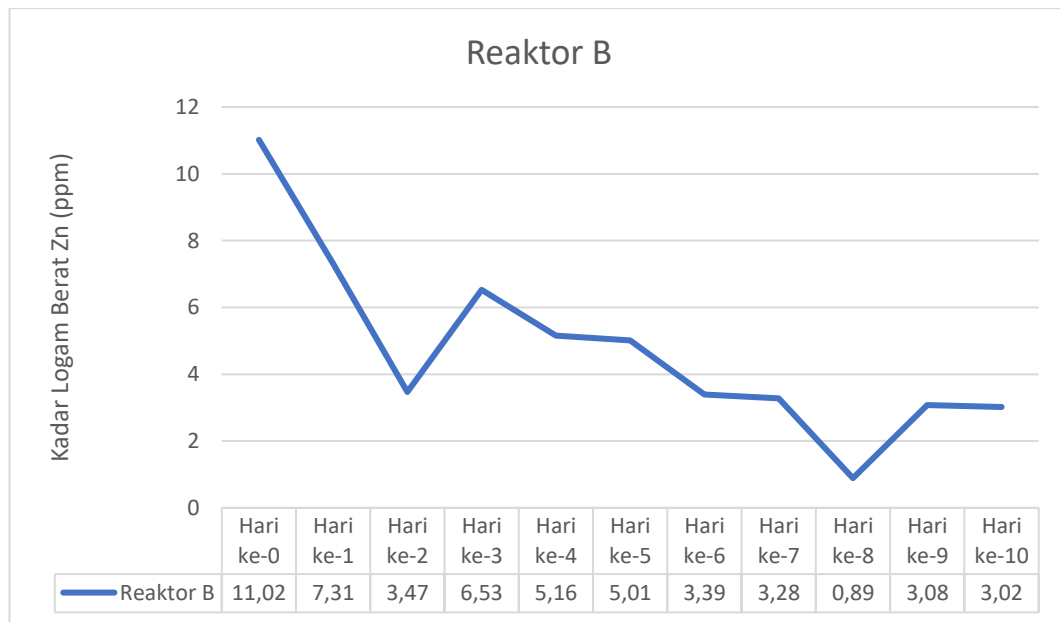


Gambar 4.4 Grafik Penurunan Kadar Zn pada Reaktor A

(Sumber: Hasil Analisa,2020)

Berdasarkan gambar 4.4 diatas, pada reaktor A yaitu pada reaktor kontrol, penurunan kadar Zn tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Hal ini kemungkinan besar dikarenakan pada perlakuan kontrol tidak terdapat tanaman (Rosmiati dkk.,

2014). Untuk itu, tidak ada proses penyerapan logam Zn pada reaktor kontrol. Hanya saja pada hari ke-7 terlihat pada reaktor kontrol mengalami penurunan yang tidak wajar. Untuk mengetahui grafik penurunan kadar logam Zn pada reaktor B dan reaktor C dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Penurunan Kadar Zn pada Reaktor B

(Sumber: Hasil Analisa, 2020)

Berdasarkan gambar 4.5 diatas, reaktor B pada hari ke-0 memiliki konsentrasi awal logam berat Zn sebesar 11,02 ppm. Pada hari ke-1 konsentrasi pada reaktor B mengalami penurunan sebesar 3,71 ppm sehingga konsentrasi logam berat Zn pada hari ke-1 adalah 7,31 ppm. Pada hari ke-2 konsentrasi logam berat Zn juga mengalami penurunan sebesar 3,84 ppm sehingga konsentrasi logam berat Zn pada hari ke-2 adalah 3,47 ppm. Pada hari ke-3 konsentrasi logam berat Zn mengalami fluktuasi sebesar 3,06 ppm. Pada hari ke-4 konsentrasi logam berat Zn mengalami penurunan sebesar 1,37 ppm sehingga pada hari ke-4 nilai konsentrasi logam berat Zn adalah 5,16 ppm. Pada hari ke-5 nilai konsentrasi logam berat Zn tidak berbeda jauh dari nilai konsentrasi sebelumnya yakni 5,01 ppm. Pada hari ke-6 konsentrasi logam berat Zn mengalami penurunan sebesar 1,62 ppm, sehingga pada hari ke-6 konsentrasi logam berat Zn adalah 3,39 ppm. Pada hari ke-7

