

**STUDI EFEKTIFITAS FITOREMEDIASI TANAMAN BAMBU
AIR DAN ZEOLIT GUNA MEREDUKSI LOGAM TIMBAL (Pb)
DAN SENG (Zn)**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI KONSERVASI SUMBER
DAYA AIR**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik



AISAH MAULIDYA
NIM. 145060400111004

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2019

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EFEKTIVITAS FITOREMEDIASI TANAMAN BAMBU AIR
DAN ZEOLIT GUNA MEREDUKSI LOGAM TIMBAL (Pb) DAN
SENG (Zn)

SKRIPSI

TEKNIK PENGAIRAN
KONSENTRASI KONSERVASI SUMBERDAYA AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AISAH MAULIDYA
NIM. 145060400111004

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 9 Januari 2019

Dosen Pembimbing I

Summa Yuliani, ST., MT., Ph.D
NIP. 19750723 200003 2 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Moh Sholichin MT., Ph.D
NIP. 19670602 199802 1 001



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Pengairan

Dr. Ir. Lissy Andawayanti, M.S.
NIP. 19610131 198609 2 001

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK PENGAIRAN

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia
Telp & Fax. : +62-341-562454
http://pengairan.ub.ac.id E-mail : pengairan@ub.ac.id

PERNYATAAN
ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya, di dalam Naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK/Strata-1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

(Peraturan Menteri Pendidikan Nasional RI No. 17 Tahun 2010, Pasal 12 dan Pasal 13)

Malang,
Mahasiswa



Nama : Aisah Maulidya
NIM : 145060400111004
Jurusan: TEKNIK PENGAIRAN



UNDANG – UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 20 TAHUN 2003 SISTEM PENDIDIKAN NASIONAL

Pasal 25 Ayat 3 :

Lulusan Perguruan Tinggi Yang Karya Ilmiahnya Digunakan Untuk Memperoleh Gelar Akademik, Profesi, Atau Vokasi Terbukti Merupakan Jiplakan Dicabut Gelarnya.

Pasal 70 :

Lulusan Yang Karya Ilmiah Yang Digunakan Untuk Mendapatkan Gelar Akademik, Profesi, Atau Vokasi Sebagaimana Dimakud Dalam Pasal 25 Ayat (2) Terbukti Merupakan Jiplakan Dipidana Penjara Paling Lama Dua Tahun Dan/Atau Pidana Denda Paling Banyak Rp. 200.000.000,00 (Dua Ratus Juta Rupiah).





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 4/UN10.F07.14.11/TU/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

AISAH MAULIDYA

Dengan Judul Skripsi :

STUDI EFEKTIFITAS FITOREMEDIASI TANAMAN BAMBU AIR DAN ZEOLIT GUNA
MEREDUKSI LOGAM TIMBAL (Pb) DAN SENG (Zn)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 23 JANUARI 2019

Ketua Jurusan Teknik Pengairan



Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS
NIP. 19610131 198609 2 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Pengairan



Dr. Very Dermawan, ST., MT
NIP. 19730217 199903 1001



Alhamdulillah

Teriring ucapan terimakasih kepada:

Allah SWT

*Ayah dan Ibu tercinta
dan Adikku*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan usulan skripsi ini. Penyusunan usulan skripsi yang berjudul “Studi Efektifitas Fitoremediasi tanaman Bambu Air dan Zeolit Guna Mereduksi Logam Timbal (Pb) dan Seng (Zn)”.

Usulan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat yang harus ditempuh mahasiswa Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam pengerjaan usulan skripsi ini masih banyak kekurangan sehingga usulan skripsi ini masih jauh dari sempurna, hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis.

Tidak lupa dengan kesungguhan serta rasa rendah hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D dan Ir. Moh Sholichin, MT., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penyusunan usulan skripsi ini.
2. Dian Chandrasasi, ST., MT dan Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS. selaku dosen penguji yang berkenan menguji usulan skripsi ini.
3. Dosen pembimbing akademik, Prof. Dr. Ir. Suhardjono, MPd, Dipl.HE yang telah memberikan waktu, motivasi, arahan dan dukungan selama penulis menempu perkuliahan.
4. Prasetyo Rubianto, SP., selaku Laboran di Laboratorium Tanah dan Air Tanah yang telah membantu dan memberikan arahan selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
5. Kedua orang tua penulis tercinta, Ibu dan Ayah yang telah dengan tulus, penuh kasih sayang dan kesabaran memberikan dorongan, dukungan serta doa yang tidak pernah putus.
6. Ayu Rahmanda, adek tercinta, terimakasih atas dukungan dan doanya.
7. Jenny, Erlia, Angel, Sunan, Indah, dan Dina terimakasih atas dukungan, bantuan selama perkuliahan hingga terselesainya skripsi ini.
8. Mifta, teman seperjuangan dalam skripsi. Terimakasih banyak karena membantu dalam banyak hal, hingga terselesainya penelitian ini.
9. Sonia, Wahyu dan Ulfia teman yang telah membantu dan mengajari saya dalam penyelesaian skripsi ini.

