

**Efektifitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus
Palaefolius*) Untuk Menyisihkan Logam
Aluminium (Al) Pada Lumpur Instalasi
Pengolahan Air di PDAM Tanjung Sari
Kecamatan Jambi Timur**

TUGAS AKHIR



CATUR ENDAH KARTIKAWATI
1400825201017

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI**

JAMBI, 2019

**Efektifitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus
Palaefolius*) Untuk Menyisihkan Logam
Aluminium (Al) Pada Lumpur Instalasi
Pengolahan Air di PDAM Tanjung Sari
Kecamatan Jambi Timur**

TUGAS AKHIR

Karya Ilmiah Sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI**

JAMBI, 2019

HALAMAN PERSETUJUAN

**Efektifitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) Untuk
Menyisihkan Logam Aluminium (Al) Pada Lumpur Instalasi
Pengolahan Air di PDAM Tanjung Sari Kecamatan Jambi Timur**



Dengan ini Dosen Pembimbing Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi, menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul dan Penyusun sebagaimana tersebut diatas telah disetujui sesuai dengan prosedur, ketentuan, kelaziman yang berlaku dan dapat diajukan dalam ujian Tugas Akhir dan komprehensif Program Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari.

Jambi, 20 Februari 2019

Pembimbing I

Pembimbing II

MONIK KASMAN. ST. M.Eng. Sc

NIDN. 0003088001

ANGGRIKA RIYANTI, ST. M.Si

NIDN. 1010028704

HALAMAN PENGESAHAN

EFEKTIFITAS TANAMAN MELATI AIR (ECHINODORUS PALAEFOLIUS) UNTUK MENYISIHKAN LOGAM ALUMINIUM (Al) PADA LUMPUR INSTALASI PENGOLAHAN AIR DI PDAM TANJUNG SARI KECAMATAN JAMBI TIMUR

Tugas akhir ini telah dipertahankan pada Sidang Tugas Akhir Komprehensif Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari

Nama : Catur Endah Kartikawati
NIM : 1400825201017
Hari/ Tanggal : Rabu, 13 Februari 2019
Jam : 10.30 s/d selesai
Tempat : Ruang Sidang Fakultas Teknik Universitas Batanghari

Jabatan	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Monik Kasman, ST, M.Eng. Sc	_____
Sekretaris	: Anggrika Riyanti, ST, M. Si	_____
Anggota	: Hadrah, ST, MT	_____
Anggota	: Ira Galih, ST, M. Si	_____

Disahkan oleh

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi
Teknik Lingkungan

Dr.Ir.H Fakhrul Rozi Yamali, ME

NIDN. 1015128501

Monik Kasman, ST, M.Eng. Sc

NIDN. 0003088001

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Nama yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Catur Endah Kartikawati
Tempat/Tanggal Lahir : Jambi, 22 Januari 1997
Nim : 1400825201017
Alamat : Jl. Majapahit Rt 02 Perumahan Guru 52 No. 20
Kel. Payo Selincah Kec. Paal Merah

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**EFEKTIFITAS TANAMAN MELATI AIR (ECHINODORUS
PALAEFOLIUS) UNTUK MENYISIHKAN LOGAM ALUMINIUM (AL)
PADA LUMPUR INSTALASI PENGOLAHAN AIR DI PDAM TANJUNG
SARI KECAMATAN JAMBI TIMUR**

Adalah hasil karya saya sendiri dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir Tugas Akhir.

Jambi, 20 Februari 2019

CATUR ENDAH KARTIKAWATI

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Catur Endah Kartikawati

NM : 1400825201017

Judul : Efektifitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) Untuk Menyisihkan Logam Aluminium (Al) Pada Lumpur Instalasi Pengolahan Air di PDAM Tanjung Sari Kecamatan Jambi Timur

Memberian izin kepada pembimbing dan Universitas Batanghari untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding Author).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Jamb 20 Februari 2019

Penulis

Catur Endah Kartikawati

Abstrak

Air bersih sebagai kebutuhan dasar (*basic need*) diproduksi oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dan hasil samping produksi tersebut adalah berupa lumpur. lumpur PDAM mengandung logam Al dalam bentuk $Al(OH)_3$ yang berpotensi sebagai pencemar jika langsung dibuang ke badan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan parameter logam Al pada limbah lumpur PDAM melalui fitoremediasi dengan menggunakan tanaman melati air dan untuk mengetahui serapan logam Al yang terakumulasi pada akar tanaman melati air pada bak fitoremediasi I (tanpa media) dan bak fitoremediasi II (dengan media kerikil dan tanah humus). Pengambilan lumpur dilakukan secara langsung pada pipa outlet lumpur SDB PDAM IPA Tanjung Sari. Dilakukan pengujian terhadap kandungan logam Al pada lumpur IPA PDAM Tanjung Sari. Selanjutnya dilakukan proses fitoremediasi yaitu reduksi kandungan logam Al pada lumpur PDAM dengan menggunakan tanaman melati air. Selanjutnya dilakukan analisis konsentrasi logam Al pada waktu kontak 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari dan 11 hari dan dilakukan analisis serapan logam Al pada bagian akar tanaman melati air setelah dilakukan proses fitoremediasi selama 11 hari.

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi logam Al pada lumpur IPA PDAM Tanjung Sari yaitu 58,29 mg/l. Tingkat efisiensi penyisihan konsentrasi logam Al secara berurutan yaitu 9,76 mg/l; 11,38 mg/l; 16,21 mg/l; 22,23 mg/l; dan 31,50 mg/l penyisihan logam Al yaitu 46%; 62%; 72%; 80%; dan 83%. Konsentrasi logam Al pada bak fitoremediasi II sebesar 8,36 mg/l; 10,90 mg/l; 14,74 mg/l; 19,42 mg/l; dan 29,11 mg/l dengan penyisihan logam Al yaitu 50%; 67%; 75%; 81%; dan 86%. Konsentrasi serapan logam Al pada akar tanaman melati air pada bak fitoremediasi I dan bak fitoremediasi II yaitu 898,10 mg/l dan Konsentrasi 302,42 mg/l. sehingga dapat disimpulkan bahwa bak fitoremediasi II merupakan proses yang terbaik dalam menyerap logam Al pada lumpur di Instalasi Pengolahan Air (IPA) PDAM Tanjung Sari.

Kata Kunci: Lumpur PDAM, Fitoremediasi, Logam Aluminium

Abstrack

Clean water as a basic need is produced by the Regional Water Company (PDAM) and the by-product of this production is in the form of mud. PDAM mud contains Al metal in the form of $Al(OH)_3$ which has the potential to pollute if it is directly discharged into a water body. This study aims to determine the efficiency of removal of Al metal parameters on PDAM mud waste through phytoremediation by using jasmine water plants and to determine Al metal uptake that accumulates in the roots of water jasmine plants in phytoremediation I (without media) and phytoremediation II tubs (with gravel media, and humus soil). Sludge removal is carried out directly on the Tanjung Sari PDAM IPA SDB mud outlet pipe. Testing of Al metal content in the IPA mud of Tanjung Sari PDAM. The phytoremediation process is then carried out, namely the reduction of Al metal content in PDAM mud by using water jasmine plants. Furthermore, Al metal concentrations were analyzed at 3 days, 5 days, 7 days, 9 days and 11 days of contact and analysis of Al metal uptake on the roots of jasmine water plants after phytoremediation process for 11 days.

The results showed that the concentration of Al metal in the PDAM Tanjung Sari IPA sludge was 58.29 mg / l. The level of efficiency of removal of Al metal concentrations sequentially is 9.76 mg / l; 11.38 mg / l; 16.21 mg / l; 22.23 mg / l; and 31.50 mg / l Al metal allowance which is 46%; 62%; 72%; 80%; and 83%. The metal concentration of Al in the phytoremediation II bath was 8.36 mg / l; 10.90 mg / l; 14.74 mg / l; 19.42 mg / l; and 29.11 mg / l with Al metal allowance of 50%; 67%; 75%; 81%; and 86%. The concentration of Al metal uptake on the roots of water jasmine plants in the phytoremediation I tub and phytoremediation II tub were 898.10 mg / l and the concentration of 302.42 mg / l. so that it can be concluded that the phytoremediation II bath is the best process for absorbing Al metal in mud at the Tanjung Sari PDAM Water Treatment Plant (IPA).

Keyword: *Sludge of PDAM, Phytoremediation, Metal Aluminium*

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena Ridho dan Restu_Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Efektifitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) Untuk Menyisihkan Aluminium Pada Lumpur Instalasi Pengolahan Air di PDAM Tanjung Sari ”.

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi salah satu syarat penyelesaian perkuliahan program strata satu (S.1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Batanghari.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan ribuan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, terutama kepada Yth :

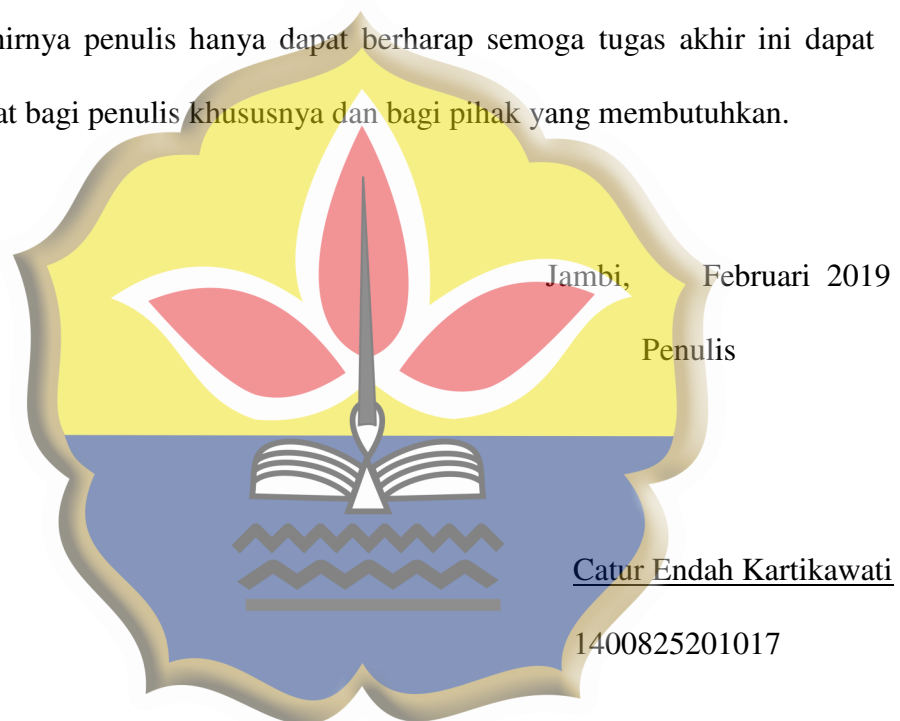
1. Bapak Dr.Ir. H. Fakhru Rozi Yamali,ME selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Batanghari.
2. Ibu Monik Kasman, ST, M.Eng. Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan dan Pembimbing I terbaik dengan segala ketulusannya berkenan meluangkan waktu untuk membimbing saya memberikan saran dan petunjuk dalam penyusunan skripsi ini dari awal hingga selesai.

3. Ibu Anggrika Riyanti, ST. M.Si selaku Pembimbing II terbaik dengan segala ketulusannya berkenan meluangkan waktu untuk membimbing saya memberikan saran dan petunjuk dalam penyusunan skripsi ini dari awal hingga selesai.
4. Bapak / Ibu dosen, karyawan dan staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Batanghari.
5. Kedua Orang Tua yang terhebat yang selalu memberikan motivasi, nasihat, cinta, perhatian, kasih sayang, dukungan moral dan materil, serta do'a yang tidak berhenti untuk anak-anaknya.
6. Styo Pertiwi Supriantini, Tri Utami Sulistia Ningsih, dan Gatot Baskoro kakak terbaik yang selalu membantu serta membimbing adiknya dan kakaknya, dan tidak lupa atas dukungan moral dan materil, do'a dan semangat.
7. Untuk Girls Squad Karunia Tri Septiani, Rts.Suaibatul Aslamia, Nurdwi Sartika, Evelina Saragih, Reski Fitri terima kasih sudah menjadi teman terbaik dan terhebat yang selalu memberikan motivasi, dan dukungan. Terima kasih banyak atas segala kebersamaan dan segala ketulusan meluangkan waktu yang telah kalian berikan kepada saya.
8. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2014 terima kasih karena telah memberikan ilmu kepada saya dan mengajarkan arti tanggung jawab dan saling membantu terhadap sesama teman.

9. Semua rekan-rekan mahasiswa/i Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari yang turut membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT berkenan memberikan ganjaran atas budi baik mereka. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan dimasa yang akan datang.

Akhirnya penulis hanya dapat berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pihak yang membutuhkan.



DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Persetujuan	ii
Halaman Pengesahan	iii
Lembar Pernyataan Keaslian	iv
Lembar Pernyataan Persetujuan Publikasi	v
Abstrak	vi
<i>Abstrak</i>	vii
Prakata	viii
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel	xv
Daftar Istilah	xvi
Daftar Lampiran	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Sistematika Penyusunan Laporan	6
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1. Proses Pengolahan Air Bersih	8
2.1.1. Unit-Unit Pengolahan Air Bersih	9
2.1.2. IPAM PDAM di Tanjung Sari	18
2.2. Lumpur PDAM	20
2.2.1. Karakteristik Lumpur	21
2.2.2. Pemanfaatan Lumpur PDAM	22
2.3. Aluminium	23

2.3.1.	Sifat dari Logam Al	23
2.3.2.	Manfaat Logam Al	24
2.3.3.	Dampak Logam Al	25
2.4.	Fitoremediasi	25
2.4.1.	Kelebihan Sistem Fitoremediasi	29
2.4.2.	Kelemahan Sistem Fitoremediasi	30
2.5.	Tanaman Melati Air	31
2.5.1	Morfologi dan Klasifikasi Melati Air atau Water Drop (<i>Echinodorus palaefolius</i>)	31
2.5.2.	Manfaat melati air	32
2.6.	Lahan Basah (Wetlands)	34
2.6.1.	Lahan Basah Alamiah (<i>Natural Wetland</i>)	35
2.6.2.	Lahan Basah Buatan (<i>constructed wetland</i>)	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		40
3.1.	Jenis Penelitian	40
3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.3.	Variabel Penelitian	41
3.4.	Diagram Alur Penelitian	42
3.5.	Pengumpulan Data	43
3.6.	Aklimaliasasi Tanaman	43
3.7.	Perakitan Reaktor	44
3.7.1.	Desain Reaktor	44
3.7.2.	Peralatan dan Bahan	46
3.8.	Pengambilan Sampel Limbah Lumpur PDAM	47
3.9.	Tahap Eksperimen	47
3.10.	Analisis dan Pembahasan	50
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		52
4.1.	Karakteristik Lumpur IPA Tanjung Sari	51
4.2.	Karakteristik Tanaman Melati Air	51
4.3.	Analisis Konsentrasi Parameter Logam Al	53
4.3.1.	Analisis Waktu Tinggal terhadap Konsentrasi Logam A	53

4.3.2.	Analisis Konsentrasi Al Terhadap Media Tanam	56
4.3.3.	Analisis Serapan Akar Tanaman Melati Air dengan Menggunakan Media dan Tanpa Media Terhadap Nilai Al	58
4.4.	Kondisi Akhir Tanaman	59
BAB V PENUTUP		63
5.1.	Kesimpulan	63
5.2.	Saran	64

Daftar Pustaka

Lampiran



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Tipikal Proses Pengolahan Air	17
Gambar 2.2. Skema Pengolahan Air	18
Gambar 2.3 Denah IPA 100 liter/detik	20
Gambar 2.4. Tanaman Melati Air	31
Gambar 2.5. Tipe Aliran	38
Gambar 3.1 Titik Pengambilan Sampel	41
Gambar 3.2 Skema Pengambilan Sampel	41
Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian	42
Gambar 3.4 Desain Reaktor Kontrol	44
Gambar 3.5 Desain Reaktor Fitoremediasi I	45
Gambar 3.6 Desain Reaktor Fitoremediasi II	46
Gambar 4.1 Kondisi Awal Tanaman Melati Air	52
Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Terhadap Konsentrasi Logam Al	54
Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Persentase Penyisihan Parameter Logam Al	56
Gambar 4.4 Konsentrasi Serapan Logam Al Pada Akar Tanaman Melati Air	58
Gambar 4.5 Tanaman Melati Air Setelah Dilakukan Fitoremediasi Tanpa Media	59
Gambar 4.6 Melati Air Setelah Fitoremediasi dengan Media Kerikil dan Tanah Humus	60

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1	Pengambilan sampel Al pada reaktor (mg/L) 49
Tabel 3.2	Pengambilan sampel serapan logam Al pada akar tanaman melati air 49
Tabel 4.1	Pengaruh waktu tinggal terhadap penyisihan konsentrasi logam Al 53
Tabel 4.2	Persentase penyisihan parameter logam Al 53
Tabel 4.3	Penyisihan konsentrasi logam Al 56
Tabel 4.4	Persentase penyisihan konsentrasi logam Al 56
Tabel 4.5	Serapan akar tanaman melati air 58



DAFTAR ISTILAH

Al	: Aluminium
BOD	: Biochemical Oxygen Demand
C	: Karbon
COD	: Chemical Oxygen Demand
CW	: Constructed Wetland
FWS	: Free Water Surface
ICP	: Inductively Coupled Plasma
IPA	: Instalasi Pengolahan Air
IPAL	: Instalasi Pengolahan Air Limbah
IPAM	: Instalasi Pengolahan Air Minum
N	: Nitrogen
PDAM	: Perusahaan Daerah Air Minum
SDB	: Sludge Dry Bed
SSF	: Sub Surface Flow
Td	: Waktu Kontak
UNESCO	: United Nations Education Scientific and Cultural Organization



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Surat Keputusan Pembimbing
Lampiran II	Surat Keputusan Komprehensif
Lampiran III	Lembar Asistensi
Lampiran IV	Hasil Analisis Laboratorium Saraswati Indo Genetech
Lampiran V	Dokumentasi Penelitian



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air bersih sebagai kebutuhan dasar (*basic need*) diproduksi oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dan hasil samping produksi tersebut adalah berupa lumpur. Lumpur tersebut berasal dari proses pengolahan flokulasi, sedimentasi dan filtrasi yang selanjutnya dialirkan menuju kolam lumpur (*Sludge Dry Bad*). Pada bak koagulasi dilakukan proses pembumbuhan berupa koagulan. Koagulan yang digunakan adalah jenis tawas atau alum dengan rumus kimia $Al_2(SO_4)_3$. Alum paling banyak digunakan untuk koagulan karena mudah didapat, mudah digunakan dan ekonomis harganya dibanding koagulan lain. Namun alum memiliki kelemahan yaitu menambah jumlah ion Al^{3+} kedalam air dan dapat menimbulkan pencemaran (Suherman, 2003).