Penurunan konsentrasi logam berat Zn dapat dilakukan dengan media menggunakan Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai mediator. Mekanisme penyerapan Tanaman Apu-Apu secara fitoekstraksi dan rizofiltrasi. Fitoekstraksi merupakan proses Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) menarik polutan dan diakumulasi. Sedangkan rizofiltrasi adalah proses pengendapan kontaminan menempel pada akar (Utami dkk., 2017). Penyisihan logam berat faktor B yaitu pada hari ke-8 sedangkan penyisihan logam berat faktor C yaitu pada hari ke-9. Pada hari ke-8 yakni pada reaksi menyisihkan logam berat Zn sebesar 83,85 % sedangkan pada hari ke-9 faktor C mampu menyisihkan logam berat Zn sebesar 79,50%. Rizofiltrasi logam berat oleh tanaman Apu-Apu serupa dengan per-

4.4 Efisiensi Removal Kadar Zn

Penurunan konsentrasi logam berat Zn dapat dilakukan dengan cara fitoremediasi menggunakan Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai tanaman fitoremediator. Mekanisme penyerapan Tanaman Apu-Apu secara alami yakni tahap fitoekstraksi dan rhizofiltrasi. Fitoekstraksi merupakan proses dimana tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) menarik polutan dan diakumulasi dalam akar. Sedangkan rhizofiltrasi adalah proses pengendapan kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar (Utami dkk., 2017). Penyisihan logam berat Zn tertinggi pada reaktor B yaitu pada hari ke-8 sedangkan penyisihan logam berat Zn tertinggi pada reaktor C yaitu pada hari ke-9. Pada hari ke-8 yakni pada reaktor B mampu menyisihkan logam berat Zn sebesar 83,85 % sedangkan pada hari ke-9 yakni pada reaktor C mampu menyisihkan logam berat Zn sebesar 79,50%. Penurunan konsentrasi logam berat oleh tanaman Apu-Apu serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Zubair dkk (2014). Pada penelitiannya, tanaman Apu-Apu mampu menyisihkan logam kadmium (Cd) hingga 97,76% pada konsentrasi awal 5 ppm dan 89,04% pada konsentrasi awal 10 ppm. Tingkat ambang toksisitas Zn tergantung pada jenis spesies tanaman, media pertumbuhan atau konsentrasi kontaminasi Zn dalam media pertumbuhan dan lama waktu kontak (Shingadgaon & Chavan, 2016). Efisiensi removal logam Zn menggunakan Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) pada reaktor B dan C dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1.	Ph	mg/l	6,0-9,0
2.	TSS	mg/l	150
3.	BOD ₅	mg/l	50
4.	COD	mg/l	100
5.	Sulfida (H ₂ S)	mg/l	1
6.	Amoniak Bebas (NH ₃ -N)	mg/l	20
7.	Phenol	mg/l	1
8.	Minyak dan lemak	mg/l	15
9.	Detergen an ionic (MBAS)	mg/l	10
10.	Cadmium (Cd)	mg/l	0,1
11.	Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/l	0,5
12.	Krom Total (Cr)	mg/l	1
13.	Tembaga (Cu)	mg/l	2
14.	Timbal (Pb)	mg/l	1
15.	Nikel (Ni)	mg/l	0,5
16.	Seng (Zn)	mg/l	10
17.	Volume Air Limbah maksimum	0,8 L per detik per Ha Lahan Kawasan Terpakai	

4.5 Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) Terhadap Penyerapan Logam Berat Zn