10. Teman-teman Teknik Pengairan angkatan 2014 dan semua pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya dan mudah-mudahan dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi kita semua.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan, sehingga penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun demi penyempurnaan selanjutnya.

Malang, 2019

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Tujuan Penelitian	3
1.6. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pencemaran Air	5
2.2. Air Limbah	5
2.2.1. Sumber Air Limbah	6
2.2.2. Karakteristik Limbah	7
2.3. Metode Pengolahan Limbah Cair	9
2.3.1. Pengolahan Secara Fisika	10
2.3.2. Pengolahan Secara Kimia	10
2.3.3. Pengolahan Secara Biologi	10
2.4. Saringan Pasir Lambat (<i>Slow Sand Filter</i>)	10
2.5. Fitoremediasi	12
2.6. Pengaruh Tanaman Air Dalam Mereduksi Pencemaran	14
2.7. Bambu Air	14
2.7.1. Klasifikasi Tanaman	14

2.7.2. Karakteristik Tanaman.....	17
2.8. Zeolit.....	18
2.8.1. Daya Serap Zeolit	19
2.8.2. Aktivasi Zeolit	19
2.9. Standar Kualitas Air.....	19
2.9.1. Standar Kualitas Air Secara Fisika	19
2.9.1.1. Suhu (T)	20
2.9.2. Standar Kualitas Air Secara Kimia	20
2.9.2.1. Derajat Keasaman (pH).....	20
2.9.2.2. Timbal (Pb)	21
2.9.2.3. Seng (Zn).....	22
2.10. Hipotesa	23
2.10.1. Uji Statistik	23
2.10.2. Interpretasi Data.....	24
2.10.3. Uji T	24
2.11. Analisa XRF.....	25
2.12. Penelitian Lain Yang Terkait	26
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1. Bahan Penelitian	29
3.1.1. Media Fitoremediasi	29
3.1.2. Media Filtrasi	29
3.1.3. Bahan Lainnya	29
3.2. Alat –alat yang Digunakan.....	30
3.2.1. Alat Instalasi	30
3.2.2. Alat Penelitian.....	30
3.3. Proses Pembuatan Limbah Sintetis.....	30
3.4. Pengambilan Sampel.....	32
3.5. Pengamatan Parameter	32
3.1.1. Pengukuran pH dan Suhu.....	32
3.1.2. Pengukuran Kandungan Pb.....	33
3.1.3. Pengukuran Kandungan Zn.....	33

3.6. Analisa Akar dan Batang Bambu Air dengan Metode XRF	33
3.5. Variabel Penelitian	34
3.7. Rancangan Instalasi.....	35
3.7. Rancangan Perlakuan	38
3.8. Parameter Pengamatan	38
3.9. Diagram Alir Penelitian	39
BAB IV PEMBAHASAN	41
4.1. Kondisi Awal Sampel Air Limbah.....	41
4.2. Pengaturan Air Limbah pada Alat	41
4.3. Komposisi Media Penyaring.....	42
4.3.1. Media Fitoremediasi.....	42
4.3.2. Media Saringan Pasir Lambat (SPL).....	43
4.4. Perhitungan Debit yang Mengalir pada Alat.....	44
4.5. Analisa Hasil Proses Penurunan Kandungan Parameter Air Limbah	45
4.5.1. pH (<i>power of Hydrogen</i>)	47
4.5.2. Timbal (Pb)	49
4.5.3. Seng (Zn).....	50
4.5.4. Suhu.....	52
4.6. Efisiensi.....	53
4.6.1. Efisiensi pH.....	53
4.6.2. Efisiensi Seng (Zn).....	56
4.7. Analisa Akar dan Batang pada Tanaman Bambu Air	59
4.8. Uji Statistik (Uji T)	62
BAB V PENUTUP	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Penelitian Fitoremediasi Terdahulu	26
Tabel 2.2.	Penelitian Mengenai Kemampuan Zeolit Mereduksi Logam Berat	27
Tabel 3.1.	Variabel Penelitian.....	34
Tabel 3.2.	Parameter Pengamatan.....	38
Tabel 4.1.	Hasil Uji Laboratorium Sampel Awal Tanggal 26 Oktober 2018	41
Tabel 4.2.	Hasil Pengukuran Debit ke Bak Fitoremediasi.....	44
Tabel 4.3.	Rangkaian Kegiatan Penelitian Fitoremediasi	46
Tabel 4.4.	Hasil Pengujian kadar pH pada limbah.....	47
Tabel 4.5.	Hasil Analisa Pengukuran Seng (Zn).....	50
Tabel 4.6.	Hasil Pengujian kadar suhu pada limbah	52
Tabel 4.7.	Presentase Kenaikan pH Bak A	53
Tabel 4.8.	Presentase kenaikan pH Bak B	54
Tabel 4.9.	Presentase Penurunan Zn Bak A.....	56
Tabel 4.10.	Presentase Penurunan Zn Bak B	57
Tabel 4.11.	Rekapitulasi Efisiensi Bak A dan Bak B	58
Tabel 4.12.	Hasil Analisis XRF pada Akar dan Batang Bambu Air Sebelum Perlakuan dengan Air Limbah	59
Tabel 4.13.	Hasil Analisis XRF pada Akar dan Batang Bambu Air Setelah Perlakuan dengan Air Limbah di Bak A.....	60
Tabel 4.14.	Hasil Analisis XRF pada Akar dan Batang Bambu Air Setelah Perlakuan dengan Air Limbah di Bak B	61
Tabel 4.15.	Uji Keseragaman Data Zn di Bak A	62
Tabel 4.16.	Uji Keseragaman Data Zn di Bak B	62