Instalasi pengolahan air di Tanjung Sari merupakan salah satu pengolahan air yang melayani kebutuhan air bagi masyarakat di Kota Jambi. Sistem pengolahan air yang digunakan pada IPA Tanjung Sari menggunakan pengolahan konvensional dengan sistem pengolahan lengkap mulai dari air baku, *intake*, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi, dan reservoir. Dari hasil pengolahan yang digunakan oleh IPA Tanjung Sari yang menghasilkan lumpur yaitu pada bak flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Produksi lumpur di IPA Tanjung Sari dalam 1 hari sebesar $12 \text{ m}^3/\text{hari}$. Jumlah lumpur dapat bervariasi setiap hari berdasarkan dari debit air yang diolah dan konsentrasi kekeruhan air baku.

Menurut Suherman (2003), lumpur PDAM masih mengandung logam Al dalam bentuk $Al(OH)_3$ yang berpotensi sebagai pencemar jika langsung dibuang ke badan air. Hasil penelitian Santriyana (2013) menyatakan bahwa hasil analisis logam Al terhadap sampel limbah lumpur pengolahan instalasi PDAM Kota Pontianak sebelum dilakukan proses fitoremediasi menunjukkan konsentrasi yang tinggi melebihi batas yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No. 492/Menkes/Per/IV/2010 yaitu sebesar 314,74 mg/l. Lumpur yang dihasilkan pun akan dibuang langsung ke sungai dan seringkali menimbulkan masalah karena akan mengakibatkan logam Al terakumulasi di perairan melalui proses rantai makanan. Logam Al yang berbahaya tersebut dapat berpindah lewat hewan air sampai manusia kembali (Setyono, 2008).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Santriyana (2013), menyimpulkan akibat masuknya lumpur IPAM ke badan air tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu dapat memberikan dampak negatif bukan hanya pada biota air tapi juga pada masyarakat sekitar yang menggunakan sumber air tersebut guna memenuhi kebutuhan sehari-hari. Apabila logam Al tersebut terakumulasi di tubuh manusia akan menimbulkan gangguan kesehatan seperti gangguan pernapasan, dan jika terserap ke dalam kulit menyebabkan tersumbatnya pori-pori kulit sehingga kulit tidak bisa mengeluarkan racun secara alami. Dampak angka panjang logam Al dapat mengakibatkan efek kesehatan yang serius, seperti kerusakan pada sistem syaraf pusat, kehilangan memori, kelesuan, serta gemeteran (Singh, 2006).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam menanggulangi dampak negatif dari logam Al yaitu dengan mengolah lumpur IPAM dengan menggunakan

metode fitoremediasi. Fitoremediasi adalah pemanfaatan tumbuhan mikroorganisme untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi polutan, karena tanaman mempunyai kemampuan menyerap logam dan mineral yang tinggi atau sebagai *fitoakumulator* dan *fitochelator*. Konsep pemanfaatan tumbuhan dan mikroorganisme untuk remediasi tanah yang terkontaminasi polutan adalah pengembangan terbaru dalam teknik pengolahan limbah. Salah satu metode fitoremediasi adalah dengan sistem lahan basah buatan. Sistem lahan basah buatan (*constructed wetlands*) merupakan proses pengolahan limbah yang meniru/aplikasi dari proses penjernihan air yang terjadi di lahan basah atau rawa (*wetlands*). Tumbuhan air (*hydrophita*) yang tumbuh di daerah tersebut memegang peranan penting dalam proses pemulihan kualitas air secara alamiah (*self purification*) (Hammer, 1986).

Tanaman yang telah digunakan untuk proses fitoremediasi antara lain *Thlaspi calaminare* untuk Zn, *T. Caerulescens* (Cd), *Aeolanthus biformifolius* (Cu), *Phylanthus serpentinus* (Ni), *Haumaniastrum roberti* (Co), *Astragalus racemosus* (Se), *Alyxia rubricaulis* (Mn) dan melati air (*echinodorus palaefolius*). (Li et al, dalam Wise et al 2000). Dari beberapa tanaman air yang dapat digunakan untuk proses fitoremediasi tanaman melati air merupakan salah satu tanaman yang mudah tumbuh pada perairan Kota Jambi karena tanaman melati air adalah tanaman yang memiliki kemampuan untuk mengolah kandungan pencemar dalam air. Hal ini dapat diamati dari struktur tanaman melati air yang memiliki akar serabut dan batang yang berongga. Rongga batang yang besar mampu menyuplai oksigen ke akar dalam jumlah yang besar dan akar tanaman Selain itu, melati air (*echinodorus palaefolius*) juga memiliki nilai estetika bagi lingkungan yaitu

dimanfaatkan sebagai tanaman hias (Suhardjo, 2008). Pada penelitian sebelumnya oleh Santriyana (2013), melati air mampu menyerap kandungan Al pada limbah PDAM sebesar 96,46%.

Hal inilah yang melatar belakangi pemilihan sistem fitoremediasi dengan menggunakan tanaman melati air dalam upaya penyisihan kandungan logam Al pada lumpur instalasi pengolahan air PDAM di Tanjung Sari. Penelitian ini difokuskan mengamati efektifitas penyisihan parameter logam Al pada lumpur PDAM di IPA Tanjung Sari.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian adalah:

1. Bagaimana efektifitas penyisihan parameter logam Al pada lumpur PDAM di IPA Tanjung Sari ?
2. Bagaimana serapan logam Al pada bagian akar tanaman melati air setelah dilakukan proses fitoremediasi pada bak fitoremediasi I (tanpa media) dan bak fitoremediasi II (dengan media kerikil dan tanah humus) ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. Mengetahui efisiensi penyisihan parameter logam Al pada limbah lumpur PDAM melalui fitoremediasi dengan menggunakan tanaman melati air.
2. Mengetahui serapan logam Al yang terakumulasi pada akar tanaman melati air pada bak fitoremediasi I (tanpa media) dan bak fitoremediasi II (dengan media kerikil dan tanah humus)

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari pelaksanaan penelitian diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan upaya alternatif dalam penyisihan parameter logam Al pada lumpur IPA PDAM di Tanjung Sari yang lebih mudah, murah dan efisien.
2. Menambah referensi bagi mahasiswa yang ingin mengetahui cara menyisihkan parameter logam Al pada lumpur IPA PDAM di Tanjung Sari dengan tanaman melati air.

1.5. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, pengamatan dilakukan terhadap tanaman melati air dalam menyisihkan Al dari lumpur IPA PDAM dengan memvariasikan waktu kontak dan media tanam. Waktu kontak meliputi 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari. Media tanam pada bak fitoremediasi I berupa lumpur PDAM dan tanaman melati air. Media tanam pada bak fitoremediasi II berupa tanah humus setinggi 5 cm, kerikil 3 cm, lumpur PDAM dan tanaman melati air.

Adapun batasan masalah pada penelitian ini diantaranya:

1. Sampel lumpur diambil di IPA PDAM Tanjung Sari, Kecamatan Jambi Timur, yaitu pada pipa outlet lumpur IPA Tanjung Sari.
2. Variasi waktu kontak (td) yang diamati pada 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari.
3. Perkembangan tanaman melati air yang diamati adalah sebelum dan sesudah kontak dengan air lumpur PDAM di IPA Tanjung Sari.

4. Kemampuan melati air dalam menyerap logam Al diamati pada bagian akar.
5. Jumlah melati yang digunakan sebesar 300 gram pada setiap bak.
6. Media tanam yang digunakan meliputi lumpur PDAM, tanah humus, dan kerikil.

1.6. Sistematika Penyusunan Laporan

Sistematika penyusunan laporan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab I, menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab II, deskripsi teori pendukung yang berkaitan dengan proses pengolahan air bersih, lumpur pdam, aluminium sulfat (tawas), fitoremediasi, tanaman melati air dan lahan basah buatan

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab III berisi penjelasan metode, prosedur pelaksanaan penelitian, serta alat dan bahan penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV, dibahas mengenai proses dan hasil penelitian, perhitungan dan pengolahan data, serta pembahasan hasil penelitian.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab V berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pengolahan Air Bersih

Pengolahan air bersih merupakan upaya untuk mendapatkan air bersih dan sehat sesuai dengan standar mutu air. Proses pengolahan air bersih merupakan proses fisik, kimia, dan biologi air baku agar memenuhi syarat untuk digunakan sebagai air minum. Sumber air untuk keperluan domestik dapat berasal dari beberapa sumber, misalnya dari aliran sungai yang relatif masih sedikit terkontaminasi, berasal dari mata air pegunungan, danau, tanah atau sumber lain seperti laut. Air tersebut harus terlebih dahulu diolah didalam wadah pengolahan air sebelum didistribusikan kepada pengguna. Variasi sumber air akan mengandung senyawa yang berbeda maka sistem pengolahan yang diterapkan harus disesuaikan dengan kualitas sumber air yang dipakai. Pengelola air wajib untuk menjadikan air aman untuk dikonsumsi, yaitu air yang tidak mengandung bahan berbahaya untuk kesehatan berupa senyawa kimia untuk mikroorganisme (Siringoringo, 2006).

Kebutuhan air bersih dalam jumlah banyak harus mengambil dari sumber air yang besar pula. Ini sering terjadi di kota besar dan akhirnya memilih air sungai yang ada didekatnya sebagai sumber air baku. Kualitas air sungai permukaan jelas berbeda dengan air sumber dari air tanah dalam sehingga perlu proses yang lebih banyak. Pada awalnya proses itu pun tidak begitu berat karena air sungai hanya terkait dengan limbah rumah tangga yang jumlahnya pun terbatas sehingga proses penjernihannya pun relatif sederhana.

Dalam proses pengolahan air bersih pada umumnya dikenal dengan dua cara, yakni:

1. Pengolahan lengkap (*Complete Treatment Process*), yaitu air akan mengalami pengolahan lengkap meliputi fisika, kimiawi, dan bakteriologi. Biasanya dilakukan terhadap air sungai yang kotor atau keruh. Pada hakekatnya, pengolahan lengkap ini dibagi dalam 3 tingkatan pengolahan yaitu :
 - a. Pengolahan fisika, yaitu suatu tingkat pengolahan yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kotoran kasar, lumpur dan pasir serta mengurangi kadar zat-zat organik yang ada dalam air yang diolah.
 - b. Pengolahan kimia, yaitu pengolahan dengan menggunakan zat-zat kimia untuk membantu proses pengolahan selanjutnya. Salah satu proses yaitu pembumbuhan *aluminium sulfat* pada bak koagulasi.
 - c. Pengolahan bakteriologis, yaitu suatu tingkat pengolahan untuk membunuh atau memusnakan bakteri-bakteri yang terkandung didalam air yakni dengan cara membumbuhkan kaporit (zat desinfektan).
2. Pengolahan sebagian (*Partial Treatment Process*), yaitu pengolahan air sesuai dengan kebutuhan saja. Pada umumnya meliputi : penyaringan, desinfeksi dan netralisasi. Untuk penyaringan air yang digunakan adalah saringan pasir, dimana saringan pasir dibagi dalam saringan pasir cepat (*rapid sand filter*) dan saringan pasir lambat (*slow sand filter*). Pengolahan kimia atau pengolahan bakteriologi lazimnya dilakukan untuk mata air bersih dan air dari sumur yang dangkal atau dalam (Sutrisno, 2006).

2.1.1 Unit-Unit Pengolahan Air Bersih

Adapun unit-unit pengolahan air bersih menurut Sutrisno (2006) terdiri dari :

1. Bangunan penangkap air

Bangunan penangkap air merupakan suatu bangunan untuk menangkap atau mengumpulkan air dari suatu asal air, untuk dapat dimanfaatkan. Bangunan ini mempunyai saluran bercabang dua yang dilengkapi dengan saringan kasar (*bar screen*) berfungsi untuk mencegah masuknya kotoran-kotoran maupun sampah berukuran kecil terbawa arus sungai. Masing-masing saluran dilengkapi dengan pintu pengatur ketinggian air dan penggerak elektromotor. Pemeriksaan maupun pembersihan saringan dilakukan secara periodik untuk menjaga kestabilan jumlah air masuk. Fungsi dari bangunan penangkap ini sangat penting artinya untuk menjaga kontinuitas pengaliran. Sedangkan penanganan bangunan penangkap air ini diajukan terhadap :

a. Kuantitas

- 1) Pencatatan tingkah laku (keadaan) dari sumber asal air.
- 2) Pencatatan debit air pada setiap saat, sehingga dengan demikian akan dapat mengetahui fluktuasi dan kuantitas air yang masuk.
- 3) Mengontrol atau memeriksa peralatan pencatatan debit serta peralatan lainnya (misalnya : pompa, saringan, pintu air) untuk menjaga kontinuitas debit pengaliran.

b. Kualitas

- 1) Hal ini penting terutama terhadap kemungkinan pencemaran sumber asal air yang diambil.
- 2) Pemeriksaan kualitas air pada sumber air secara periodik.

2. Bangunan Prasedimentasi (pengendapan pertama)

Bangunan pengendap pertama dalam pengolahan ini berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel padat dari air sungai dengan gaya gravitasi. Pada proses ini tidak ada pembumbuhan zat atau bahan kimia. Untuk instalasi penjernihan air minum, yang airnya cukup jernih tetapi tidak sadah, bak pengendap pertama tidak diperlukan. Penanganan pada unit ini diajukan terhadap:

a. Aliran air

Harus dijaga aliran air pada unit ini laminar (tenang), dengan demikian pengendapan secara gravitasi tidak terganggu. Hal ini dapat kita lakukan dengan mengatur pintu air masuk dan pintu air keluar pada unit ini.

b. Unit Instalasi

Hasil pengendapan pada unit ini adalah terbentuknya lumpur endapan pada dasar bak. Untuk menjaga efektifitas ruang pengendapan dan pencegahan pembusukan lumpur endapan maka secara periodik lumpur endapan harus dikeluarkan.

3. Bangunan Pulsator

Air dari bak penampung dipompakan ke bak koagulan untuk diberi tambahan koagulan secara teratur sesuai kebutuhan (dengan dosis yang tepat). Koagulan adalah bahan kimia yang dibutuhkan pada air untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendapkan dengan sendirinya (secara gravimetris). Penambahan koagulan kedalam air baku diikuti dengan pengadukan cepat yang bertujuan untuk mencampur antara koagulan dengan koloid.

Alat pembubuh koagulan yang banyak dikenal sekarang, dapat dibedakan dari cara pembubuhannya diantaranya:

- a. Gravitasi, dimana bahan/zat kimia (dalam bentuk larutan) mengalir dengan sendirinya karena gravitasi
- b. Pompa (*dosing pump*), pembubuhan bahan/zat kimia dengan bantuan pemompaan.

Penggunaan pompa perlu memperhatikan pembubuhan koagulan, perpipaan yang mengalirkan bahan atau zat kimia supaya tidak tersumbat maka perlu pemeriksaan secara teliti terhadap peralatannya. Bahan atau zat kimia yang dipergunakan sebagai koagulan adalah *aluminium sulfat*, biasa disebut tawas. Bahan ini banyak dipakai, karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Bahan ini paling ekonomis (murah) dan mudah didapat pada pasaran serta mudah disimpan. Untuk mengetahui dosis bahan optimum yang digunakan dapat ditentukan dengan percobaan yang disebut *Jar Test*.

Penambahan *aluminium sulfat* akan menyebabkan air baku mempunyai pH rendah, untuk menaikkan pH antara 6,5 – 8,5 ditambahkan kaustik sehingga proses pengendapan bisa optimal. Penambahan kaustik soda dan polymer menggunakan *dosing pump*, sedangkan penambahan *aluminium sulfat* menggunakan pompa yang penggunaannya diatur sedemikian rupa sesuai kebutuhan.

4. Bangunan Pengaduk Cepat

Unit ini untuk meratakan bahan/zat kimia (koagulan) yang ditambahkan agar dapat bercampur dengan air secara baik, sempurna dan cepat. Cara pengadukan dapat dilakukan dengan :

- a. Alat mekanis : motor dengan alat pengaduk
- b. Penerjun air : dengan bantuan udara bertekanan

Yang perlu diperhatikan dalam pengadukan cepat adalah alat atau cara pengadukannya, supaya mendapat pengadukan sempurna.

5. Bangunan Sedimentasi (Pembentuk Flok)

Unit ini berfungsi untuk membentuk partikel padat yang lebih besar supaya dapat diendapkan dari hasil reaksi partikel kecil (koloid) dengan bahan atau zat koagulan yang kita bubuhkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi bentuk flok (partikel yang lebih besar dan bisa mengendap dengan gravitasi) :

- a. Kekeruhan pada baku air
- b. Tipe dari *suspended solid*

- c. pH
- d. Alkalinity
- e. Bahan koagulan yang dipakai
- f. Lamanya pengadukan

6. Bangunan Pengendap Kedua

Unit ini berfungsi untuk mengendap flok yang terbentuk pada unit bak pembentuk flok. Pengendapan disini dengan gaya berat flok itu sendiri (gravitasi). Penanganan unit pengendap kedua ini sama dengan pada unit pengendapan pertama. Aliran pada unit dijaga sedemikian rupa sehingga tetap tenang. Dengan teknologi modern :

- a. Unit pengadukan cepat
- b. Unit pengadukan lambat
- c. Unit pengendap kedua

7. Bangunan Filtrasi (Penyaringan)

Langkah untuk menghilangkan zat tersuspensi yang terakhir adalah dengan filtrasi atau disebut juga penyaringan. Proses filtrasi dimaksudkan untuk menyisihkan partikel koloid yang tidak dapat disisihkan pada proses sebelumnya dan juga untuk mengurangi jumlah bakteri organisme lain. Penyaringan yang dimaksud disini adalah penyaringan dengan melewatkan air melalui bahan berbentuk butiran yang diatur sedemikian rupa sehingga zat padatnya tertinggal pada butiran tersebut.