[illegible]

		Hasil Uji Zn
N		33
Normal Parameters ^a	Mean	6.5833
	Std. Deviation	3.99809
Most Extreme Differences	Absolute	.211
	Positive	.206
	Negative	-.211
Kolmogorov-Smirnov Z		1.215
Asymp. Sig. (2-tailed)		.105

Gambar 4.7 Hasil Uji Normalitas

Berdasarkan gambar 4.7 diatas, hasil uji normalitas tersebut diketahui nilai signifikansi Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar $0,105 > 0,05$. Maka sesuai dengan dasar pengambilan keputusan dalam uji normalitas *Kolmogorov Smirnov Test*, dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal. Setelah uji normalitas dilakukan, selanjutnya melakukan uji homogenitas yang dilakukan sebagai syarat dalam analisis komparatif yakni uji anova. Asumsi yang mendasari dalam uji anova bahwa variasi dari beberapa populasi adalah sama atau homogen. Hasil uji homogenitas dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.392	2	30	.679

Gambar 4.8 Hasil Uji Homogenitas

[illegible]

data pada penelitian ini, dikarenakan data ya
si normal dan bersifat homogen. Hasil uji *One Way*
a gambar 4.9 dibawah ini

Hasil Uji Zn

Gambar 4.9 Hasil Uji One Way Anova

(Sumber: Hasil Analisa, 2020)

arkan gambar 4.9 diatas, analisis data dengan menggunakan *One Way Anova* menghasilkan nilai signifikansi (Sig.) $0,000 < 0,05$; sehingga pada perlakuan ini diambil kesimpulan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima, yang berarti bahwa variasi jumlah tanaman memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil panen.

(Sumber: Hasil Analisa, 2020)

(Sumber: Hasil Analisa, 2020)

ambar 4.9 diatas, analisis data dengan menggunakan One-Sample T-Test dengan nilai signifikansi (Sig.) $0,000 < 0,05$; sehingga pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima, yang berarti bahwa jumlah tanaman memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil panen.

Hasil analisa statistik pada penelitian ini, sejalan dengan yang dilakukan oleh Khasanah dkk (2018) bahwa analisa data dengan menggunakan *One Way Anova* menghasilkan nilai p lebih kecil dari 0,05 sehingga secara statistik dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan penurunan kadar logam Hg yang signifikan pada kelompok K, kelompok X₁, kelompok X₂, dan kelompok X₃.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini yang berjudul Fitoremediasi Logam Berat Seng (Zn) Dengan Memanfaatkan Tanaman Apu- Apu (*Pistia Stratiotes*) Menggunakan Sistem *Batch*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- ## 5.2 Saran

1. Perlu dilakukannya penelitian lanjutan dengan variasi berat tanaman maupun umur tanaman Apu-Apu dan juga lama waktu kontak
2. Perlu dilakukannya penelitian lanjutan mengenai kadar logam Zn dalam bagian (akar dan daun) pada tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*)