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Limbah Cair Industri	7
Gambar 2.2	Proses Fitoremediasi.....	13
Gambar 2.3	Bambu Air	17
Gambar 2.4	Prinsip Kerja XRF	25
Gambar 3.1	Tanaman Bambu Air	29
Gambar 3.2	Pasir Zeolit.....	29
Gambar 3.3	Alat Ukur pH dan Suhu	32
Gambar 3.4	Rancangan Percobaan Model 1 (Bak A)	35
Gambar 3.5	Rancangan Percobaan Model 2 (Bak B)	36
Gambar 3.6	Sketsa Alat Penjernih	37
Gambar 3.7	Tampak Samping Bak Penelitian	37
Gambar 3.8	Detail Sekat Y.....	38
Gambar 3.9	Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3.10	Diagram Alir Pembuatan Limbah Sintetis.....	40
Gambar 4.1	Selang Infus Sebagai Pengatur Kecepatan Aliran	42
Gambar 4.2	Perendaman Tanaman Bambu Air pada Bak Fitoremediasi.....	43
Gambar 4.3	Ketebalan Zeolit pada Bak Penelitian	43
Gambar 4.4	Tampak Depan Sketsa Ketebalan Zeolit Pada Bak Penelitian	44
Gambar 4.5	Grafik Nilai pH (derajat keasaman)	47
Gambar 4.6	Grafik Kontrol Nilai pH dengan Standar Kualitas Air	48
Gambar 4.7	Grafik Kontrol Nilai pH dengan Standar Kualitas Air	48
Gambar 4.8	Grafik hasil pengukuran kadar Zn pada Bak A	50
Gambar 4.9	Grafik hasil pengukuran kadar Zn pada Bak B	51
Gambar 4.10	Grafik hasil pengukuran kadar Zn	51
Gambar 4.11	Grafik hasil pengukuran suhu.....	52
Gambar 4.12	Grafik Presentase pH Bak A.....	54
Gambar 4.13	Grafik Presentase pH Bak B.....	55
Gambar 4.14	Grafik Presentase pH	55
Gambar 4.15	Grafik Presentase Penurunan Zn Bak A	56

Gambar 4.16	Grafik Presentase Penurunan Zn Bak B	57
Gambar 4.17	Grafik Presentase Penurunan Zn	58



RINGKASAN

Aisah Maulidya, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2019, *Studi Efektifitas Fitoremediasi Tanaman Bambu Air dan Zeolit Guna Mereduksi Logam Timbal (Pb) dan Seng (Zn)*, Dosen Pembimbing: Emma Yuliani dan Moch. Solichin.