Dalam proses penjernihan air minum diketahui 2 macam filter :

- a. Saringan pasir lambat (*slow sand filter*)

- b. Saringan pasir cepat (*rapid sand filter*)

Dalam bentuk bangunan saringan, dikenal 2 macam, yaitu :

- a. Saringan yang bangunannya terbuka (*gravity filter*)
- b. Saringan yang bangunannya tertutup (*pressure filter*)

Efluen dari bak pengendap (*sedimentasi basin*) mengalir ke filter, gumpalan-gumpalan dan lumpur (flok) tertahan pada lapisan filter. Pada saat-saat tertentu dimana hilangnya tekanan (*loss of pressure*) dari air diatas saringan terlalu tinggi, yaitu karena adanya lapisan lumpur pada bagian atas saringan, maka saringan akan dicuci kembali dengan air bertekanan dari bawah.

Saringan pasir lambat fungsinya selain untuk menyaring koloid-koloid juga berfungsi untuk penyaringan bakteriologi. Sedangkan saringan pasir cepat hanya untuk menyaring koloid-koloid dan tidak menyaring bakteriologi. Untuk suatu pengolahan air baku menjadi air bersih pada umumnya yang digunakan adalah saringan pasir cepat, sebab saringan pasir lambat dengan produksi yang sama dengan saringan pasir cepat memerlukan tempat yang luas.

8. Desinfeksi

Desinfeksi adalah langkah terakhir pada pengolahan air mentah menjadi air bersih dengan tujuan mencegah penularan penyakit langsung dari orang ke orang melalui air dan mematahkan mata rantai penyakit dan

infeksi penyakit dengan membunuh penyebab penyakit sebelum memasuki lingkungan air.

Air yang mengalir dari filter ke reservoir dibubuhi klor disebut *post chlorination* yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen. Desinfeksi dengan klor di Indonesia kebanyakan digunakan kaporit $\text{Ca}(\text{OCl}_2)$ karena murah, mudah di dapat dan mudah penanganannya. Klorinasi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, yaitu :

a. Pembubuhan langsung

Pembubuhan kaporit dilakukan secara langsung kedalam bak air, sistem pembubuhan harus dilakukan secara kontiniu dalam waktu yang sama (misal : pagi, maka dilakukan setiap pagi), banyak klor yang dibubuhkan perlu dicari dengan percobaan daya serap chlor dan kaporit yang akan ditambahkan harus dilarutkan dulu dalam air agar mudah dicampur.

b. Cara sederhana

Kaporisasi secara sederhana ini bisa digunakan botol plastik bekas yang dilubangi dan diisi pasir serta kaporit dalam botol kecil kedalamnya (perbandingan volume pasir dan kaporit 7 : 1).Selanjutnya dimasukkan dengan tali kedalam bak atau sumur setiap saat digerak-gerakan dan di cek kalau baunya berlebihan harus diangkat dan cara ini biasanya tahan 15 – 25 hari, kemudian diangkat dan kaporit diganti dengan yang baru.

c. Tangki

Biasanya digunakan pada perusahaan-perusahaan air minum yang pelayanan sehari semalam disediakan dua bak yang bekerja secara bergantian tiap 12 jam (masing-masing volume 300 liter) kaporit yang dimasukkan kedalam bak tersebut didasarkan pada hasil perhitungan kebutuhan kaporit untuk 12 jam.

d. *Dosing pump*

Pemakaiannya cukup praktis tetapi sistem pengambilan air harus dengan pompa karena setiap pompa air jalan pompa juga jalan.

e. *Chlorinator*

Biasanya digunakan pada perusahaan-perusahaan air minum untuk pelayanan skala besar, hidup selama 24 jam, chlor yang digunakan disini berbentuk gas dalam tabung silinder bermacam-macam ukuran yaitu 40 kg, 100 kg, 900 kg (sekitar 1 ton).

Air yang telah melalui filter sudah dapat dipakai untuk air minum. Air tersebut telah bersih dan bebas dari bakteriologis dan ditampung pada bak reservoir (tendon) untuk diteruskan pada konsumen.

f. Pompa Air Bersih (Pemompaan)

Pompa air bersih berfungsi untuk mendistribusikan air bersih dari reservoir instalasi ke reservoir-reservoir distribusi cabang-cabang melalui

pipa-pipa transmisi yang dibagi menjadi 5 jalur dengan kapasitas 150 l/detik.

g. Lagoon

Lagoon berfungsi untuk menampung semua air buangan bekas pencucian sistem pengolahan untuk di daur ulang, dan kemudian di alirkan kembali ke Bak Air Baku untuk diproses kembali.

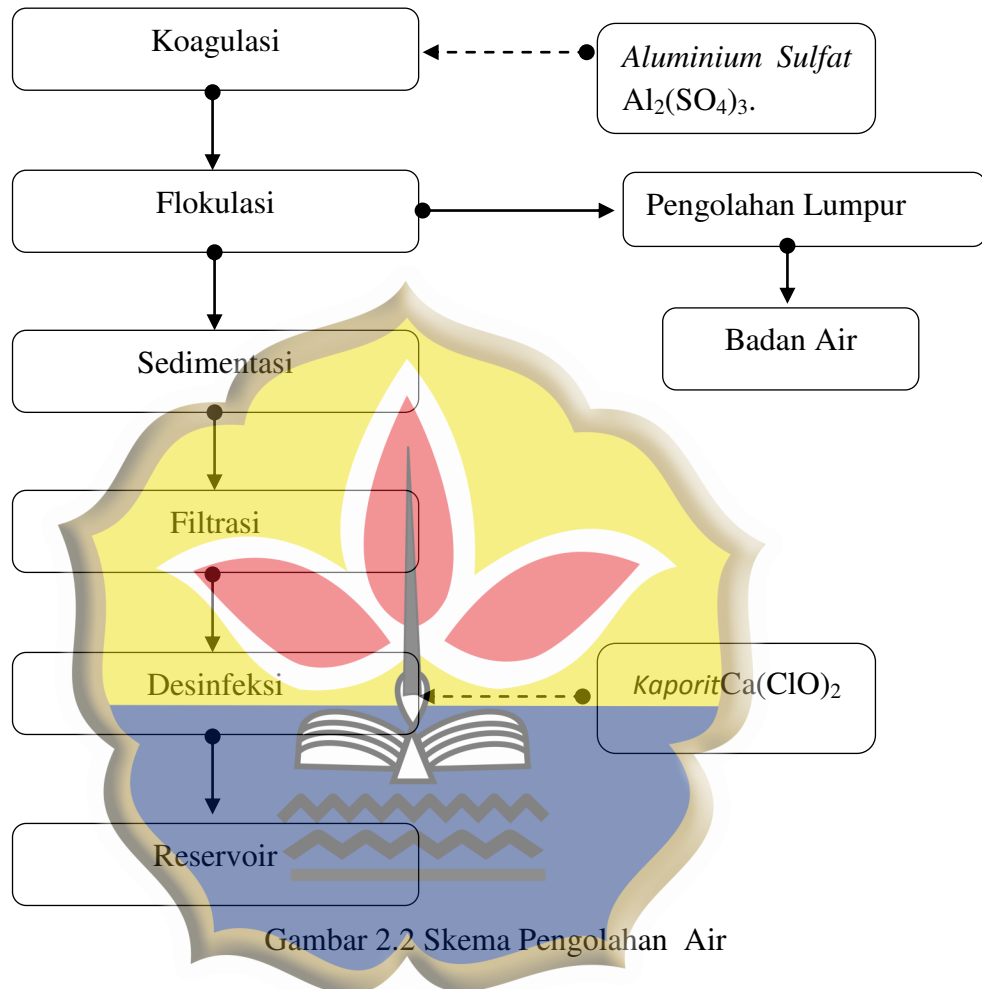
Tipikal proses pengolahan air dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Tipikal Proses Pengolahan Air(Sutrisno, 2006)

2.1.2 IPAM PDAM di Tanjung Sari

Skema IPAM PDAM Tanjung Sari, dapat dilihat pada gambar 2.2. sebagai berikut:



Detail *intake* pada saat dilakukan pengukuran berkisar 100 liter/detik. *Intake* ini dilengkapi dengan bangunan *sandtrap* bagian hilirnya yang berjarak 2 m. Pengaliran air dari *sandtrap* ke IPA melalui pipa transmisi sepanjang kurang lebih 3 km.

Air baku dialirkan menggunakan pipa transmisi dari *intake* dengan kecepatan 100 liter/detik hingga ke bak koagulasi. Pada bak koagulator terdapat bak pengumpul serta koagulan berupa alum. Derasnya dorongan air yang masuk

tersebut menyebabkan terjadinya pengadukan cepat terhadap pemberian alum. Selanjutnya air mengalir melalui pipa berdiameter 250 inchi yang telah terhubung pada bak flokulasi.

Pada bak flokulasi terjadi pengadukan lambat melalui 6 bak flokulasi dengan sistem aliran *up flow dan downflow* sehingga menyebabkan flok-flok pada bak flokulasi membentuk suatu gumpalan dan mengalir pada bak sedimentasi dengan sedikit flok-flok yang tersisa.

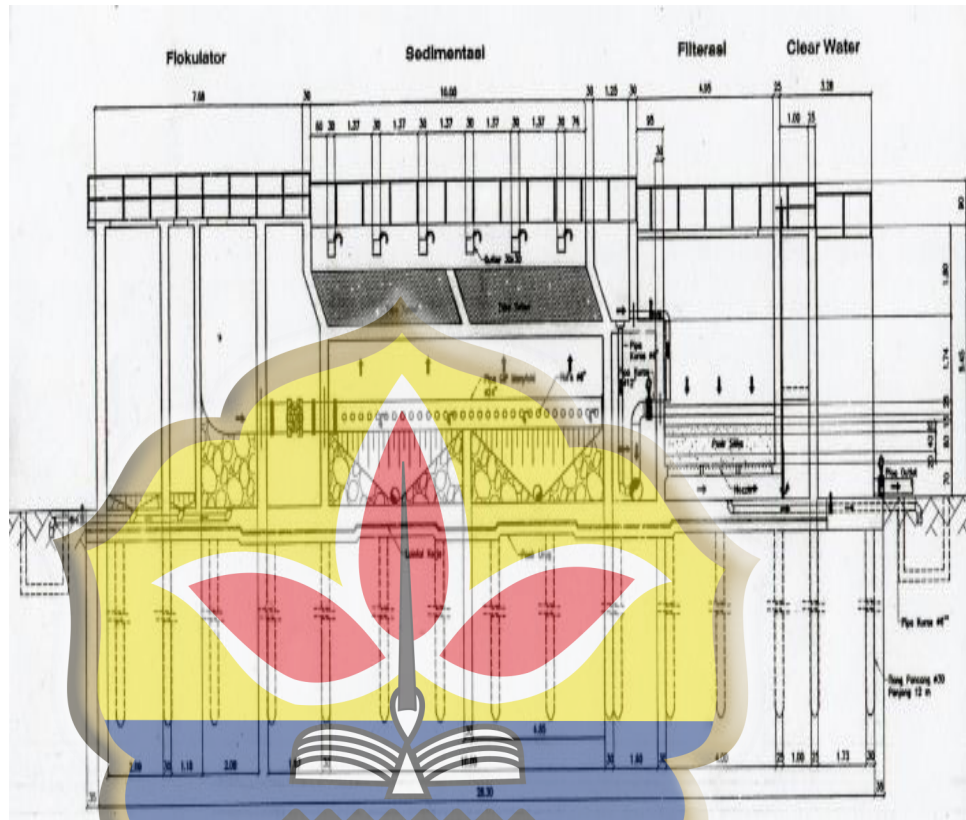
Bak sedimentasi terdiri dari 2 bak yang masing-masing memiliki ukuran dan bentuk yang sama serta fungsi yang sama yaitu mengendapkan flok-flok yang tersisa dari bak flokulasi. Pada bak sedimentasi air yang dihasilkan cukup jernih dengan menggunakan sistem air dari hasil pengolahan flokulasi masuk melalui bagian bawah dari tube settler sehingga air melewati celah-celah hingga naik ke atas air dan menghasilkan air yang cukup jernih. Flok-flok yang dihasilkan dari sedimentasi sebagian turun ke bagian bawah bak sedimentasi.

Selanjutnya air masuk ke bak filtrasi, bak filtrasi terdiri dari 5 bak dengan media penyaringan berupa pasir silika. Pasir silika berfungsi untuk menyaring kotoran berukuran kecil yang terbawa bersama air dari hasil olahan flokulasi dan sedimentasi. Setelah tersaring pada bak filtrasi air yang dihasilkan masuk pada proses desinfeksi.

Proses desinfeksi terjadi pembunuhan berupa koagulan kaporit. Kaporit berfungsi untuk membunuh bakteri, virus dan kuman di dalam air. Sehingga air yang dihasilkan dapat memenuhi memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan

Menteri Kesehatan Nomor 416/MEN.KES/PER/IX/1990 dan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/MEN.KES/PER/IV/2010.

Berikut unit Instalasi Pengolahan Air di Tanjung Sari antara lain:

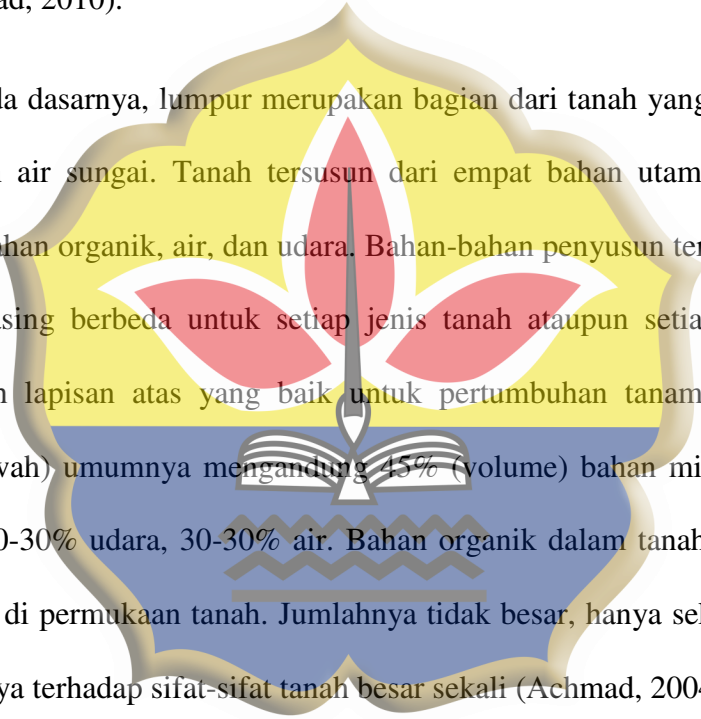


Gambar 2.3. Denah IPA 100 liter/detik (PDAM, 2010)

2.2 Lumpur PDAM

Lumpur adalah campuran cair atau semi cair antara air dan tanah. Lumpur terjadi saat tanah basah. Secara geologis, lumpur ialah campuran air dan partikel endapan lumpur dan tanah liat. Jumlah lumpur dapat diketahui berdasarkan jumlah pemakaian bahan kimia untuk proses flokulasi (*flocculation*), kekeruhan (*turbidity*), dan jumlah air baku. Produksi lumpur meningkat pada musim hujan akibat peningkatan kekeruhan yang disebabkan oleh erosi, hal tersebut merupakan salah satu ciri air permukaan. Jumlah pemakaian bahan kimia untuk penanganan

kekeruhan tergantung pada tingkat kekeruhan, dengan demikian pemakaian bahan kimia yang meningkat mengindikasikan adanya peningkatan produksi lumpur. Pada umumnya lumpur masih memiliki kadar air yang cukup tinggi. Lumpur yang banyak mengandung padatan diperoleh dari hasil proses pemisahan padat-cair dari limbah yang sering disebut dengan *sludge* atau lumpur encer. Didalam *sludge* tersebut sebagian besar mengandung air dan hanya beberapa persen berupa zat padat. Umumnya persentase kandungan air tersebut mencapai 95-99% (Muhammad, 2010).



Pada dasarnya, lumpur merupakan bagian dari tanah yang terbawa hanyut oleh aliran air sungai. Tanah tersusun dari empat bahan utama, yaitu : bahan mineral, bahan organik, air, dan udara. Bahan-bahan penyusun tersebut jumlahnya masing-masing berbeda untuk setiap jenis tanah ataupun setiap lapisan tanah. Pada tanah lapisan atas yang baik untuk pertumbuhan tanaman lahan kering (bukan sawah) umumnya mengandung 45% (volume) bahan mineral, 5% bahan organik, 20-30% udara, 30-30% air. Bahan organik dalam tanah pada umumnya ditemukan di permukaan tanah. Jumlahnya tidak besar, hanya sekitar 3-5% tetapi pengaruhnya terhadap sifat-sifat tanah besar sekali (Achmad, 2004).

2.2.1 Karakteristik Lumpur

Seperti halnya di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), walaupun berbeda sifat atau karakteristiknya, PDAM pun menimbulkan lumpur (*sludge*) yang volume hariannya relatif besar, tergantung pada debit air yang diolah dan konsentrasi kekeruhan air bakunya. Makin besar debitnya dan makin tinggi konsentrasi padatannya, baik padatan kasar (*coarse solid*), padatan tersuspensi

(*suspended solid*) maupun koloid, makin besar juga volume lumpurnya (Mary dan Azikin, 2003).

Lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air di IPA Tanjung Sari Kota Jambi berasal dari unit sedimentasi dan filtrasi. Lumpur yang dihasilkan umumnya berwarna coklat pekat dan lumpur tersebut sifatnya diskrit maupun flok. Diskrit yaitu lumpur yang butir-butirannya terpisah tanpa koagulan, mayoritas lumpur ini mengandung pasir, grit, dan pecahan kerikil berukuran kecil. Sebaliknya, lumpur yang berupa flok, yaitu kimflok (*chemifloc*) sangat besar volumenya terutama di PDAM besar air bakunya sangat keruh, didominasi oleh koloid. Lumpur dari filtrasi ini memanfaatkan *Sludge Drying Bed* kemudian dibuang ke tanah-tanah yang cekung sebagai bahan urugan (Muhammad, 2010).

Karakteristik lumpur sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sumber lumpur, jenis industri penghasil air limbah, proses di IPAL, sifat fisik, komposisi kimia serta tingkat pengolahan yang telah ditentukan (Muhammad, 2010).

2.2.2 Pemanfaatan Lumpur PDAM

Pada umumnya upaya pengelolaan terhadap lumpur menurut (Muhammad, 2010) meliputi beberapa tahap sebagai berikut:

1. Pengentalan atau pemekatan lumpur (*sludge thickening*)
2. Stabilisasi lumpur (*sludge stabilization*)
3. Pengeluaran air (*sludge dewatering*)
4. Pengeringan lumpur (*Sludge drying*) (Muhammad, 2010).