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., Yavaş, İ., Ünay, A., Abdel-Daim, M. M., Bin-Jumah, M., Hasanuzzaman, M., & Kalderis, D. (2020). Application Of Floating Aquatic Plants In Phytoremediation Of Heavy Metals Polluted Water: A Review. *Sustainability*, 12(5), 1927. <https://doi.org/10.3390/Su12051927>
- Amelia, F., Ramses, & Ismarti. (2015). *Kandungan Logam Berat Pb Dan Cd Pada Sedimen Dan Kerang Di Perairan Batam*. 10.
- Apdy A.R. (2016). *Kadar Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb), Merkuri (Hg) Dan Seng (Zn) Pada Tanah Di Sekitar Rumah Susun Pantai Losari Kota Makassar*.
- Azis, Sri Rahma, I., & Yelmida. (2014). *Fitoremediasi Zn Dari Limbah Cair Pabrik Pengolahan Karet Dengan Pemanfaatan Pistia Stratiotes L.* 1.
- Budiyono, Wahyuningsih, N. E., & Rahayuningtyas, I. (2018). *Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak Dan Berat Tanaman Apu-Apu (Pistia Stratiotes L.) Terhadap Kadar Timbal Pada Irigasi Pertanian*. 6.
- Busran, T. P., & Rachmatiah, I. (2010). *Pengaruh Penambahan Logam Zn Pada Serapan Logam Cu Oleh Tanaman Kiapu (Pistia Stratiotes L) Pada Air*. 16, 12.
- Darmono. (1995). *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Ui-Press.
- Darpito, & Nuraini, I. (2015). *Pengaruh Pembubuhan Kaporit Terhadap Parameter Ph Dan Amonia Effluent Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit*.
- Dwi, S., Kusumawati, E., & Purnama, M. S. (2018). *Fitoremediasi Menggunakan Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Dalam Kolam Bekas Tambang Batubara Terhadap Penyerapan Logam Mangan (Mn) Dan Kadmium (Cd)*. 1.
- Elystia, S., & Christian, W. Y. (2019). *Pengaruh Penambahan Medium Nutrient Broth (Nb) Terhadap Pertumbuhan Bacillus Sp. Pada Bioremediasi Bod, Cod, Minyak Dan Lemak Di Air Permukaan*. 6.
- Febri Nurfitriana. (2019). *Fitoremediasi Air Tercemar Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Apu-Apu (Pistia Stratiotes) Dengan Sistem Kontinyu*.

- Fitra, A., & Rahayu, Y. S. (2013). *Kemampuan Fitoremediasi Typha Latifolia Dalam Menurunkan Kadar Logam Kadmium (Cd) Tanah Yang Tercemar Lumpur Lapindo Di Porong Sidoarjo*. 2(3), 5.
- Gunawan, R., Akkas, E., & D. Arung, C. (2015). *Studi Efektifitas Pada Penurunan Kadmium (Cd) Terhadap Seng (Zn) Dan Tembaga (Cu) Dengan Metode Elektrolisis*.
- Hatmanto, J. (2006). *Analisis Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pada Industri Tekstil (Studi Kasus Pt. Iskandar Indah Printing Textile Surakarta)*.
- Hidayati, N. V., & Puspita, U. R. (2011). *Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) Yang Terdapat Pada Limbah Cair Industri Batik*. 39.
- Istighfari, S., Dermawan, D., & Mayangsari, N. E. (2018). *Pemanfaatan Kayu Apu (Pistia Stratiotes) Untuk Menurunkan Kadar Bod, Cod, Dan Fosfat Pada Air Limbah Laundry*. 2623, 6.
- Izzah, I., Supriatno, & Wardiah. (2017). *Kiambang (Pistia Stratiotes) Sebagai Agen Fitoremediasi Logam Krom (Cr)*.
- Jamil, A., Darundiati, Y. H., & Dewanti, N. A. Y. (2016). *Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak Dan Jumlah Tanaman. Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4, 8.
- Karamah, E. F., Bismo, S., & Simbolon, H. M. (2010). *Pengaruh Ozon Dan Konsentrasi Zeolit Terhadap Kinerja Proses Pengolahan Limbah Cair Yang Mengandung Logam Dengan Proses Flotasi. Makara Of Technology Series*, 12(1). <https://doi.org/10.7454/Mst.V12i1.522>
- M. Faizal, Mardalena, & A. Napoleon. (2018). *The Absorption Of Iron (Fe) And Manganese (Mn) From Coal Mining Wastewater With Phytoremediation Technique Using Floating Fern (Salvinia Natans), Water Lettuce (Pistia Stratiotes) And Water Hyacinth (Eichornia Crassipes)*. 7.
- Mukhtar. (2013). *Metode Praktis Penelitian Deskriptif Kualitatif*. Jakarta: GP Press Group
- Munawwaroh, A., & Pangestuti, A. A. (2018). *Analisis Morfologi Dan Anatomi Akar Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Akibat Pemberian Berbagai Konsentrasi Kadmium (Cd)*. 7(2), 12.