Permasalahan pengelolaan dan pengolahan air limbah yang tidak memenuhi syarat baku mutu limbah cair tidak hanya dialami oleh masyarakat umum saja, akan tetapi juga dialami oleh masyarakat industri. Masalah air limbah yang kurang memenuhi syarat tersebut akan sangat berpengaruh terhadap tingkat kualitas lingkungan, khususnya lingkungan perairan. Unsur logam yang terkandung dalam limbah cair tersebut bisa berupa Timbal (Pb), Seng (Zn), dan masih banyak lagi.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah kombinasi antara metode fitoremediasi dan metode saringan pasir lambat. Tanaman yang digunakan sebagai media fitoremediasi adalah Bambu Air. Pada metode saringan pasir lambat, media yang digunakan adalah zeolit alam dengan diameter butiran berkisar 1-2 mm. Rancangan percobaan ini terdiri dari 2 bak. Dimana Jumlah tanaman menjadi variabel, yaitu pada bak A jumlah tanaman adalah 60 batang dan pada bak B jumlah tanaman adalah 100 batang. Parameter uji pada penelitian adalah suhu, pH, Timbal dan Seng. Air limbah yang digunakan menggunakan limbah buatan dengan kadar Pb dan Zn. Air limbah yang telah dibuat ditampung dalam tandon yang selanjutnya dialirkan pada setiap bak. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke 0, 7, 14 dan 21 dan langsung dianalisa sesuai parameter yang telah ditentukan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model rancangan percobaan menggunakan air limbah sintetis dengan tanaman Bambu Air dan Zeolit Alam memiliki hasil yang berbeda di setiap baknya. Pada bak A prosentase penurunan kadar Zn terbesar adalah 46,429% dan pada bak B adalah 90,476%. Sedangkan pH yang dihasilkan bak A dan bak B sudah sesuai standar baku mutu air. Dapat disimpulkan bahwa rancangan percobaan pada bak B dengan jumlah tanaman 100 batang lebih efektif bila dibandingkan bak A dengan jumlah tanaman 60 batang.

Kata Kunci: Fitoremediasi, Saringan Pasir Lambat, Zeolit Alam, Bambu Air

SUMMARY

Aisah Maulidya, Departmen of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2019, *Study of The Effectivity Water Bamboo Phytoremediation and Zeolit to Reduce Lead (Pb) and Zinc (Zn) Metal*. Supervisor: Emma Yuliani and Moch Sholichin.

The problem of managing and treating wastewater that does not fulfil the requirements of wastewater quality standard not only experienced by the geberal public, but also for industrial society. The problem of wastewater that less qualified would have a major affect to the environment quality, especially the aquatic environment. The metal elements contained in the liquid waste can be lead (Pb), zinc (Zn), and still many more.

This study is using a method that obtained from combination of Phytoremediation and Slow Sand Filter method. The plant that used for phytoremediation is “Water Bamboo” and the media for doing slow sand filter method is natural zeolite, with 1 to 2 mm diameter. There are 2 experimental designs. The quantity of plants as variables, that is in 1st design (A) is using 60 stems water bamboo and in 2nd design is using 100 stems water bamboo. Test parameter of this experiments are temperature, degree of pH, and concentration of both lead metal (Pb) and zinc (Zn). The wastewater is using artificial wastewater that contain Pb and Zn metal. Wastewater that has been made and be held in reservoir of wich later distributed on each a tub. The sampling of this research will be taken in 0, 7, 14, and 21 days and then be directly analyzed.

The result of this study indicate that the design model use synthetic experiment with wastewater of water bamboo and the zeolites nature having different results in each experimental design model using artificial wastewater with water bamboo in each design. 1st design (A) has highest decresing percentage of zinc (Zn) concentration, 46,429% and in 2nd design (B) has highest decresing percentage of zinc (Zn) concentration, 90,476%. Furthemore, the degre of pH in each experiment indicates apprpriate result to standart. It can be concluded that the most effective was trial design with quantity 100 stems water bamboo.

Keywords: Phytoremediation, Slow Sand Filter, Natural Zeolite, Water Bamboo.

BAB I **PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang

Air merupakan zat yang paling penting dalam kehidupan setelah udara. Sekitar per empat bagian dari tubuh kita terdiri dari air dan tidak seorangpun dapat bertahan hidup lebih dari 4-5 hari tanpa minum air. Selain itu, air juga dipergunakan untuk memasak, mencuci, mandi, dan membersihkan kotoran yang ada di sekitar rumah. Air juga digunakan untuk keperluan industri, pertanian, pemadam kebakaran, tempat rekreasi, transportasi, dan lain – lain (Chandra, 2007, p.39).

Kebutuhan manusia yang semakin meningkat terhadap sumber daya alam khususnya air menyebabkan berbagai dampak negatif berupa pencemaran dan kerusakan lingkungan. Salah satunya adalah aktifitas industri yang banyak membuang limbahnya ke perairan secara langsung. Dalam air limbah industri banyak terdapat kandungan logam berat yang berasal dari sisa hasil olahan industri di diantaranya adalah kandungan Timbal (Pb) dan Seng (Zn). Kandungan unsur – unsur tersebut dalam perairan dengan jumlah yang tinggi sangat berbahaya bagi lingkungan. Pencemaran air oleh limbah industri dapat terlihat secara visual dan juga dapat tercium baunya, air cenderung berwarna kecoklatan hingga gelap serta bau yang menyengat. Hal ini tentu akan mengganggu aktifitas sehari – hari.