Lumpur PDAM dapat dimanfaatkan kembali dengan proses tertentu sebagai pencampur bahan bangunan, pupuk dan lain-lain, dengan cara menambahkan bahan-bahan tertentu. Pupuk merupakan suatu zat hara yang ditambahkan kedalam tanah untuk menambah unsur-unsur yang diperlukan oleh pertumbuhan tanaman. Untuk pemanfaatan sebagai pupuk, lumpur dapat ditambahkan dengan sampah organik atau kompos agar lumpur dapat membantu menyuburkan tanah. Berdasarkan bahan bakunya, jenis pupuk tersebut dibagi menjadi 2, yaitu pupuk organik dan pupuk anorganik. Pupuk organik merupakan hasil dari penguraian dari bahan-bahan organik seperti sisa-sisa tanaman dan hewan serta bahan-bahan organik lain, sedangkan pupuk anorganik adalah pupuk kimia yang selalu diproduksi oleh industri sehingga dikenal dengan nama pupuk kimia atau pupuk buatan.

2.3 Aluminium (Al)

2.3.1 Sifat dari Logam Al

Nama Aluminium diturunkan dari kata alum yang menunjuk pada senyawa garam rangkap. Kata ini berasal dari bahasa latin alumen yang artinya garam pahit. Aluminium dengan konfigurasi elektron $[10\text{Ne}] 3s^2 3p^1$ mempunyai tingkat oksidasi +3 dalam senyawa. Aluminium berlimpah di alam, dan merupakan logam terbanyak dikerak bumi (~8,3% berat kerak bumi) (Basset, 2013).

Aluminium adalah logam putih, bubuknya warna abu-abu, melebur pada suhu 65°C . bila terkena udara, objek-objek aluminium teroksidasi pada permukaannya. Asam klorida encer dengan mudah melarutkan logam ini, pelarut

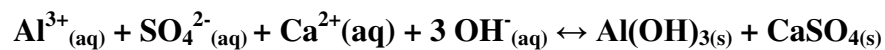
lebih lambat dalam asam sulfat encer atau asam nitrat encer. Aluminium adalah trivalent dalam senyawa-senyawa. Ion-ion aluminium membentuk garam-garam yang tak berwarna dengan anion-anion yang tak berwarna (Basset, 2013).

Aluminium bersifat amfoterik dan pada perairan alami dengan pH diatas kurang lebih 10 terbentuk ion Aluminat $[Al(OH)_4]^-$ yang larut (Achmad, 2004). Aluminium merupakan salah satu logam anorganik yang dijumpai dalam air minum. Konsentrasi aluminium yang tinggi bisa mengendap sebagai aluminium hidroksida yang mempengaruhi kehidupan air (Singh, 2006).

2.3.2 Manfaat Logam Aluminium

Aluminium bukan hanya ditambahkan kedalam suplai air tetapi juga ke banyak makanan dan obat yang diproses, misalnya dalam makanan (sebagai aditif), dalam obat-obatan misalnya antacid, dalam produk-produk konsumen (alat-alat masak dan aluminium foil, dan dalam pengujian air minum/sebagai koagulan (Singh, 2006).

Pada proses penjernihan air, biasanya tawas dicampur dengan air kapur, $Ca(OH)_2$ dengan persamaan reaksi:



Produk reaksi ini berupa gelatin yang mampu menyerap kotoran dan bakteri untuk dibawa mengendap ke dasar air sehingga diperoleh air yang jernih (Baset, 2010).

2.3.3 Dampak Logam Aluminium

Dampak paparan aluminium terhadap manusia dapat terjadi melalui minuman, makanan, pernapasan, dan kontak dengan kulit. Dampak apabila terkena kulit adalah tersumbatnya pori-pori kulit. Akibatnya kulit tidak bisa mengeluarkan racun secara alami. Jangka panjang dan konsentrasi tinggi aluminium dapat mengakibatkan efek kesehatan yang serius, seperti kerusakan pada sistem syaraf pusat, kehilangan memori, kelesuan, gemeteran (Singh, 2006).

Walaupun Aluminium berbahaya jika terdapat dalam kadar tinggi di air minum (0,2 mg/L permenkes 492/2010), akan tetapi kadar logam Al ini dapat berfungsi sebagai dasar unit pengolahan lumpur (Singh, 2006).

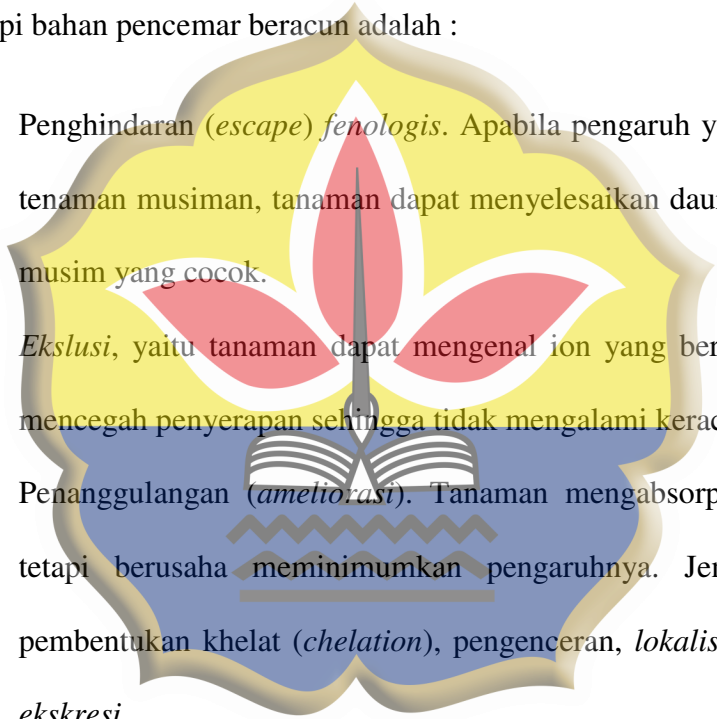
2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan baik secara *ex-situ* menggunakan kolam buatan atau reaktor maupun *in-situ* atau secara langsung di lapangan pada tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah (Subroto, 1996). Fitoremediasi didefinisikan juga sebagai penyerap polutan yang dimediasi oleh tumbuhan termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air.

Ada beberapa metode fitoremediasi yang sudah digunakan secara komersial maupun masih taraf riset yaitu metode berlandaskan pada kemampuan mengakumulasi kontaminan (*phytoextraction*) atau pada kemampuan menyerap dan mentranspirasi air dari dalam tanah (*creation of hydraulic barriers*). Kemampuan akar menyerap kontaminan di dalam jaringan (*phytotransformation*) juga digunakan dalam strategi fitoremediasi. Fitoremediasi juga berlandaskan

pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikrobia yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam tanah oleh eksudat dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah (*phytomining*) (Chaney dkk, 1995).

Menurut Corseuil dan Moreno (2000), mekanisme tumbuhan dalam menghadapi bahan pencemar beracun adalah :

- 
1. Penghindaran (*escape*) *fenologis*. Apabila pengaruh yang terjadi pada tanaman musiman, tanaman dapat menyelesaikan daur hidupnya pada musim yang cocok.
 2. *Ekslusi*, yaitu tanaman dapat mengenal ion yang bersifat toksik dan mencegah penyerapan sehingga tidak mengalami keracunan.
 3. Penanggulangan (*ameliorasi*). Tanaman mengabsorpsi ion tersebut, tetapi berusaha meminimumkan pengaruhnya. Jenisnya meliputi pembentukan khelat (*chelation*), pengenceran, *lokalisasi* atau bahkan *ekskresi*.
 4. Toleransi. Tanaman dapat mengembangkan sistem metabolit yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik tertentu dengan bantuan enzim.

Secara alami tumbuhan memiliki beberapa keunggulan, yaitu :

- a. Beberapa famili tumbuhan memiliki sifat toleransi dan hiperakumulator terhadap logam berat.
- b. Banyak jenis tumbuhan dapat merombak polutan.

- c. Pelepasan tumbuhan yang telah dimodifikasi secara genetik ke dalam suatu lingkungan relatif lebih dapat dikontrol dibandingkan dengan mikroba.
- d. Tumbuhan memberikan nilai estetika.
- e. Perakarannya yang dapat mencapai 100×106 km akar per ha, tumbuhan dapat menghasilkan energi yang dapat dicurahkan selama proses detoksifikasi polutan.
- f. Asosiasi tumbuhan dengan mikroba memberikan banyak nilai tambah dalam memperbaiki kesuburan tanah (Feller, 2000).

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak family terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator yaitu dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan *fitoekstraksi*. Dalam proses *fitoekstraksi* ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Chaney dkk, 1995).

Mekanisme biologis dari hiperakumulasi unsur logam pada dasarnya meliputi proses-proses:

1. Interaksi *rizosferik*, yaitu proses interaksi akar tanaman dengan medium tumbuh (tanah dan air). Dalam hal ini tumbuhan hiperakumulator memiliki kemampuan untuk melarutkan unsur logam

pada *rizosfer* dan menyerap logam bahkan dari fraksi tanah yang tidak bergerak sekali sehingga menjadikan penyerapan logam oleh tumbuhan hiperakumulator melebihi tumbuhan normal (McGrath dkk, 1997).

2. Proses penyerapan logam akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih cepat dibandingkan tumbuhan normal, terbukti dengan adanya konsentrasi logam yang tinggi pada akar Lasat dkk, (1996). Akar tumbuhan hiperakumulator memiliki daya selektifitas yang tinggi terhadap unsur logam tertentu (Gabbrielli dkk, 1991).
3. Sistem translokasi unsur dari akar ketajuk pada tumbuhan hiperakumulator lebih efisien dibandingkan tanaman normal. Hal ini dibuktikan oleh nisbah konsentrasi logam tajuk/akar pada tumbuhan hiperakumulator lebih dari satu (Gabbrielli dkk, 1991).

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi tiga proses yang sinambung, yaitu penyerapan logam oleh akar, terlokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Connel dan Miller, 1995).

Pembentukan *reduktase* di membran akar berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui kanal khusus di dalam membrane akar. Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu *xylem* dan *floem* kebagian tumbuhan lain oleh molekul khelat. Berbagai molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh

tumbuhan, misalnya histidin yang terikat pada Ni dan *fitokhelatin-glulation* yang terikat pada Cd (Salt dkk, 2000).

Fitoremediasi dianggap teknologi yang inovatif, ekonomis, dan relatif aman terhadap lingkungan sehingga merupakan solusi untuk remediasi beberapa daerah yang tercemar logam berat(Salt dkk, 2000).

2.4.1 Kelebihan Sistem Fitoremediasi

Keuntungan utama dari aplikasi teknik fitoremediasi dibandingkan dengan sistem remediasi lainnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksiknya, lebih bersahabat dengan lingkungan serta lebih ekonomis. Keuntungan lainnya yaitu biaya lebih murah bila dibandingkan dengan teknik *in situ* atau *ex-situ* lainnya. Tanaman dapat dengan mudah dimonitor untuk memastikan pertumbuhan, logam berharga dapat direklamasi dan dipakai ulang melalui fitoremediasi (Sidauruk dan Patricius, 2015).

Fitoremediasi dapat diterapkan pada polutan organik dan polutan metal (anorganik). Fitoremediasi banyak memiliki manfaat dan keuntungan, yaitu prosesnya ramah lingkungan, mudah diterapkan, efisien, dan estetik, dapat bekerja pada berbagai polutan, serta yang utama adalah tidak memerlukan biaya yang tinggi. Keuntungan fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara *in-situ* dan *ek-situ*, mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar (Sidauruk dan Patricius, 2015).

2.4.2 Kelemahan Sistem Fitoremediasi

Fitoremediasi juga menawarkan remediasi permanen pada lokasi atau daerah tercemar. Namun fitoremediasi tetap saja mempunyai kelemahan karena sangat tergantung pada kedalaman akar dan toleransi tanaman terhadap kontaminan. Disamping itu polutan dapat masuk ke rantai makanan melalui tumbuhan hyperakumulator yang dikonsumsi oleh binatang sehingga perlu menjadi perhatian bagi lingkungan hidup sebagai hewan herbivora dapat menumpuk mengotori partikel di jaringan mereka yang pada gilirannya dapat mempengaruhi keseluruhan jaringan makanan. Kelemahan fitoremediasi juga dapat dilihat dari segi waktu yang dibutuhkan lebih lama dan juga terdapat kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan melalui konsumsi hewan dari tanaman tersebut (Sidauruk dan Patricius, 2015).

Kerugian fitoremediasi ini adalah prosesnya memerlukan waktu lama, bergantung kepada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomasa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem.

Adapun kelemahan fitoremediasi yaitu perlunya waktu yang cukup lama untuk menghilangkan polutan pada suatu area terkadang sampai beberapa musim tanam. Kelemahan lain yaitu jumlah biomassa yang dihasilkan perlu penanganan khusus karena mengandung polutan, kedalaman akar yang terbatas tidak mampu menjangkau polutan yang masuk terlalu dalam ke tanah, kimia tanah, konsentrasi kontaminan, kondisi iklim tingkat kontaminasi yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, (Tangahu dkk, 2011).

2.5 Tanaman Melati Air

2.5.1 Morfologi dan Klasifikasi Melati Air atau Water Drop (*Echinodorus palaefolius*)

Melati air (gambar 2.3) merupakan tanaman akuatik atau tanaman air yang berasal dari Brazil, Peru, Meksiko, dan Uruguay. Bunga melati air berwarna putih bersih, kelopaknya terlihat agak tipis, tengah bunga terdapat benang sari berwarna kuning. Melati air hampir sama dengan tanaman melati biasa. Melati air kerap berbunga tak kenal musim dan tidak perlu penanganan khusus karena mudah untuk hidup (Mursito, 2011).

Daun melati air agak kaku, permukaan dan bagian bawah daun ditumbuhi bulu-bulu yang kasar. Melati air tidak tahan dengan sinar matahari sepanjang hari. Jika daunnya berwarna kekuning-kuningan, sebaiknya dipindahkan ke tempat yang sedikit terlindung (Mursito, 2011).



Gambar 2.4. Tanaman Melati Air (Mursito, 2011)

Marianto (2001) juga menjelaskan bentuk daun melati air beragam, sangat tergantung pada varietasnya. Varietas ini memiliki bentuk daun sedikit bundar

dengan tepinya bergelombang. Ukuran tanaman bisa mencapai 10-60 cm. Tumbuhan melati air merupakan tumbuhan yang akarnya terletak pada dasar perairan dan reproduksinya secara fleksibel (Lehtonen, 2009).

Melati air mempunyai klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae* (tumbuhan)

Sub Kingdom : *Tracheobionta* (Tumbuhan Berpembuluh)

Super Divisi : *Spermatophyta* (menghasilkan biji)

Divisi : *Magnoliophyta* (tumbuhan Berbunga)

Kelas : *Liliopsida* (Berkeping satu/monokotil)

Sub Kelas : *Alismatidae*

Ordo : *Alismatales*

Famili : *Alismataceae*

Genus : *Echinodorus*

Spesies : *Echinodorus palaefolius* var. *Latifolius*

2.5.2 Manfaat melati air

Padmaningrum, Aminatun, dan Yuliati (2014) menyatakan bahwa tanaman melati dapat menurunkan kadar fosfat, COD, BOD serta pada limbah cair *laundry*. Selain itu, berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Caroline dan Moa (2015), tanaman melati air juga efektif digunakan untuk menurunkan kadar Pb pada limbah cair industri tembaga dan kuningan di Surabaya. Dalam penelitian Santriyana (2013) pada tanaman melati air lebih efektif dalam menyerap parameter Al dibandingkan tanaman eceng gondok, dan tanaman genjer. Tingkat efektivitas yang dihasilkan oleh masing-masing

tanaman penyerap logam yang dilakukan selama 70 hari yaitu 96,46% untuk tanaman melati air, 80,21% untuk tanaman eceng gondok dan 94,65% untuk tanaman genjer.

Arman dan nisma menyatakan kemampuan tanaman melati air dalam menyerap parameter Al pada limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak dapat terjadi karena selain akar yang berfungsi dalam menyerap bahan-bahan yang terdapat dalam media air, batang yang terendam air juga termodifikasi juga dalam menyerap, menyaring bahan-bahan yang tersuspensi dalam air. Terdapat beberapa mekanisme dalam interaksi antara logam berat dengan tumbuhan, yaitu tumbuhan mampu mengeluarkan eksudat akar seperti asam amino, asam-asam organik atau senyawa lain yang dapat langsung mengakumulasi logam berat. Tumbuhan mampu menstabilkan logam berat pada sistem perakarannya atau tumbuhan menyerap logam berat dan diakumulasikan ke dalam jaringan tubuhnya.

Tanaman melati air memiliki kemampuan beradaptasi untuk bertahan hidup dalam lingkungan yang tercemar logam berat Pb dan memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat Pb pada air limbah sehingga kadar logam Pb dalam air limbah menurun dan menyebabkan kadar logam berat Pb pada tanaman meningkat. Prinsip penyerapan logam berat Pb oleh tumbuhan adalah semakin besar konsentrasi Pb dalam media tanam tanaman akan menyebabkan semakin besar pula logam Pb yang diserap. Efisiensi penyerapan logam Pb oleh tanaman Melati air menjadi meningkat dikarenakan tanaman tersebut dapat menyebarkan apa yang diserapnya keseluruh bagian tanaman Jenny dan Moa (2015).

Mekanisme kerja fitoremediasi pada tanaman Melati Air mencakup proses *fitoekstraksi*, *rhizofiltrasi*, *fitodegradasi*, *fitostabilisasi* dan *fitovolatilisasi* (Jenny dan Moa, 2015).

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

2.6 Lahan Basah (Wetlands)

Lahan basah adalah wilayah daratan yang digenangi air atau memiliki kandungan air yang tinggi, baik permanen maupun musiman. Ekosistemnya mencakup rawa, danau, sungai, hutan mangrove, hutan gambut, hutan banjir, limpasan banjir, pesisir, sawah, hingga terumbu karang. Lahan ini bisa ada diperairan tawar, payau maupun asin, proses pembentukannya bisa alami maupun buatan.

Lahan jenis ini juga menjadi habitat sejumlah besar tumbuhan dan satwa, relatif lebih banyak dibanding jenis ekosistem lain, kondisinya semakin memburuk dari hari ke hari. Hal ini yang membuat badan pendidikan dan kebudayaan perserikatan bangsa-bangsa (UNESCO) menggagas sebuah konveksi yang dikenal Konveksi Ramsar.