- Ni'ma, N., Widyorini, N., & Ruswahyuni. (2014). *Kemampuan Apu-Apu (Pistia Sp.) Sebagai Bioremediator Limbah Pabrik Pengolahan Hasil Perikanan (Skala Laboratorium)*. 3, 8.
- Nur Shobah, A., & Novi, C. (2019). *Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan Hydrilla Sp. Pada Limbah Industri Kertas*.
- Oktaviani, R., & Rachmadiarti, F. (T.T.). *Potensi Pistia Stratiotes Dan Spirogyra Sebagai Agen Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Perairan*. 3(3), 6.
- Palar, H. (2004). *Pencemaran Dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta.
- Putra, Adewirli, & Fitri, W. E. (2016). Karakterisasi Pertukaran Ion Timbal (Ii) Dengan Kalsium Pada Proses Biosorpsi Alga Hijau Cladophora Fracta. *Jurnal Iptek Terapan*, 10(2). <https://doi.org/10.22216/Jit.2016.V10i2.421>
- Rahadian, R., Sutrisno, E., & Sumiyati, S. (2017). *Efisiensi Penurunan Cod Dan Tss Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Studi Kasus: Limbah Laundry*. 6.
- Rivania. (2019). *Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Adsorben Alami Pada Air Limbah Industri* [Preprint]. Ina-Rxiv. <https://doi.org/10.31227/Osf.io/Jw76n>
- Rosmiati, Arsyad, A., & Zubair, A. (2014). *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dan Kayu Apu (Pistia Stratiotes) Dengan Aliran Batch*.
- S. N. Phukan, P. P. (2015). *Heavy Metal Uptake Capacity Of Hydrilla Verticillata: A Commonly Available Aquatic Plant*.
- Said, N. I. (2010). *Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni Dan Zn) Di Dalam Air Limbah Industri*. 6(2), 13.
- Shingadgaon, S. S., & Chavan, B. L. (2016). *Zinc Uptake Potential In Water Lettuce (Pistia Stratiotes, Linn)*. 7(4), 8.
- Sidauruk, L., & Sipayung, P. (2015). *Fitoremediasi Lahan Tercemar Di Kawasan Industri Dengan Tanaman Hias*. Vol.2, No. 2, 178–186.
- Suprihatin, & Indrasti, N. S. (2011). *Penyisihan Logam Berat Dari Limbah Cair Laboratorium Dengan Metode Presipitasi Dan Adsorpsi*. *Makara Of Science Series*, 14(1). <https://doi.org/10.7454/Mss.V14i1.473>

- Syafrudin, Zaman, B., & Widya, C. (2015). *Pengaruh Waktu Tinggal Dan Jumlah Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Terhadap Penurunan Konsentrasi Bod, Cod Dan Warna*.
- Utami, L. D., . N., & Rahayu, U. (2017). Kemampuan Tanaman Apu- Apu (Pistia Stratiotes L.) Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Nikel (Ni) Limbah Cair. *Gema Lingkungan Kesehatan*, 15(1).
<https://doi.org/10.36568/Kesling.V15i1.576>
- Widowati, W., Sastiono, A., & Jusuf R, R. (2008). *Efek Toksik Logam*. Andi.
- Zubair, A., & Mahiyatun, W. O. (2015). *Fitoremediasi Logam Cd Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok Dan Kayu Apu Dengan Aliran Kontinyu*.
- Zulkoni, A., Rahyuni, D., & Nasirudin. (2018). Pemangkasan Akar Dan Inokulasi Jma Sebagai Upaya Peningkatan Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri Akibat Penambangan Emas Oleh Tanaman Jati Di Kokap Kulon Progo Yogyakarta. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 24(1), 17.
<https://doi.org/10.22146/Jml.23071>