Padadasarnya Zn bukanlah unsur radioaktif sehingga unsur tersebut pada konsentrasi rendah memiliki fungsi secara biologis. Zn dibutuhkan untuk proses metabolisme dalam tubuh, tetapi dalam kadar tinggi dapat bersifat racun. Sedangkan Pb jika masuk ke dalam tubuh lewat makanan atau menghirup uap timbal dalam waktu yang relatif pendek dengan kadar yang relatif tinggi maka akan menyebabkan keracunan akut.

Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, masalah pencemaran air limbah dapat di atasi salah satunya dengan cara biologis yaitu fitoremediasi menggunakan sarana tanaman air. Tanaman air dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk pengolahan air limbah secara biologis. Tanaman air ini mempunyai kemampuan menyerap polutan yang ada pada air limbah tersebut. Maka dari itu, penelitian ini mengenalkan metode fitoremediasi dengan menggunakan media tanaman Bambu Air sebagai penyerap dan digabungkan dengan metode saringan pasir lambat dengan media zeolit.

1.2. Identifikasi Masalah

Kandungan Timbal (Pb) dan Seng (Zn) yang tinggi dalam perairan selain dapat mencemari lingkungan juga berbahaya bagi kesehatan. Oleh karena itu kandungan Pb dan Zn dalam perairan harus sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

Salah satu cara untuk mengurangi kadar polutan tersebut adalah dengan melakukan penyaringan dengan menggunakan tanaman air dan dikombinasikan dengan saringan pasir lambat. Dengan teknik fitoremediasi dan saringan pasir lambat diharapkan dapat meningkatkan kualitas air bersih yang dihasilkan.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi di atas, maka rumusan masalah dalam studi ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan percobaan menggunakan limbah buatan dengan media tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dan Zeolite?
2. Berapa waktu optimal yang dibutuhkan untuk mereduksi logam Pb dan Zn?
3. Bagaimana efektifitas tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dan Zeolite dalam mengurangi kandungan logam Pb dan Zn pada sampel air limbah yang di uji?
4. Bagaimanakah analisa hasil uji XRF tanaman Bambu Air terhadap sampel air limbah sintesis?

1.4. Batasan Masalah

Adapun pembahasan pada penelitian ini dibatasi pada beberapa masalah sebagai berikut:

1. Sampel yang diuji adalah air limbah sintesis dengan kandungan Pb dan Zn
2. Tidak membahas analisa biaya dan analisa ekonomi.
3. Nilai evaporasi dihilangkan.
4. Parameter Uji:
 - a. Derajat Keasaman (pH)
 - b. Kandungan Timbal (Pb)
 - c. Kandungan Seng (Zn)
5. Jenis tanaman air yang dipakai adalah Bambu Air (*Equisetum hyemale*).
6. Tanaman yang dipakai dalam penelitian ini adalah tanaman yang sudah tumbuh dengan umur kira-kira 1-2 bulan supaya tidak memakan waktu lama dalam pelaksanaan penelitian. Media pada metode saringan pasir lambat yang dipakai adalah zeolite granule dengan diameter butiran 2 mm.