2.6.1 Lahan Basah Alamiah (*Natural Wetland*)

Sistem ini umumnya merupakan suatu sistem pengolahan limbah dalam area yang sudah ada secara alami, contohnya daerah rawa. Kehidupan biota dalam lahan basah alamiah sangat beragam. Debit air limbah yang masuk, jenis tanaman dan jarak tumbuh pada masing-masing tanaman tidak direncanakan serta terjadi secara alamiah Supradata, (2005).

2.6.2 Lahan Basah Buatan (*constructed wetland*)

Menurut sasono dan Pungit (2013) *constructed wetland* merupakan sebuah teknik pengolahan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas air serta mengurangi polutan dalam air. *Constructed wetland* adalah sistem pengolahan terencana/terkontrol yang di desain dan dibangun dengan menggunakan proses alami, yang melibatkan vegetasi *wetland* tanah berpasir dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah.

Constructed wetland (CW) atau rawa buatan adalah konstruksi yang dirancang untuk menarik keuntungan hakiki dan perbaikan fungsi kualitas air pada lahan basah alami dimana rawa adalah salah satu bagian dari lahan basah untuk penggunaan dan kepentingan manusia. Konstruksi ini dirancang sedemikian rupa sehingga proses perbaikan kualitas air secara khusus meliputi pengendalian

outflow dan meminimalkan fungsi pengolahan tertentu. Tatkala CW dirancang secara benar maka sistem ini mampu secara efektif memurnikan kembali limbah cair dengan menggunakan proses yang sama terjadi pada *wetland* alamiah yang terdiri atas tumbuhan, tanah dan komunitas *microbia* yang terkait, tetapi dalam lingkungan yang lebih terkontrol (Hammer, 2004).

Constructed wetland atau *wetland* menurut Metcalf dan eddy (2003), adalah suatu lahan yang jenuh air dengan kedalaman air tipikal yang kurang dari 0,6 meter yang mendukung pertumbuhan tanaman air emergent, misalnya *cattail*, *bulrush*, *reeds* dan *sedges (carex, sp)*. Sedangkan menurut Hammer (1989) *wetland* adalah pengolahan limbah secara alami yang terdiri dari 3 faktor utama, yaitu:

- a. Area yang digenangi air dan mendukung hidupnya *aquatic plant* jenis *hydrophita*.
- b. Media tumbuh berupa tanah berpasir yang selalu digenangi air.
- c. Media jenuh air.

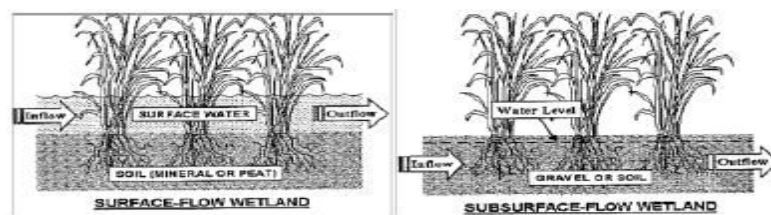
Proses-proses pengolahan air limbah sistem *constructed wetland*

Proses pengolahan air limbah pada sistem *wetland* berlangsung melalui proses fisika, kimia, dan biologi yang disebabkan oleh adanya interaksi mikroorganisme, tanaman dan *subtract*. Prinsip dasar sistem *wetland* untuk pengolahan air limbah adalah pada proses respirasi tumbuhan air.

Tipe-tipe *wetland* dapat dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu:

- a. *Wetland* dengan aliran di atas permukaan tanah (*free water surface*) *wetland* dengan sistem *free water surface* (*FWS*) terdiri dari kolam atau saluran dengan media alami (tanah) atau buatan (pasir/kerikil) untuk menyokong pertumbuhan tanaman air. Tanaman air mencuat (*emergent aquatic plant*) tumbuh diatas media tanam dan air tercemar diolah pada saat air mengalir diatas permukaan media melalui rumpun tanaman.
- b. *Wetland* dengan aliran dibawah permukaan tanah (*sub-surface flow constructed wetland*) *wetland* dengan sistem *sub-surface flow system* (*SSF*) ini terdiri atas saluran atau kolam dangkal yang berisi tanah, pasir, atau media batu/kerikil yang akan membantu proses penyaringan air. Air tercemar atau air limbah mengalir di bawah permukaan media horizontal melalui zona perakaran tanaman rawa di antara kerikil/pasir.

Secara umum sistem pengolahan limbah dengan lahan basah buatan (*constructed wetland*) ada 2 dua tipe, yaitu sitem aliran permukaan (*surface flow constructed wetland*) atau *FWS* (*Free Water System*) dan sistem aliran bawah permukaan (*sub-surface flow constructed wetland*) atau sering dikenal dengan sistem *SSF-Wetlands*. Perbedaan sistem aliran dari kedua sistem lahan basah tersebut dapat dilihat secara rinci pada gambar berikut.



Gambar 2.5. Tipe Aliran Lahan Basah (Leady, 1997)

Sedangkan klasifikasi lahan basah buatan (*constructed wetland*) berdasarkan jenis tanaman yang digunakan, terbagi menjadi 3 (tiga) kelompok :

1. Sistem yang menggunakan tanaman *makrophyta* mengambang atau sering disebut dengan lahan basah sistem tanaman air mengambang (*Floating Aquatic Plant System*).
2. Sistem yang menggunakan tanaman *makrophyta* dalam air (*submerged*) dan umumnya digunakan pada sistem lahan basah buatan tipe aliran permukaan (*Surface Flow Wetlands*).
3. Sistem yang menggunakan tanaman *makrophyta* yang akarnya tenggelam atau sering disebut juga *amphibious plants* dan biasanya digunakan untuk lahan basah buatan tipe aliran bawah permukaan (*Subsurface Flow Wetland*) *SSF-Wetlands* (Suriawiria, 1993).

Menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001), pengolahan air limbah dengan sistem *wetland* lebih dianjurkan karena beberapa alasan sebagai berikut:

- a. Dapat mengolah limbah domestik, pertanian dan sebagian limbah industri termasuk logam berat.
- b. Efisiensi pengolahan tinggi (80 %).

- c. Biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan ketrampilan yang tinggi.

Proses pengolahan air limbah dengan sistem ini dipengaruhi oleh media yang sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem wetland. Media reaktor lahan basah aliran permukaan (*SF-Wetlands*) dan aliran bawah permukaan (*SSF-Wetland*) secara umum dapat berupa tanah, pasir, batuan atau bahan-bahan lainnya. Tingkat permeabilitas dan konduktivitas hidrolis media tersebut sangat berpengaruh terhadap waktu detensi air limbah, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah serta oksigen yang dikeluarkan oleh akar tanaman (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian eksperimen, yaitu dengan melakukan percobaan terhadap variabel yang diuji. Penelitian ini menggunakan tanaman melati air untuk menyisihkan pencemar logam Al yang terdapat pada lumpur PDAM. Pada eksperimen ini terdapat 3 kali perlakuan sampel lumpur.

1. Perlakuan I, bak fitoremediasi tanpa pengolahan (blanko)
2. Perlakuan II, bak fitoremediasi dengan media tanam lumpur PDAM
3. Perlakuan III, bak fitoremediasi dengan media tanam tanah humus, kerikil, dan lumpur PDAM.

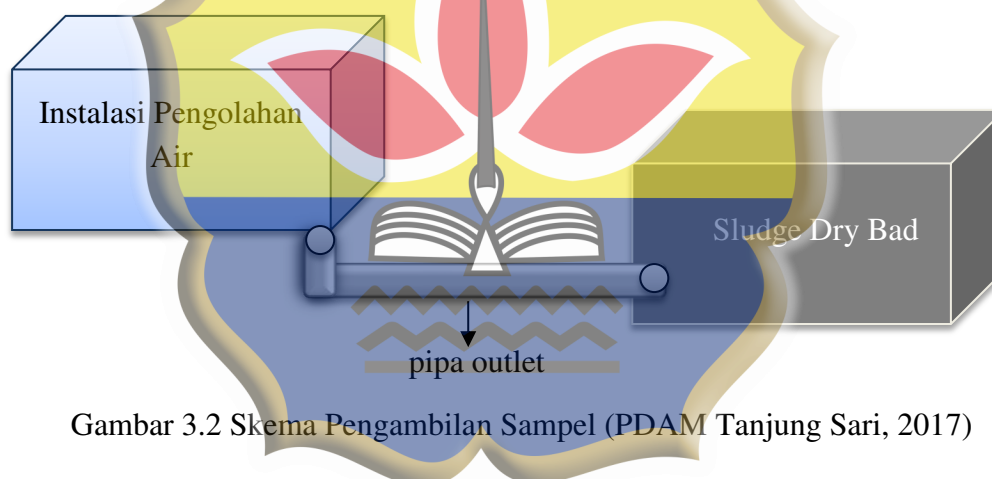
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pengujian parameter pencemar dilakukan di Laboratorium Saraswanti Indo Genetech Bogor. Pada eksperimen ini menggunakan lumpur IPA Tanjung Sari, Kecamatan Jambi Timur. Penelitian ini dimulai pada bulan juli 2018. Pengambilan sampel dilakukan di IPA Tanjung Sari pada bagian pipa outlet lumpur PDAM seperti yang terlihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Titik Pengambilan Sampel (PDAM Tanjung Sari, 2017)

Skema pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Skema Pengambilan Sampel (PDAM Tanjung Sari, 2017)

Sludge Drying bed /kolam lumpur berfungsi untuk memisahkan air dengan zat padat dari lumpur buangan proses sedimentasi dan proses *backwash* filter dengan cara pengendapan.

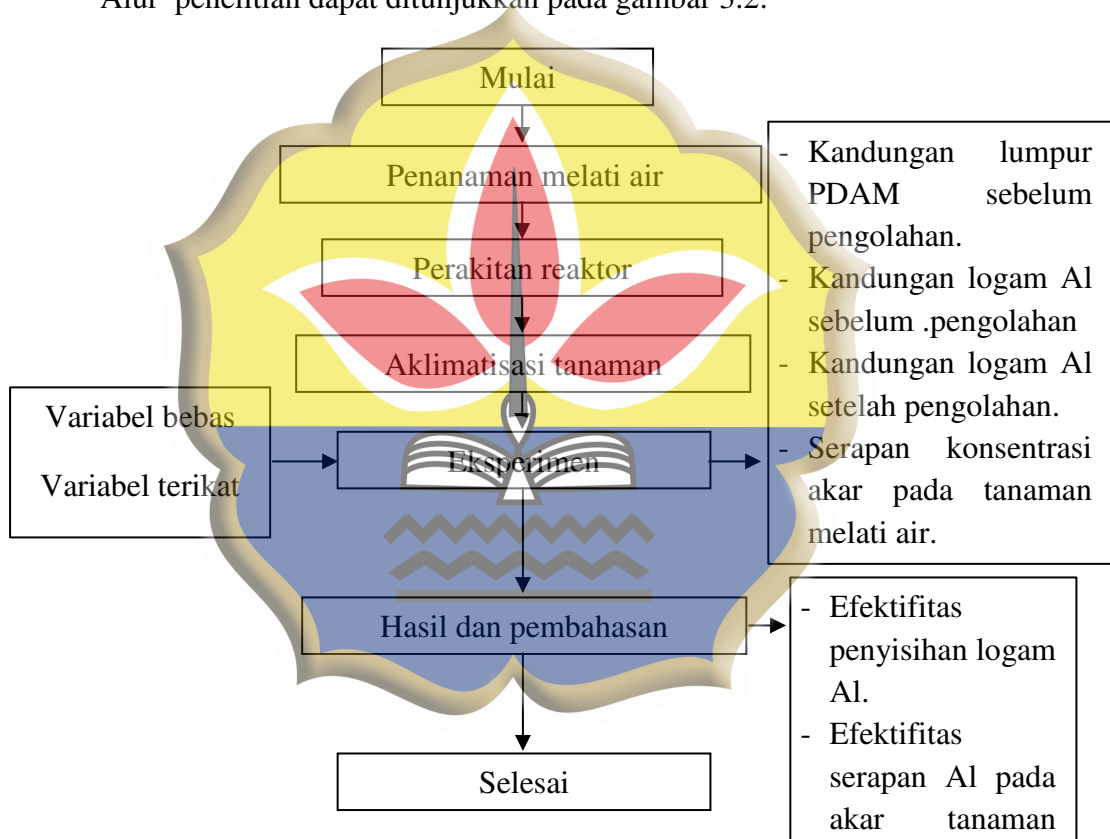
3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian terbagi menjadi 2 (dua) yaitu variabel bebas dan variabel terikat sebagai berikut:

1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu kontak (td) dan media tanam. Waktu tinggal (td) meliputi 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari. Media tanam meliputi lumpur PDAM, tanah humus serta kerikil.
2. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah parameter pencemar lumpur PDAM yaitu kandungan logam Al pada air dan pada akar tanaman melati air.

3.4 Diagram Alur Penelitian

Alur penelitian dapat ditunjukkan pada gambar 3.2:



Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian

3.5 Pengumpulan Data

Adapun data tersebut meliputi:

a. Data Primer

1. Kandungan lumpur PDAM sebelum pengolahan.
2. Konsentrasi logam Al awal (sebelum pengolahan).
3. Konsentrasi logam Al (setelah pengolahan) pada outlet masing-masing reaktor dengan menggunakan variasi waktu detensi 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari dan variasi media tanam yaitu pasir setinggi 5 cm dan kerikil setinggi 3 cm.
4. Perkembangan tanaman pada bagian akar, batang, dan daun yang terjadi setelah dilakukan proses fitoremediasi.
5. Serapan akar dalam mengakumulasi logam Al dengan alat *Inductively Coupled Plasma (ICP)*

b. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu referensi instalasi pengolahan air minum, referensi lumpur PDAM, referensi tanaman melati air dan peta lokasi sampling.

3.6 Aklimaliasasi Tanaman

Aklimatisasi tanaman adalah masa pengadaptasian tanaman terhadap lingkungan baru yang bertujuan untuk mengkondisikan tanaman. Aklimatisasi tanaman dilakukan sebelum dilakukan eksperimen dengan cara menyiapkan 2 liter lumpur dan 8 liter air bersih selanjutnya dilakukan pengenceran (pencampuran) dan tanaman dibiarkan selama 3 (tiga) hari untuk memastikan tanaman tidak layu

ataupun mati. Setelah itu tanaman dinetralkan kembali dengan air bersih selama 1 (satu) hari lalu kemudian dilakukan eksperimen. Masa hidup dari tanaman melati air yaitu selama 70 hari.

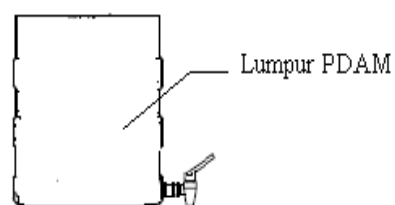
Skema proses aklimatisasi tanaman sebagai berikut:

1. Menyiapkan reaktor tumbuh terdiri dari tanah dijenuhkan dengan menggunakan air
2. Menyiapkan tanaman melati air yang akan digunakan untuk penelitian
3. Tanaman melati air dibersihkan menggunakan air agar hama yang melekat di daun, batang dan akar terlepas dari tanaman
4. Tanaman melati air dimasukkan ke dalam bak yang berisi air bersih untuk menetralkan zat unsur hara dari tanah sebelumnya
5. Tanaman melati air yang sudah diaklimatisasikan kemudian ditanam di media yang telah disediakan.

3.7 Perakitan Reaktor

3.7.1 Desain Reaktor

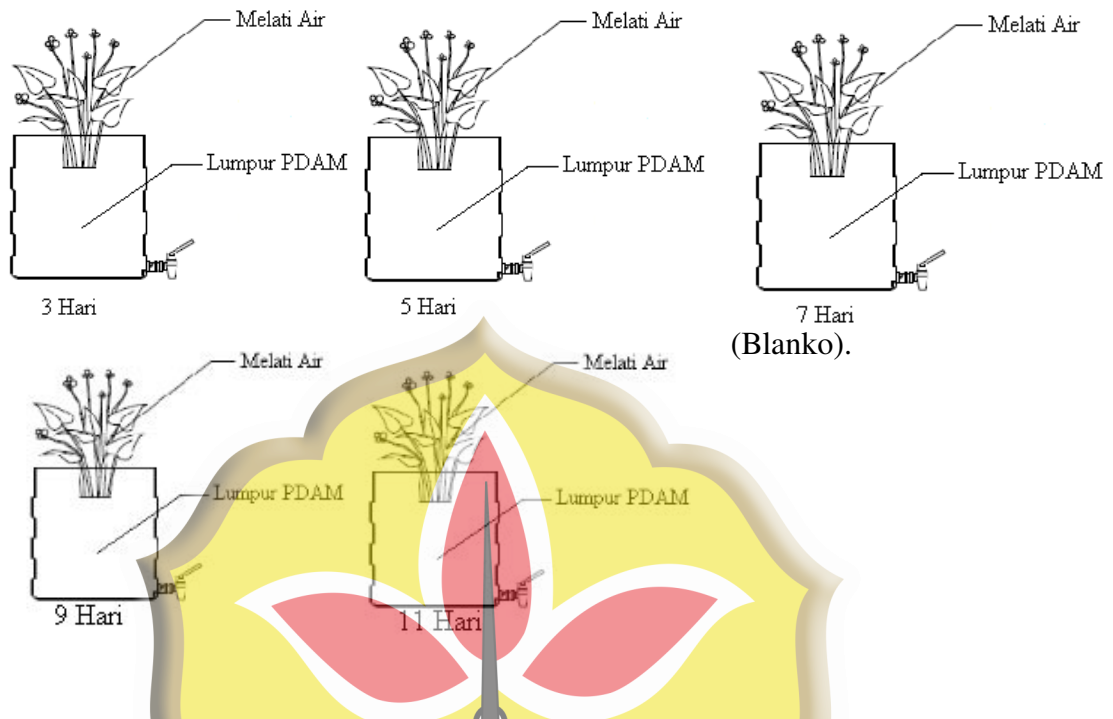
Reaktor didesain menjadi 11 reaktor yang meliputi 1 reaktor kontrol, 5 reaktor fitoremediasi I dan 5 reaktor fitoremediasi II. Desain reaktor dapat dilihat pada gambar berikut



Bak Kontrol

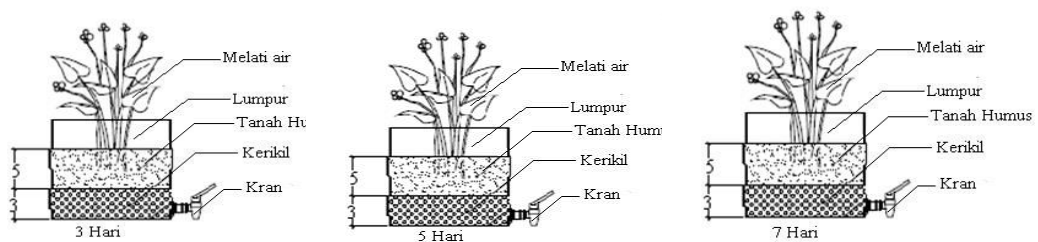
Gambar 3.4. Desain Reaktor Kontrol

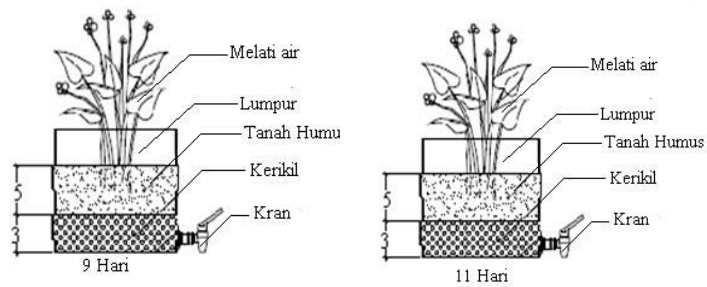
Pada bak pertama adalah bak kontrol yang terdiri dari ember plastik bervolume 5,5 liter dengan dimensi bak reaktor yaitu tinggi 35 cm dan diameter 25 cm. Lumpur PDAM. Pada bak kontrol tidak dilakukan proses fitoremediasi.