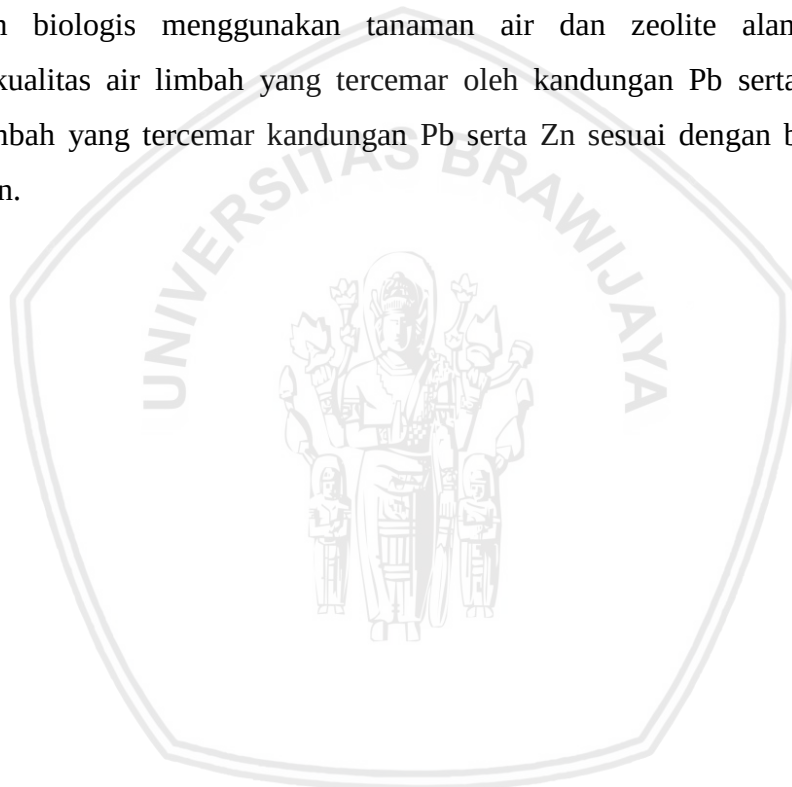
1.5. Tujuan Penelitian

Dengan memperhatikan rumusan masalah, tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui rancangan percobaan menggunakan air limbah buatan dengan media tanamn Bambu Air dan Zeolite.
2. Mengetahui waktu optimal yang dibutuhkan untuk mereduksi logam Pb dan Zn.
3. Mengetahui efektifitas tanman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dan Zeolit dalam mengurangi kandungan logam Pb dan Zn pada sampel limbah yang di uji.
4. Mengetahui hasil uji XRF tanaman bambu air terhadap sampel limbah yang di uji.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui upaya reduksi logam Pb dan Zn dengan sistem biologis menggunakan tanaman air dan zeolite alam agar dapat memperbaiki kualitas air limbah yang tercemar oleh kandungan Pb serta Zn dan agar kualitas air limbah yang tercemar kandungan Pb serta Zn sesuai dengan batas ijin yang telah ditentukan.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran Air

Pencemaran air terjadi bila ada suatu zat atau keadaan (proses) yang mempengaruhi dan menurunkan kualitas air sehingga tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan atau tidak dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya. Tetapi, perlu diingat, air terdiri atas berbagai jenis yang memiliki peruntukan yang berbeda.

Air yang diketahui telah terlalu tercemar untuk air minum, belum tentu tercemar untuk keperluan pengairan. Demikian pula air yang telah tercemar sebagai sumber pengairan, mungkin masih dapat dipakai sebagai bahan baku industri. Meskipun demikian, setiap jenis air tentu ada ambang batas mutu yang harus dipenuhinya.

Menurut PP No 82 Tahun 2001, klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas yaitu:

- a. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi, pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut

2.2. Air Limbah

Limbah adalah benda sisa yang keberadaannya sudah tidak dipergunakan lagi karena tidak mempunyai nilai ekonomis. Limbah dapat mengandung bahan pencemar yang bersifat racun dan berbahaya. Oleh karena itu perlu dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan gangguan, baik terhadap lingkungan maupun terhadap kehidupan yang ada

Limbah cair merupakan salah satu limbah yang dapat menyebabkan pencemaran. Air limbah biasanya berasal dari rumah tangga, industri, dan tempat umum lainnya. Air limbah pada umumnya mengandung bahan atau zat yang dapat membahayakan kesehatan manusia serta mengganggu lingkungan hidup (Utassia, 2016, p.5).

Volume air limbah setiap harinya sangat besar karena lebih kurang 80% dari air yang digunakan bagi kegiatan manusia sehari – hari tersebut dibuang lagi dalam bentuk yang sudah kotor (tercemar). Oleh karena itu, air buangan ini harus dikelola dan atau diolah secara baik (Utassia, 2016, p.5).

Air limbah merupakan cairan yang sudah tidak dipergunakan lagi, akan tetapi apabila air limbah ini tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan dampak dan gangguan terhadap lingkungan. Adapun gangguan tersebut antara lain:

a. Gangguan terhadap kesehatan

Mengingat bahwa banyak penyakit yang dapat ditularkan melalui air limbah. Air limbah yang ada hanya berfungsi sebagai media pembawa saja seperti penyakit kolera, radang usus, hepatitis.

b. Gangguan terhadap biotik

Dengan banyaknya pencemaran yang ada di dalam air limbah, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut dalam air.

c. Gangguan terhadap keindahan

Semakin banyak zat organik yang dibuang, maka dapat menyebabkan air mengalami proses pembusukan dari zat organik yang ada di dalamnya sebagai akibat selanjutnya adalah timbul bau dari zat organik yang sangat menusuk hidung.

d. Gangguan terhadap benda

Apabila air limbah mengandung gas karbondioksida yang agresif, maka mau tidak mau akan mempercepat proses terjadinya karat pada benda yang terbuat dari besi serta gangguan air kotor lainnya.

2.2.1 Sumber Air Limbah

Sumber asal air limbah adalah berupa kotoran yang ada di lingkungan masyarakat sebagai dampak dari aktivitas manusia sehari-hari. Sumber-sumber air limbah ini dapat berasal dari limbah industri, limbah rumah tangga, dan air tanah.

a. Air Limbah Rumah Tangga

Sumber utama air limbah rumah tangga di masyarakat adalah berasal dari perusahaan dan daerah perdagangan. Adapun sumber lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah perkantoran atau lembaga serta daerah fasilitas rekreasi.

b. Air Limbah Industri

Jumlah air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses produksi.



Gambar 2.1 Limbah Cair Industri

Sumber: Anonim, 2018

c. Air Limbah Rembesan dan Tumbuhan

Apabila turun hujan di suatu daerah, maka air turun secara cepat akan mengalir masuk ke dalam saluran air hujan. Apabila saluran ini tidak mampu menampungnya, maka limpahan air hujan akan digabung dengan saluran air limbah, dengan demikian merupakan tambahan yang sangat besar. Oleh karena itu perlu diketahui curah hujan yang ada sehingga banyaknya air akan ditampung melalui saluran air hujan dan saluran air limbah yang didapat diperhitungkan.

2.2.2 Karakteristik Limbah

Karakteristik limbah cair dapat diketahui menurut sifat – sifat dan karakteristik kimia, fisika, dan biologis. Studi karakteristik limbah perlu dilakukan agar dapat dipahami sifat – sifat tersebut serta konsentrasinya dan sejauh mana tingkat pencemaran dapat ditimbulkan limbah terhadap lingkungan (Ginting, 2007, p.45).

Dalam pemeriksaan analisis limbah tidak seluruh parameter dianalisis melainkan hanya parameter kunci saja yaitu parameter yang dianggap paling berpengaruh terhadap kondisi lingkungan. Dengan adanya variasi nilai parameter dapat diketahui sejauh mana limbah dapat memberikan dampak pencemaran terhadap komponen lingkungannya. Apakah limbah itu mempunyai sifat pencemaran tinggi dan dapat membahayakan manusia yang tinggal disekitarnya. Dengan tersedia nilai – nilai parameter ini dapat ditetapkan metode pengendaliannya (Ginting, 2007, p.46).

Secara garis besar karakteristik air limbah ini digolongkan sebagai berikut:

a. Sifat Fisik

- Padatan

Dalam limbah ditemukan zat padat yang secara umum diklasifikasikan kedalam dua golongan besar yaitu padatan terlarut dan padatan tersuspensi. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel koloid dan partikel biasa. Jenis partikel dapat dibedakan berdasarkan diameternya. Jenis padatan terlarut dan tersuspensi dapat bersifat organis maupun sifat inorganis tergantung dari mana sumber limbah. Padatan tersuspensi mempunyai diameter yang lebih besar daripada padatan terlarut. Padatan tersuspensi mempunyai diameter antara 0.01 mm – 0,001 mm.

- Kekeruhan

Sifat keruh air dapat dilihat dengan mata secara langsung karena ada partikel koloidal (diameter 10 – 8 μ mm) yang terdiri dari kwartz, tanah liat, sisa bahan - bahan, protein dan ganggang yang terdapat dalam limbah. Kekeruhan merupakan sifat optis larutan. Sifat keruh membuat hilang nilai estetikanya.

- Bau

Sifat bau limbah disebabkan karena zat – zat organik yang telah berurai dalam limbah mengeluarkan gas – gas seperti sulfida atau amoniak yang menimbulkan tidak enak bagi penciuman disebabkan adanya campuran dari nitrogen, sulfur dan fosfor yang berasal dari pembusukan protein yang dikandung limbah. timbulnya bau yang diakibatkan limbah merupakan suatu indikator bahwa terjadi proses alamiah.

- Temperatur

Limbah yang mempunyai temperatur panas yang akan mengganggu pertumbuhan biota tertentu. Suhu berfungsi memperlihatkan aktifitas kimiawi dan biologis. Pada suhu tinggi pengentalan cairan berkurang dan mengurangi sedimentasi. Tingkat zat oksidasi lebih besar pada suhu tinggi dan pembusukan jarang terjadi pada suhu rendah.