Gambar 3.5. Desain Reaktor Fitoremediasi I

Desain reaktor fitoremediasi I terdiri dari 5 ember plastik dengan volume 5,5 liter dengan dimensi bak reaktor yaitu tinggi 35 cm dan diameter 25 cm. Pada setiap ember diberi kran dan diisi lumpur serta tanaman melati air dengan masing-masing umur tanaman melati air yaitu 1 bulan. Pada 5 ember tersebut diberi label meliputi 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari dan 11 hari. Pada bak fitoremediasi I dilakukan proses fitoremediasi menggunakan tanaman melati air dengan masing-masing 300 gram.





Gambar 3.6. Desain Reaktor Fitoremediasi II

Desain Reaktor fitoremediasi II terdiri dari 5 ember plastik dengan volume 5,5 liter dengan dimensi bak reaktor yaitu tinggi 35 cm dan diameter 25 cm. Pada setiap ember diberi kran dan terdapat kerikil setinggi 3 cm pada lapisan bawah, tanah humus setinggi 5 cm pada lapisan kedua setelah kerikil, lumpur PDAM serta tanaman melati air dengan masing-masing umur tanaman melati air yaitu 1 bulan. Pada 5 ember tersebut diberi label meliputi 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari. Pada reaktor fitoremediasi II dilakukan proses fitoremediasi dengan menggunakan media kerikil, tanah humus, dan tanaman melati air dengan masing-masing 300 gram.

3.7.2 Peralatan dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini diantaranya:

1. Ember plastik dengan volume 5,5 liter sebanyak 11 buah ember sebagai reaktor.
2. Lumpur IPAM Tanjung Sari. Pada masing-masing bak fitoremediasi diisi dengan 3 liter lumpur.
3. Tanah humus setinggi 5 cm digunakan untuk reaktor fitoremediasi II
4. Kerikil setinggi 3 cm digunakan untuk reaktor fitoremediasi II.

5. Tanaman melati air dengan berat 300 gram digunakan untuk reaktor fitoremediasi I dan reaktor fitoremediasi II.

3.8 Pengambilan Lumpur PDAM di IPA Tanjung Sari Sebagai Sampel

Pengambilan sampel lumpur menggunakan jenis *grab* sampling yaitu pengambilan sampling yang dilakukan pada saluran sebelum masuk ke perairan penerima lumpur. Pengambilan sampel lumpur dilakukan pada saluran pipa outlet Instalasi Pengolahan Air di Tanjung Sari. Pengambilan dilakukan 3 waktu pada jam 05.00 WIB, 13.00 WIB dan 19.00 WIB. Hal ini dikarenakan untuk menyetarakan hasil lumpur yang dihasilkan dari pemakaian tertinggi sampai terendah. Setelah ditampung semuanya diletakan ke dalam 1 jerigen. Selanjutnya sampel lumpur dimasukkan pada bak reaktor untuk diuji pada tahap eksperimen.

3.9 Tahap Eksperimen

Adapun tahap-tahap dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan lumpur dilakukan secara langsung pada pipa outlet lumpur SDB PDAM IPA Tanjung Sari.
2. Kemudian lumpur dimasukkan ke dalam jerigen yang telah dipersiapkan sebagai wadah penyimpanan sementara.
3. Dilakukan pengujian terhadap kandungan logam Al pada lumpur IPA PDAM Tanjung Sari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa konsentrasi logam Al yang terkandung pada lumpur sebelum dilakukan proses fitoremediasi.
4. Selanjutnya dilakukan proses fitoremediasi yaitu reduksi kandungan logam Al pada lumpur PDAM dengan menggunakan tanaman melati air.

5. Setelah mengetahui hasil konsentrasi logam Al pada waktu kontak 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari dan 11 hari, maka dapat diketahui tingkat efektifitas tanaman melati air dalam menyerap logam Al yang terkandung pada lumpur dan akar tanaman melati air.

Adapun tahapan yang dilakukan dalam uji fitoremediasi yaitu sebagai berikut :

- a. Menyiapkan wadah/tempat untuk media lumpur dan tanah yang digunakan dalam proses fitoremediasi.
- b. Pengisian media yang berasal dari lumpur IPA di Tanjung Sari pada wadah yang telah dipersiapkan sebelumnya sebanyak 3 liter lumpur.
- c. Menyiapkan tanaman penyerap logam yang akan digunakan dalam proses fitoremediasi (tanaman melati air) yang memiliki berat 300 gram pada reaktor fitoremediasi I dan reaktor fitoremediasi II.
- d. Tanaman melati air ditanam dalam wadah yang telah dipersiapkan sebelumnya.
- e. Waktu kontak proses fitoremediasi adalah 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari.
- f. Pengambilan sampel lumpur logam Al dilakukan sebelum dan sesudah proses fitoremediasi mengacu pada waktu detensi. Sampel diambil pada ketiga bak meliputi bak kontrol, bak fitoremediasi I dan Bak fitoremediasi II. Pengambilan sampel pada tiap bak dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1. Pengambilan Sampel Lumpur pada Reaktor menurut Waktu Kontak

No	Bak Fitoremediasi	Waktu Kontak (td)					
		0 hari	3 hari	5 hari	7 hari	9 hari	11 hari
1	Bak Kontrol	K_0					
2	Bak Fitoremediasi I	$F_{0.1}$	$F_{1.3}$	$F_{1.5}$	$F_{1.7}$	$F_{1.9}$	$F_{1.11}$
3	Bak Fitoremediasi II	$F_{0.2}$	$F_{2.3}$	$F_{2.5}$	$F_{2.7}$	$F_{2.9}$	$F_{2.11}$

Dari tabel diatas dapat menunjukkan konsentrasi Al dengan variasi waktu kontak 0 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari. Pada pengujian konsentrasi Al akan dilakukan di Laboratorium Saraswanti Indo Genetech Bogor. Pada bak kontrol, bak fitoremediasi I dan bak fitoremediasi II memiliki konsentrasi yang sama pada waktu kontak 0 hari. Selanjutnya akan dilakukan pengujian pada bak fitoremediasi I dan bak fitoremediasi II untuk mengetahui konsentrasi logam Aluminium dengan variasi waktu kontak 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari, dan 11 hari. Adapun untuk mengetahui serapan logam Al pada akar akan dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2. Pengambilan Sampel Akar tanaman Melati Air menurut Waktu Kontak

No	Bak Fitoremediasi	Waktu Kontak (td)	
		0 Hari	11 hari
1	Bak Fitoremediasi I	$A_{1.0}$	$A_{1.11}$
2	Bak Fitoremediasi II	$A_{2.0}$	$A_{2.11}$

Pada tabel 3.2. menunjukkan serapan Al pada akar tanaman melati air berdasarkan waktu kontak sebelum dilakukan proses fitoremediasi dan setelah dilakukan proses fitoremediasi meliputi 0 hari dan 11 hari. Pengujian serapan Al pada akar dilakukan di laboratorium Saraswanti Indo

Genetech Bogor dengan menggunakan alat *Inductively Coupled Plasma* (ICP).

3.10 Analisis dan Pembahasan

Pengujian dilakukan sebelum dilakukan proses fitoremediasi dan setelah dilakukan proses fitoremediasi pada hari ke 11. Kemudian dilakukan analisis dan pembahasan mengenai hubungan waktu kontak terhadap penyisihan konsentrasi logam Al pada sampel lumpur. Selanjutnya pembahasan mengenai perkembangan fisik tanaman melati air setelah dilakukan proses fitoremediasi selama 11 hari.



BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Lumpur IPA Tanjung Sari

Karakteristik lumpur sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sumber lumpur, proses di IPA, sifat fisik dan komposisi kimia. Produksi lumpur di IPA Tanjung Sari dalam 1 hari sebesar 12 m³/hari. Lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air di IPA Tanjung Sari Kota Jambi berasal dari unit sedimentasi dan filtrasi. Lumpur yang dihasilkan umumnya berwarna coklat pekat dan lumpur tersebut sifatnya diskrit maupun flokulen. Diskrit yaitu lumpur yang butir-butirannya terpisah tanpa koagulan, mayoritas lumpur ini mengandung pasir, grit, dan pecahan kerikil berukuran kecil. Sebaliknya, lumpur yang berupa flokulen, yaitu kimflok (*chemifloc*) sangat besar volumenya terutama di PDAM besar air bakunya sangat keruh, didominasi oleh koloid.

Berdasarkan hasil pengukuran laboratorium dengan menggunakan *Industively Coupled Plasma* (ICP) didapat kandungan Al pada lumpur IPA Tanjung Sari sebesar 58,29 mg/l dengan pH 5,76 yang bersifat asam dan suhu 28,7 °C. Hal ini dikarenakan logam Al adalah salah satu logam anorganik dengan konsentrasi tinggi yang dijumpai dalam proses pengolahan air dengan menggunakan alum sebagai bahan koagulan.

4.2 Karakteristik Tanaman Melati Air

Melati air merupakan tumbuhan akuatik berumpun setengah terendam. Daun tunggal dan kaku dengan tangkai bersegi hingga membulat ke arah pangkal daun, panjang tangkai 40-50 cm, diameter 1-3 cm, keras beralur sepanjang tangkai

dan berbintik-bintik putih dengan warna dasar hijau muda. Bentuk daun bulat telur, pangkal berlekuk, ujung membulat, tulang daun menjari banyak dan menonjol jelas ke arah permukaan bawah, berwarna hijau muda, tepi daun rata dan merupakan anak tulang daun yang menyatu dari pangkal ke ujung daun. Perbungaan muncul di tengah-tengah tangkai daun tersusun seperti untaian payung, bunga berkelopak hijau keras dan kecil, bermahkota putih tipis berukuran lebih besar dari kelopaknya, putik dan benang sari berwarna kuning. Melati air selain berfungsi sebagai pereduksi parameter pencemar juga bisa berfungsi sebagai tanaman hias dengan bunga berwarna putih. Pada saat awal penelitian tanaman melati air sudah diletakkan pada 10 (sepuluh) media dan disusun menjadi 10 bak yang berjumlah perbak rata-rata 9 daun dan 2 (dua) bunga. Lebar daun berdiameter rata-rata 25 (dua puluh lima) cm berwarna hijau dan segar. Kondisi tinggi batang rata-rata 25 cm dan kondisi akar yang serabut dengan keliling rata-rata 1 cm. Tanaman melati air dapat dilihat pada gambar 4.1



Tanpa Media

Media kerikil dan tanah humus

Gambar 4.1 Kondisi awal tanaman melati air

4.3 Analisis konsentrasi parameter Al

4.3.1 Analisis Waktu Tinggal terhadap Konsentrasi Logam Al

Pengaruh waktu tinggal terhadap konsentrasi Al dapat dilihat pada tabel

4.1, 4.2 dan gambar 4.2 dan 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Penyisihan Konsentrasi logam Al

Reaktor	Satuan	Waktu Detensi					
		0 Hari	3 Hari	5 Hari	7 Hari	9 Hari	11 hari
Logam Al							
Kontrol	Mg/l	58,29					
Fitoremediasi I		58,29	31,50	22,23	16,21	11,38	9,76
Fitoremediasi II		58,29	29,11	19,42	14,74	10,90	8,36

Tabel 4.2 Persentase Penyisihan Konsentrasi logam Al

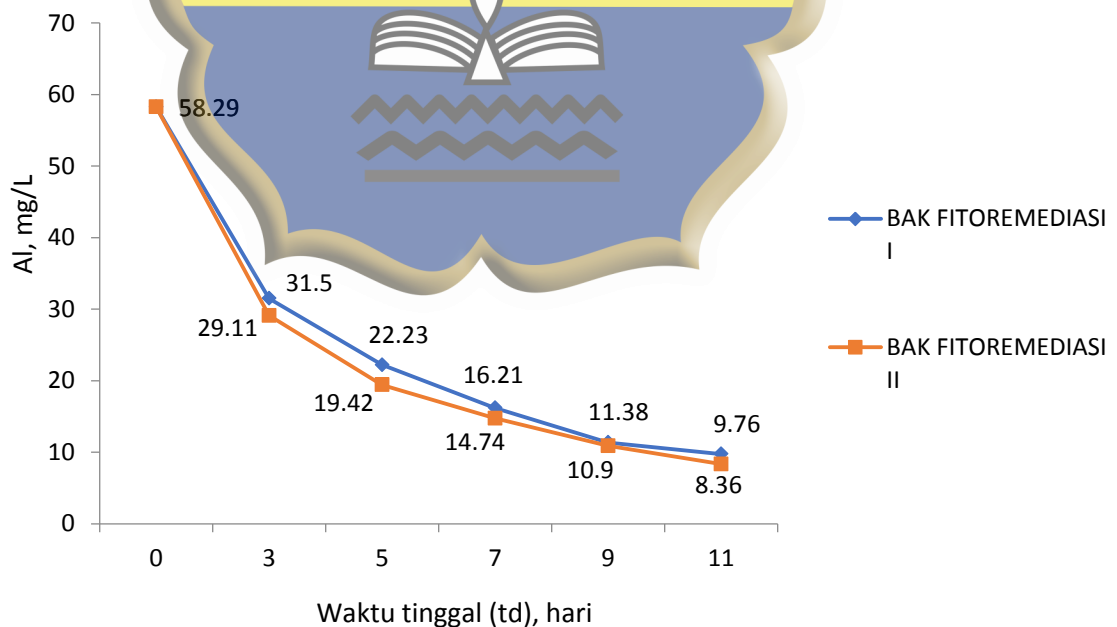
Reaktor	Waktu Detensi	Logam Al					
		0 Hari	3 Hari	5 Hari	7 Hari	9 Hari	11 hari
Kontrol	0 %						
Fitoremediasi I	0 %	46 %	62 %	72 %	80 %	83 %	
Fitoremediasi II	0 %	50 %	67 %	75 %	81 %	86 %	

Data hasil penelitian pada tabel 4.1 dan 4.2 menyatakan bahwa penambahan waktu tinggal mempengaruhi penurunan konsentrasi logam Al, dimana konsentrasi logam Al terendah untuk semua bak fitoremediasi (fitoremediasi I yaitu tanpa media dan fitoremediasi II yaitu dengan media kerikil dan tanah humus) terjadi pada waktu tinggal 11 hari. Pada konsentrasi logam Al bak kontrol mempunyai konsentrasi logam Al lebih tinggi dibanding bak

fitoremediasi I tanpa media dan bak fitoremediasi II menggunakan media kerikil dan tanah humus.

Konsentrasi logam Al pada bak fitoremediasi I sebesar 9,76 mg/l dengan penyisihan logam Al yaitu 83 % dan konsentrasi logam Al pada bak fitoremediasi II sebesar 8,36 mg/l dengan penyisihan logam Al yaitu 86%. Jika dibandingkan dengan penelitian Santriyana (2013), dimana pada waktu tinggal 70 hari dapat menyerap logam Al yaitu dengan efektifitas 96,46% maka, proses fitoremediasi yang dilakukan dengan menggunakan media berupa kerikil dan tanah humus lebih efektif karena hanya dalam waktu 11 hari tanaman melati air mampu menyisihkan konsentrasi logam Al sebesar 86 %.

Pengaruh waktu tinggal (td) dan media terhadap konsentrasi logam Al dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut:

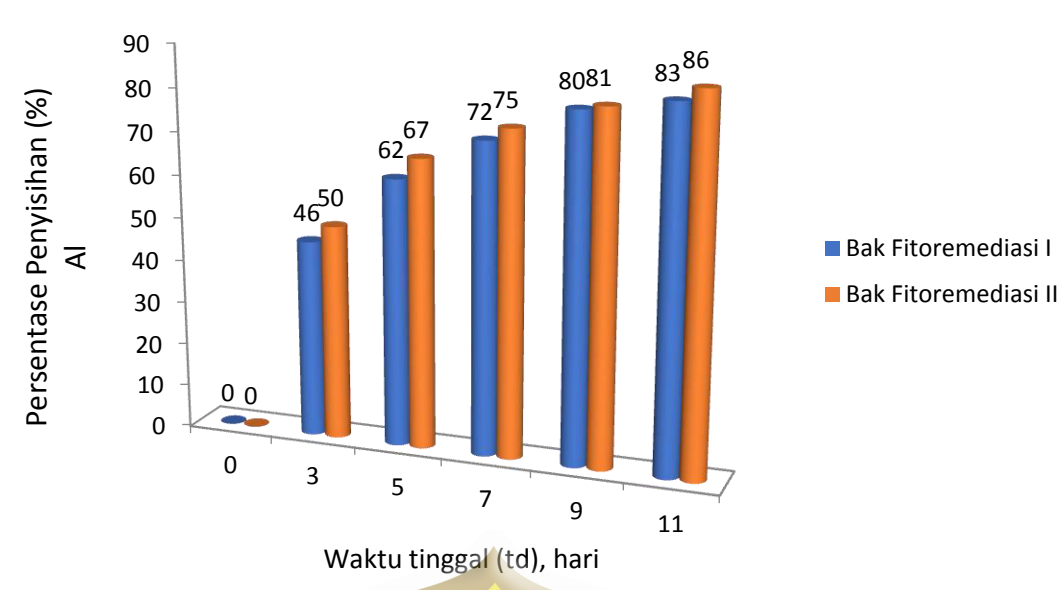


Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Tinggal (td) dan Media Terhadap Konsentrasi Logam Al

Dari grafik pada gambar 4.2 menunjukkan laju penurunan logam Al pada bak fitoremediasi I (tanpa media) dan bak fitoremediasi II (menggunakan media kerikil dan tanah humus) pada hari ke 3 cukup besar yaitu 26,79 mg/l dan 29,18 mg/l, sedangkan pada akhir waktu percobaan (hari ke-11) penurunan logam Al pada bak fitoremediasi I (tanpa media) dan bak fitoremediasi II (menggunakan media kerikil dan tanah humus) relatif kecil yaitu 1,62 mg/l dan 2,54 mg/l. Terjadinya penurunan tajam pada awal percobaan diduga dipengaruhi oleh kandungan nutrien yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme cukup melimpah, sehingga akan terjadi fase pertumbuhan dipercepat (*exponential growth phase*).

Hari ke-7, bak fitoremediasi I dan bak fitoremediasi II telah mencapai titik optimal yaitu 6,02 mg/l dan 4,64 mg/l. Hal ini dikarenakan nutrient yang dibutuhkan oleh mikroorganisme telah berhasil terserap oleh akar tanaman melati air sehingga tanaman melati air dapat mencapai titik optimal. Kondisi ini menyebabkan terjadi keseimbangan antara pertumbuhan dan kematian mikroorganisme yang sering disebut sebagai *stationary phase*.

Adapun pengaruh waktu tinggal terhadap persentase penyisihan konsentrasi logam Al dapat dilihat pada gambar 4.3 adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Persentase Penyisihan Konsentrasi Logam Al

Dari diagram batang pada gambar 4.3 menunjukkan pengaruh waktu tinggal terhadap persentase penyisihan konsentrasi logam Al pada bak fitoremediasi II lebih tinggi di bandingkan dengan bak fitoremediasi I.

4.3.2 Analisis konsentrasi Al pada media tanam

Penyisihan tertinggi konsentrasi Al pada bak fitoremediasi I dan bak fitoremediasi II dari yang terendah hari ke 11 sampai tertinggi hari ke 3 secara berurutan yaitu dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Penyisihan konsentrasi logam Al

Reaktor	Satuan	Waktu Tinggal (Hari)					
		11	9	7	5	3	0
Konsentrasi logam Al pada Fitoremediasi I	Mg/l	9,76	11,38	16,21	22,23	31,50	58,29
Konsentrasi logam Al pada Fitoremediasi II	Mg/l	8,36	10,90	14,74	19,42	29,11	58,29

Persentase penyisihan tertinggi konsentrasi Al pada bak fitoremediasi I dan bak fitoremediasi II dari yang terendah hari ke 11 sampai tertinggi hari ke 3 secara berurutan yaitu dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Persentase Penyisihan Konsentrasi logam Al

Reaktor	Satuan	Waktu Tinggal (Hari)					
		11	9	7	5	3	0
Persentase penyisihan logam Al pada Fitoremediasi I	%	83	80	72	62	46	0
Persentase penyisihan logam Al pada Fitoremediasi II	%	86	81	75	67	50	0

Hal ini diduga terjadi karena tanaman memiliki mekanisme tersendiri untuk menstimulasi bioavailabilitas ion-ion logam pada lingkungan rhizosfernya agar dapat diserap melalui akar. Proses masuknya logam Al ke dalam akar tanaman dapat melalui jalur apoplas korteks akar secara transport pasif dan kemudian ditransportkan melalui jalur simplasmik ke organ lain seperti batang dan daun. Karena apoplas merupakan jaringan berongga yang mengandung banyak cairan yang terdapat diantara lingkungan rhizosfer dan membran sel dari korteks akar dan jaringan pembuluh yang mengandung banyak senyawa bermuatan negatif yang berperan sebagai kompleks pengikat kation dan sebagai pelepasan anion (pompa kation-anion). Seperti halnya pada bak fitoremediasi II terjadi lingkungan rhizosfer yang rimbun karena adanya media tanaman kerikil dan tanah humus sehingga mekanisme penyerapan logam Al lebih optimal dibandingkan bak fitoremediasi I. Selain itu proses fitoremediasi II mempunyai daya regenerasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan pada bak fitoremediasi I.

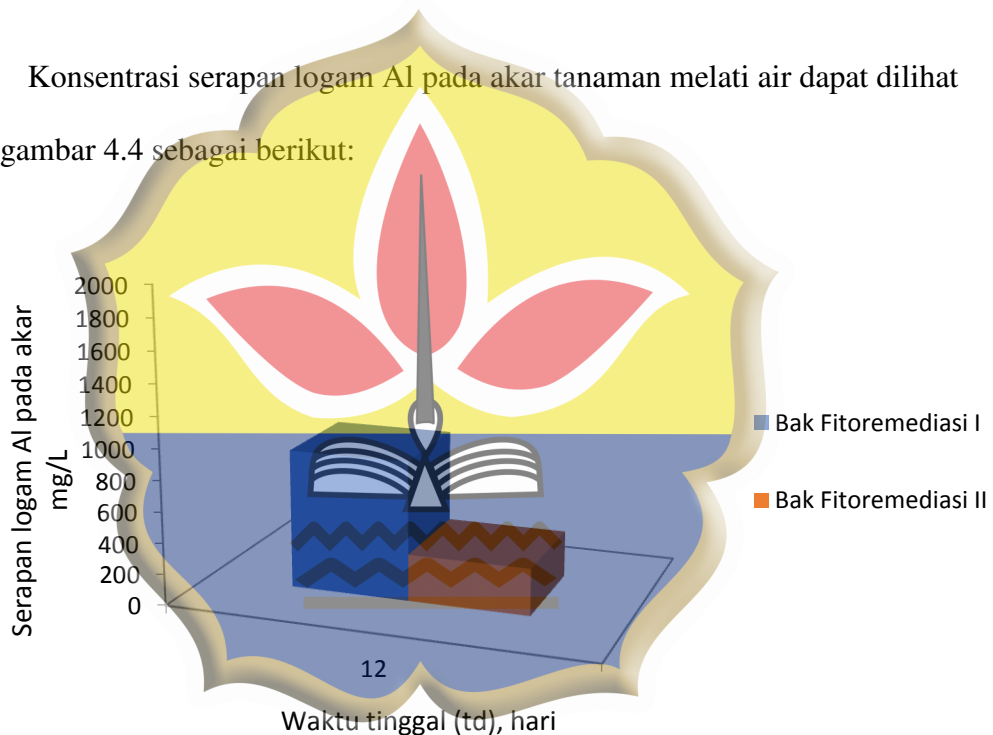
4.3.3 Analisis serapan akar tanaman melati air dengan menggunakan media dan tanpa media terhadap nilai Al

Serapan akar tanaman melati air dengan memvariasikan media tanaman dapat dilihat pada tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Serapan Akar Tanaman Melati Air

No	Bak Fitoremediasi	Waktu Tinggal (td) 11 Hari
1	Bak Fitoremediasi I	898,10 mg/l
2	Bak Fitoremediasi II	302,42 mg/l

Konsentrasi serapan logam Al pada akar tanaman melati air dapat dilihat pada gambar 4.4 sebagai berikut:



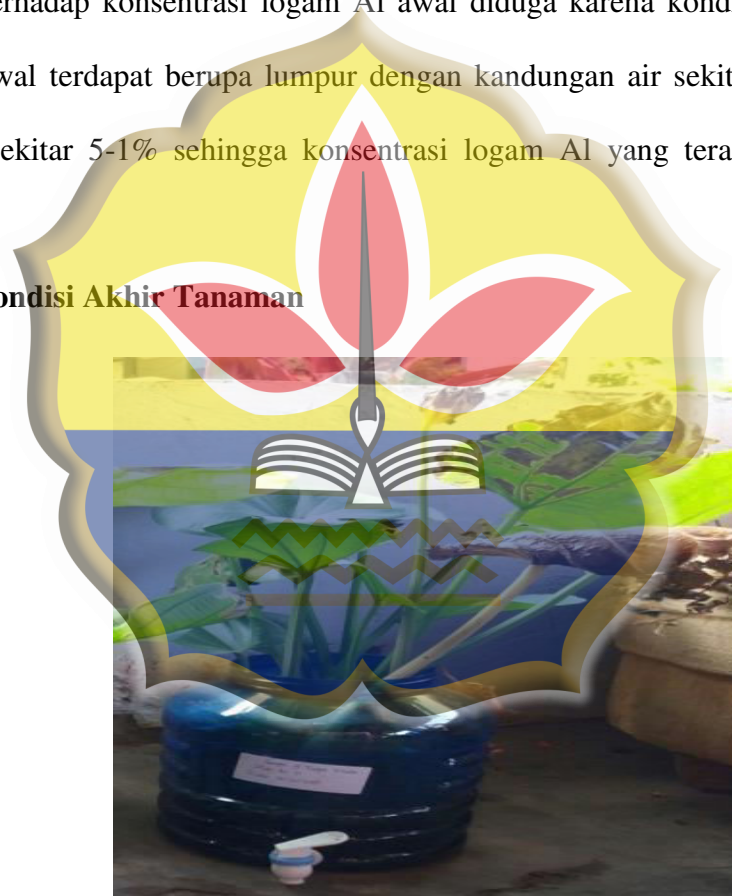
Gambar 4.4 Konsentrasi Serapan logam Al pada akar tanaman melati air

Data hasil penelitian pada tabel 4.5 memperlihatkan bahwa serapan akar pada bak fitoremediasi I lebih tinggi dibandingkan bak fitoremediasi II secara berurutan yaitu sebesar 898,10 mg/l dan 302,42 mg/l. Hal ini diduga pada penyerapan logam Al lebih besar pada bak fitoremediasi I karena akar tanaman melati air langsung menyerap logam Al dari lumpur PDAM. Sedangkan pada bak

fitoremediasi II konsentrasi logam Al yang terserap lebih kecil. Hal ini diduga karena akar tanaman melati air dalam menyerap logam Al kerikil dan tanah humus ikut berperan dalam menyerap konsentrasi logam Al, sehingga serapan logam yang dihasilkan tidak sepenuhnya diserap oleh akar melainkan dibantu oleh media kerikil dan tanah humus.

Terjadinya peningkatan penyerapan konsentrasi logam Al pada akar tanaman melati air setelah dilakukan proses fitoremediasi dengan waktu tinggal 12 hari terhadap konsentrasi logam Al awal diduga karena kondisi saat analisis sampel awal terdapat berupa lumpur dengan kandungan air sekitar 95-99% dan padatan sekitar 5-1% sehingga konsentrasi logam Al yang teranalisis menjadi kecil.

4.4 Kondisi Akhir Tanaman

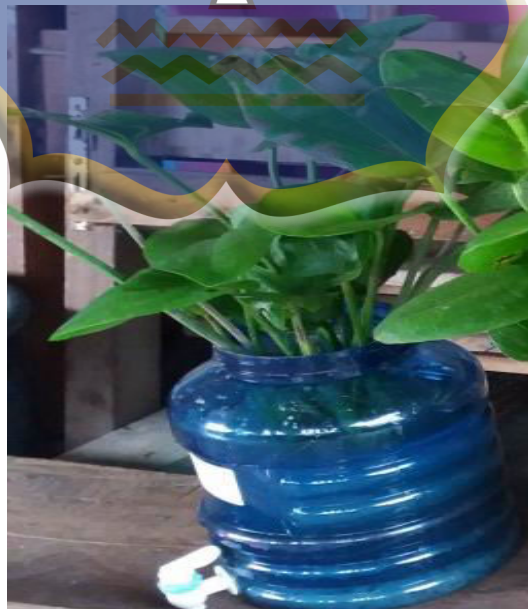


Gambar 4.5 Tanaman melati air setelah dilakukan fitoremediasi tanpa media

Dilihat dari fisik pada gambar 4.5 tanaman melati air setelah dilakukan proses fitoremediasi dalam kurun waktu 12 hari menunjukkan titik “jenuh” akibat adanya logam Al yang diserap oleh tanaman melati air. Hal ini terjadi karena logam Al merupakan elemen yang tidak dibutuhkan oleh tanaman namun daya

absorpsi oleh tanaman cukup tinggi sehingga dengan adanya logam Al di lingkungan tanaman melati air maka tanaman melati air akan merespon berupa kondisi jenuh abiotik. Terdapat beberapa gejala kejenuhan tanaman melati air diantaranya terjadi klorosis pada daun, klorosis merupakan daun yang mengalami kegagalan dalam pembentukan klorofil, sehingga tidak berwarna hijau, melainkan kuning atau pucat hampir putih, kemudian diikuti dengan nekrosis daun dan menggulungkan helaian daun, nekrosis merupakan gejala kematian jaringan pada daun yang ditandai dengan bercak berwarna kecoklatan pada organ daun. Jenuh akibat logam Al ditandai dengan adanya gejala nekrosis pada bagian ujung atau tepi daun sebelum terjadi klorosis dan nekrosis pada bagian pembuluh utama daun.

Kondisi tanaman setelah dilakukan proses fitoremediasi dengan menggunakan media berupa kerikil dan tanah humus dapat dilihat pada gambar 4.6 sebagai berikut:



Gambar 4.6 Melati Air Setelah Proses Fitoremediasi Dengan Media Kerikil dan Tanah Humus

Kondisi tanaman melati air saat dilakukan proses fitoremediasi dengan menggunakan media kerikil, tanah humus dan lumpur IPA PDAM Tanjung Sari seperti yang terlihat pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa adanya aktivitas mikroorganisme tanaman melalui proses oksidasi oleh bakteri aerob

Pada permukaan tanah, akar tumbuhan akuatik mengeluarkan oksigen, sehingga terbentuk zona rizosfer yang kaya akan oksigen diseluruh permukaan rambut akar. Oksigen tersebut mengalir ke akar melalui batang setelah proses difusi dari atmosfer melalui pori-pori daun. Pelepasan oksigen di sekitar akar (rizosfer) tersebut sangat dimungkinkan karena jenis tanaman *hydrophyte* mempunyai ruang antar sel atau lubang saluran udara sebagai alat transportasi oksigen dan atmosfer ke bagian perakaran. Oksigen yang dilepas oleh akar tanaman air dalam 1 hari berkisar antara 5 hingga 45 mg/m² luas akar tanaman.

Pada bak fitoremediasi II yaitu menggunakan media kerikil 3 cm beserta tanah 5 cm. Perubahan terjadi pada batang tanaman melati air awal 30 cm setelah dilakukan proses fitoremediasi yaitu rata-rata 33 cm. Perubahan juga terjadi pada daun melati air diameter awal 5 cm setelah dilakukan proses fitoremediasi yaitu 7 cm. Hal ini dikarenakan pada bak fitoremediasi II, oksigen dialirkan ke akar melalui batang secara difusi pada pori-pori daun, kemudian dengan adanya media kerikil dan tanah humus pada bak fitoremediasi II akan membentuk zona rizosfer yang kaya oksigen sehingga perkembangan tanaman melati air menjadi lebih subur. Hal ini sesuai dengan penelitian Wirawan, (2010) dimana pelepasan oksigen oleh akar tanaman melati air menyebabkan kerikil dan tanah humus disekitar rambut akar memiliki oksigen terlarut yang lebih tinggi, sehingga

organisme pengurai seperti bakteri aerob dapat hidup dalam lingkungan berkondisi anaerob.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

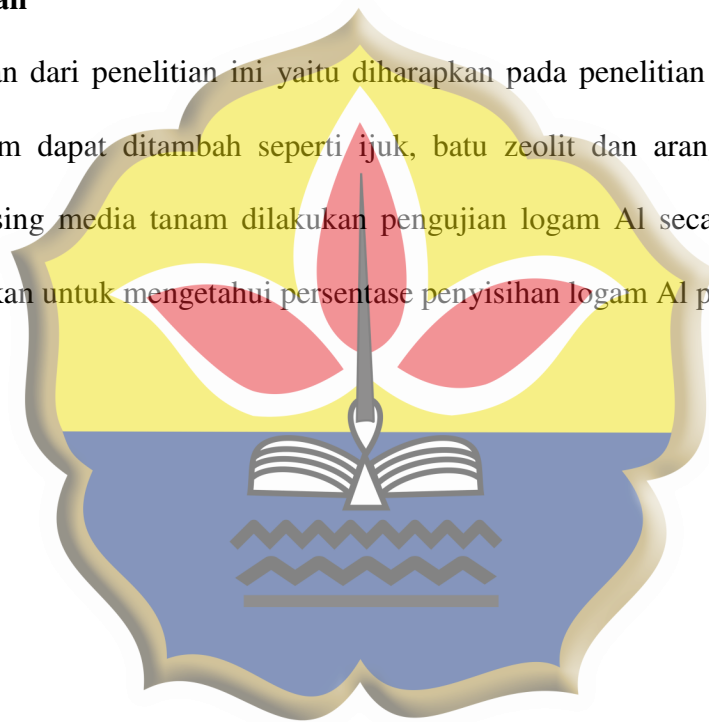
Dari uraian yang telah dipaparkan pada sub bab sebelumnya, kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

1. Persentase penyisihan konsentrasi logam Al pada bak fitoremediasi II (tanpa media) dengan waktu tinggal 3 hari, 5 hari, 7 hari, 9 hari dan 11 hari dengan persentase penurunan sebagai berikut: 50%, 67%, 75%, 81%, dan 86% dan untuk bak fitoremediasi I dengan persentase penyisihan 46%, 62%, 72%, 80% dan 83%. Dapat dilihat dari persentase penurunan konsentrasi logam Al tertinggi terjadi pada bak fitoremediasi II dikarenakan tanaman memiliki mekanisme tersendiri untuk menstimulasi bioavailabilitas ion-ion logam pada lingkungan rhizosfernya agar dapat diserap melalui akar. Proses masuknya logam Al ke dalam akar tanaman dapat melalui jalur apoplas korteks akar secara transport pasif dan kemudian ditransportkan melalui jalur simplasmik ke organ lain seperti batang dan daun.
2. Penyerapan logam Al pada akar tanaman melati air pada bak fitoremediasi I dengan waktu kontak yang dilakukan selama 11 hari sebesar 898,10 mg/l, sedangkan dan bak fitoremediasi II sebesar 302,42 mg/l. Tingginya serapan Al pada bak fitoremediasi I dikarenakan tidak adanya media tanam sehingga penyerapan logam Al terjadi lebih optimal namun tanaman mengalami daya

regenerasi yang rendah karena tidak adanya media tanam menyebabkan kurangnya zona rizosfer yang terbentuk sehingga menghasilkan sedikit oksigen dibandingkan pada bak fitoremediasi II yang memiliki media tanam berupa kerikil dan tanah humus yang dapat membentuk zona rizosfer yang kaya oksigen dan memiliki regenerasi lebih tinggi.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini yaitu diharapkan pada penelitian berikutnya variasi media tanam dapat ditambah seperti ijuk, batu zeolit dan arang aktif serta pada masing-masing media tanam dilakukan pengujian logam Al secara spesifik hal ini diperuntukkan untuk mengetahui persentase penyisihan logam Al pada media tanam.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. Kimia Lingkungan. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Banjar, Akbar. 2015. Analisis Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Akar, Kulit Batang, Daun Mangrove (*Avicennia marina*) dan Sedimen, Tanjung Bunga Makassar [skripsi]. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Basset, j. 2013, Buku Ajar Vogel Kimia Analisa Kualitatif Anorganik. Edisi Empat. Jakarta: EGC
- Buckman, H. 1974. *Sifat dan Ciri Tanah*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Caroline, Jenny. Guido Arron Moa. *Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Ehcinodorus palaefolius*) Pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan*. ISBN 978-602-98569-1-0. 2015 2(12).
- Chaney R. L. et al. 1995. *Potential use of metal hyperaccumulators*. Mining Environ Manag. 3:9-11.
- Cheung, R. C. K. Chan, M. H. M. Ho. C. S. Lam, C. W. K. and Lau, E. L. K. 2001. *Heavy Metal Poisoning Clinical Significance and Laboratory Investigation*. Asia Pasific Analyte Notes. B. D Indispensable to Human Health. Vol 7. No. 1 th 2001. Hong Kong.

Connel dan Miller, 1995, *Kimia dan Etoksikologi Pencemaran*, diterjemahkan oleh Koestoer, S., hal. 419, Indonesia University Press, Jakarta.

Corseuil, H. X and F. N. Moreno. 2000. *Phytoremediation Potential Of Willow Trees For Aquifers Cortaminated With Ethanol-Blended Gasoline*. PergamonPress. Elsevier Science Ltd.

Djayadiningrat, S. (ed). *Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia 1992: 20 tahun Stockholm*. Kantor Meneg KLH.

Feller, A. K. 2000. *Bioremediation of Contamination Soils : Phytoremediation of soils dan waters contaminated with arsenics from former chemical warfare installation*. Marcek Dekker, New York. Hlm 771.

Gabrielli R, Mattioni C, Vergnano O. 1991. *Accumulation Mechanisms and heavy metal tolerance of a nickel hyperaccumulator*. J Plant Nutr 14:1067-1080.

Gupta, S. Solanki Ajays. 2008, Effect of chromium metal present in industrial effluents being used for irrigation: A case study of Chopra Bariarea of Bikaner city (India), J Enviro Res Vol no 3(1).

Hall, JL. William, LE. 2003. Transition metal transporters in plants, Journal Exp Bot 54, oo. 2601-2613.

Hammer, W. I. 1981. *Soil Conservation Consultant Report Center for Soil Research*. LPT Bogor. Indonesia.

Hammer, M.J., 1986, *Water and Wastewater Technology SI Version*, John Wiley and Sons, Singapore.

Hammer, M. J. 2004. *Water and Wastewater Technology*. Fifth Edition. New Jersey : Prentice Hall.

Hegazy, AL. Ghani, AN. Chaghaby, GA. 2011, Phytoremediation of Industrial wastewater potentiality by typhadominginensis, J Environ Sci Tech 8 (3), pp. 639-648.

Imron, A.A. 2013. *Cara Membuat Media Pasir Steril Sebagai Media Tanam*. <http://ditjenbun.go.id>.diakses pada tanggal 15 april 2015.

Khiatuddin, M. 2003. *Melestarikan Sumberdaya Air dengan Teknologi Rawa Buatan*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Kristian, Sugiyarto H dan Suyanti, Retno D. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta : Graha Ilmu

Lahuddin, M., 2007. *Aspek Unsur Mikro Dalam Kesuburan Tanah*, USU Press, Medan.

Lasat MM, Baker AJM, Kochian LV. 1996. Physiological characterization of root Zn^{2+} absorption and translocation to shoot in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species of Thlapi. *Plant Physiol* 112:1715-1722.

Lasat. MM, 2002. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanism, *J Environ Qual* 31, pp. 109-120

Lectonen, S. 2009. "Systematics of The Alismataceae – A Morphological Evaluation". *Journal of Aquatic Botany* Vol. 91 : 279 – 290.

Lewis, T. E. 1990, *Enviromental Chemistry and Toxicity of Aluminium*, Lewis Publishers. Inc. Michigan.

Mariato, LA. 2001. *Kiat Mengatasi Permasalahan Praktis Tanaman Air*. Agromedia Pustaka. Tangerang.

Mary, S dan Azikin. 2003. *Penanganan Lumpur Instalasi Pengolahan Air Somba Opu*. Sulawesi Selatan.

McGrath SP, Shen ZG, Zhao FJ. 1997. Heavy metal uptake and chemical changes in rhizosphere of *Thlaspi Caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* grown in contaminated soils. *Plant Soil* 188:153-159.

Metcalf and Eddy, Inc. 2003. *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse*, McGraw Hill, Inc. New York.

Muhammad, Y. F. 2010. *Unsur Hara Makro dan Mikro*. Jakarta.

Murbandonu, L. 2001. *Membuat Kompos, Edisi Revisi*. Penebar Swadaya, Jakarta.

Mursito, B. 2011. *Tanaman Hias Berkhasiat Obat*. Penebar Swadaya, Depok.

Nisma, F. dan Budi, A. 2008. Seleksi Beberapa Tumbuhan Air Sebagai Penyerap Logam Berat Cd, Pb, Cu di Kolam Buatan FMIPA UHAMKA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka.

Padmaningrum, R. T., Aminatun T, Yuliati: Pengaruh Biomasa Melati air (*Echinodorus paleaefolius*) dan Teratai (*Nyphaea firecrest*) Terhadap Kadar Fosfat, Bod, Cod, Tss, dan Derajat Keasaman Limbah Cair Laundry. *Jurnal Penelitian Sainik* 2014, 19 (2) : 64-73.

Paryo. 2011. *Pertanian Tumpang Sari*. Pelosok Pedesaan: Indonesia.

Perusahaan Air Minum, 2010. *Detail Engineering Desain*. Jambi.

Perusahaan Air Minum, 2017. *Detail Engineering Desain*. Jambi.

Prayitno, 2013. **Pengurangan BOD dan COD Limbah Cair Terolah Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Tanaman Melati Air**. Majalah Kulit, Karet dan Plastik 29 (1), 27 – 42.

Salt DE. 2000. Phytoextraction: present applications and future promise. Di dalam: wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ, Inyang HI, Stottmeister U (ed). *Bioremediation of Contaminated Soils*. New York: Marcek Dekker Inc. hlm 729-743.

Santriyana, D.D. 2013. Eksplorasi Tanaman Fitoremediasi Aluminium (Al) yang Ditumbuhkan pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. Penelitian, Pontianak : Ilmu Tanah Tanjungpura.

Sasono, Endro dan Pungut. Penurunan Kadar BOD dan COD Air Limbah UPT Puskesmas Janti Kota Malang Dengan Metode Constructed Wetland. Jurnal Teknik Waktu Vol 11 No 01 ISSN : 1412-1867. 2013.

Sidauruk L, Patricius S. 2015. *Fitoremediasi lahan tercemar di kawasan industri medan dengan tanaman hias*. Jurnal Pertanian Tropik 2 (2): 178-186.

Singh, Rajender. 2006. Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology. New Delhi: New Age International.

Stowel, R. R. J. C, Ludwig and G. Thobanoglous. 1982. Toward The Rational Design of Aquatic Treatments of Wastewater. Departement of Civil Engineering and Land, Air and Water Resources. University of California. California.

Siringoringo. M. U. 2006. *Analisis Kualitas Fisik, Mikrobiologis dan Sisa Chlor Air PDAM Tirta Ncino Kabupaten Dairi*. Medan : FKM USU.

Subroto MA. *Fitoremediasi. Dalam Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi Dalam Pengelolaan Lingkungan*. Cibinong: 24 – Juni. 1996.

Suhardjo, A. J. 2008. *Geografi Perdesaan Sebuah Antologi*. Yogyakarta: Ide As Media.

Suherman, B. 2003, “Upaya Minimalisasi Kebutuhan Koagulan di PDAM” Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia Bersama dengan Seminar Nasional Soehadi Reksowardjo. Intitut Teknologi Bandung dan Fundamental & Aplikasi

Teknik Kimia 2003 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,
Yogyakarta tanggal 16 – 17 September 2003.

Supradata. 2005. *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (ssf-wetlands)*. Tesis. Semarang : Magister Ilmu Lingkungan UNDIP.

Suriawiria. 1993, *Penambahan Senyawa Kimia Pada Air Minum*. Yogyakarta: Kanisius.

Sutrisno, Totok. 2006. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Rineka Cipta : Jakarta.

Tangahu B.V, Abdullah S.R.S, Basri H, Idris M, Anuar N, Mukhlisin M. 2011. A *review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants Through Phytoremediation*. International Journal of Chemical Engineering, 1: 1-31

Tangahu, B.V. dan Warmadewanthi, I.D.A.A. 2001. Pengelolaan Limbah Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam sistem *Constructed Wetland, Jurnal Purifikasi*, Volume 2 Nomor 3, ITS – Surabaya.

Wise DL, Trantolo DJ, Cichon E, Inyang HI dan Stottmeister U (Eds.). 2000. *Bioremediation of Cotaminated Soils*. Marcek Dekker, New York, Basel.

Zayed, Am. Terry, N. 2003. Chromium in the environment: Factor affecting biological remediation. *Plant soil* 249: 139-156.



DOKUMENTASI



Gambar keadaan tanaman setelah dilakukan aklimatisasi tanaman dan siap untuk dilakukan eksperimen untuk bak fitoremediasi I (tanpa Media)



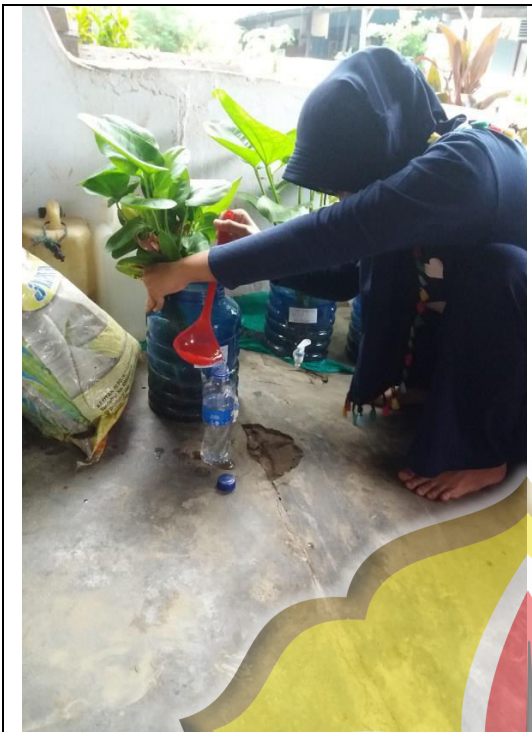
Gambar keadaan tanaman setelah dilakukan aklimatisasi tanaman dan siap untuk dilakukan eksperimen untuk bak fitoremediasi II (menggunakan media kerikil 3 cm dan tanah humus 5 cm)



Pengambilan Sampel hari ke-3 bak fitoremediasi I



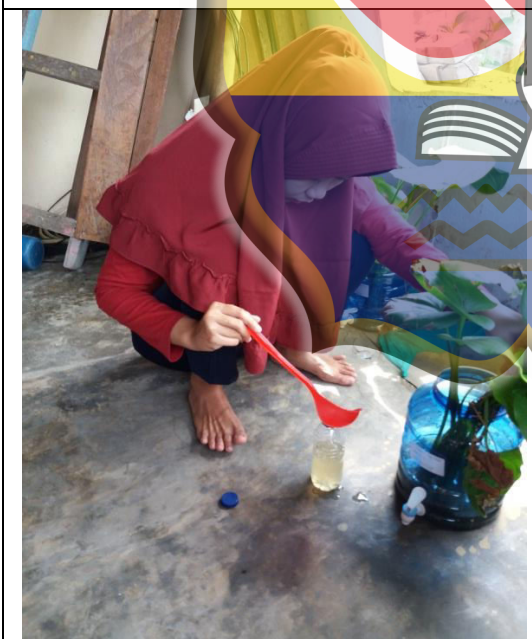
Pengambilan Sampel hari ke-3 bak fitoremediasi II



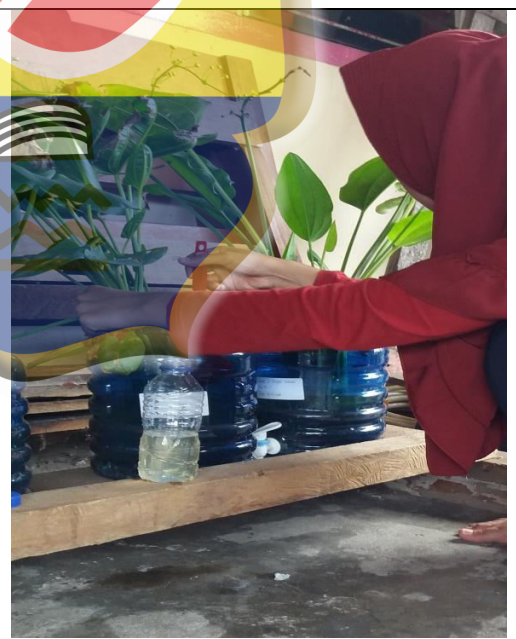
Pengambilan Sampel hari ke-5 bak
fitoremediasi I



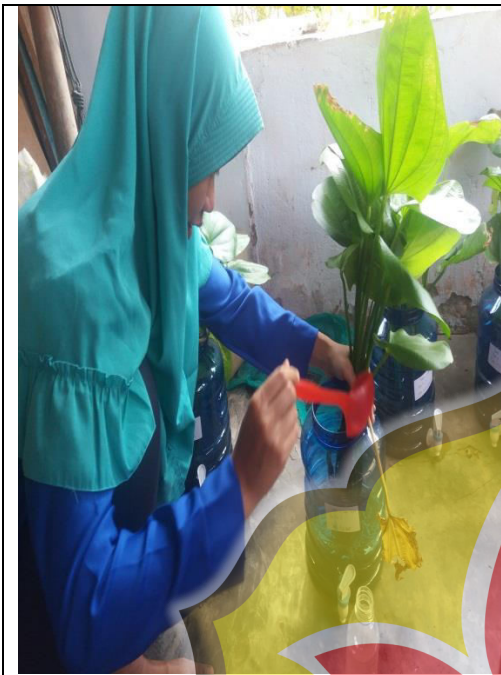
Pengambilan Sampel hari ke-5 bak
fitoremediasi II



Pengambilan Sampel hari ke-7 bak
fitoremediasi I



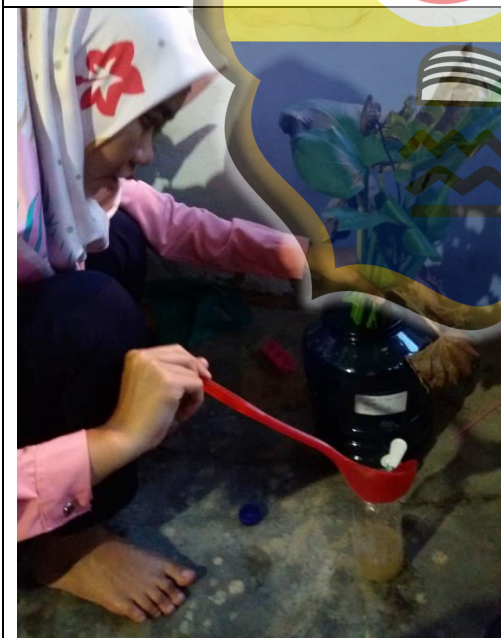
Pengambilan Sampel hari ke-7 bak
fitoremediasi II



Pengambilan Sampel hari ke-9 bak
fitoremediasi I



Pengambilan Sampel hari ke-9 bak
fitoremediasi II



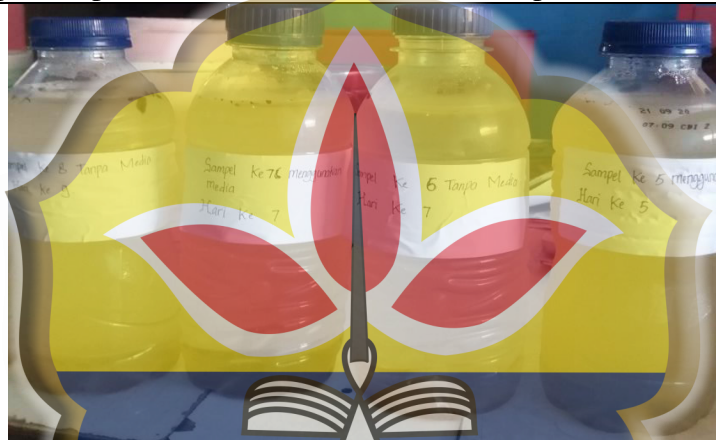
Pengambilan Sampel hari ke-11 bak
fitoremediasi I



Pengambilan Sampel hari ke-11 bak
fitoremediasi II



Sampel lumpur IPA PDAM setelah dilakukan proses fitoremediasi



Sampel lumpur IPA PDAM setelah dilakukan proses fitoremediasi



Sampel lumpur IPA PDAM setelah dilakukan proses fitoremediasi



YAYASAN PENDIDIKAN JAMBI
UNIVERSITAS BATANGHARI
Kampus : Jln. Slamet Riyadi (Broni) Jambi
Telp/fax (0741)60673, 668073

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Catur Endah Kartikawati
NIM : 1400825201017
Judul : Efektivitas Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) Sebagai Fitoremediasi Aluminium Pada Lumpur Instalasi Pengolahan Air di Tanjung Sari

Dosen Pembimbing I : Monik Kasman. ST. M.Eng. Sc

Dosen Pembimbing II : Anggrika Riyanti, ST, M.Si

NO	HARI/TANGGAL	URAIAN	TANDA TANGAN

Pembimbing I

Jambi, Juli 2019
pembimbing II

Monik Kasman. ST. M.Eng. Sc

Anggrika Riyanti, ST, M.Si