- Warna

Warna berkaitan dengan kekeruhan, dan dengan menghilangkan kekeruhan kelihatan warna nyata. Warna juga dapat disebabkan zat – zat terlarut dan zat tersuspensi. Warna menimbulkan pemandangan yang jelek dalam air limbah meskipun warna tidak menimbulkan sifat beracun.

b. Sifat Kimia

Karakteristik kimia air limbah ditentukan oleh *biochemical oksigen demand* (BOD), *chemical oksigen demand* (COD) dan logam – logam berat yang terkandung dalam air

limbah. Secara garis besar karakteristik air limbah berdasarkan sifat kimia digolongkan sebagai berikut:

- *Biochemical Oksigen Demand (BOD)*
- *Chemical Oksigen Demand (COD)*
- Methan
- Keasaman Air
- Alkalinitas
- Lemak dan Minyak
- Oksigen Terlarut
- Logam – Logam Berat dan Beracun

c. Sifat Biologis

Bahan – bahan organik dalam air terdiri dari berbagai macam senyawa. Protein adalah salah satu senyawa kimia organik yang membentuk rantai kompleks, mudah terurai menjadi senyawa – senyawa lain seperti asam amino. Penyebab bau busuk pada suatu limbah adalah dekomposisi dari zat – zat tersebut dalam jumlah besar.

Kandungan bakteri patogen serta organisme golongan coli terdapat juga dalam air limbah tergantung darimana sumbernya namun keduanya tidak berperan dalam proses pengolahan air buangan.

Sesuai dengan zat – zat yang terkandung didalam air limbah ini maka air limbah yang tidak diolah terlebih dahulu akan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan masyarakat dan lingkungan hidup antara lain:

- Menjadi media berkembang biaknya mikroorganisme patogen.
- Menimbulkan bau yang tidak enak serta pandangan yang tidak sedap.
- Mengurangi produktivitas manusia karena orang bekerja dengan tidak nyaman.

Untuk mencegah atau mengurangi akibat – akibat buruk tersebut di atas diperlukan kondisi, persyaratan dan upaya – upaya sedemikian rupa sehingga air limbah tersebut:

- Tidak mengakibatkan kontaminasi terhadap sumber air.
- Tidak mengakibatkan pencemaran terhadap permukaan tanah.
- Tidak dapat dihinggapi serangga dan tikus dan tidak menjadi tempat berkembang berbagai penyakit dan vektor.

2.3. Metode Pengolahan Limbah Cair

Prinsip dasar pengolahan limbah cair adalah menghilangkan atau mengurangi sebesar-besarnya kontaminasi yang terdapat dalam limbah cair sehingga hasil olahan

limbah tersebut tidak mengganggu lingkungan apabila dibuang ke tanah atau badan air penerima (Fitria, 2015, p.6).

2.3.1. Pengolahan Secara Fisika

Pada umumnya, sebelum dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air buangan, diinginkan agar bahan – bahan tersuspensi berukuran besar dan yang mudah mengendap atau bahan – bahan yang terapung disisihkan terlebih dahulu. Penyaringan (screening) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar. Bahan tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisihkan secara mudah dengan proses pengendapan. Parameter desain yang utama untuk proses pengendapan ini adalah kecepatan mengendap partikel dan waktu detensi hidrolis di dalam bak pengendap.

2.3.2. Pengolahan Secara Kimia

Pengolahan air buangan secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel – partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam – logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Penyisihan bahan-bahan tersebut pada prinsipnya berlangsung melalui perubahan sifat bahan – bahan tersebut, yaitu dari tak dapat diendapkan menjadi mudah diendapkan (flokulasi – koagulasi), baik dengan atau tanpa reaksi oksidasi – reduksi, dan juga berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi.

2.3.3. Pengolahan Secara Biologi

Semua air buangan diolah secara biologi. Sebagai pengolahan sekunder, pengolahan secara biologi dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien. Dalam beberapa dasawarsa telah berkembang berbagai metode pengolahan biologi dengan berbagai modifikasinya. Dalam prakteknya saat ini, teknologi pengolahan limbah cair mungkin tidak lagi sesederhana seperti dalam uraian diatas. Namun pada prinsipnya, semua limbah yang dihasilkan harus melalui beberapa langkah pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan atau kembali dimanfaatkan dalam proses produksi, dimana uraian diatas dapat dijadikan sebagai acuan.

2.4. Saringan Pasir Lambat (*Slow Sand Filter*)

Saringan pasir lambat dapat digunakan untuk menyaring air keruh ataupun air kotor. Ada dua jenis proses penyaringan yang terjadi pada saringan pasir lambat, yaitu secara fisika dan secara biologi. Partikel-partikel yang ada dalam sumber air yang keruh secara fisik akan tertahan oleh lapisan pasir, disisi lain, bakteri-bakteri akan tumbuh dan berkembang biak. Saat ini proses filtrasi pathogen yang tertahan oleh saringan akan dimusnahkan oleh bakteri tersebut. Secara berkala pasir dan kerikil harus dibersihkan,

hal ini untuk menjaga kualitas air bersih yang dihasilkan selalu terjaga dan yang terpenting adalah tidak terjadi penumpukan pathogen atau kuman pada saringan.

Jenis-jenis saringan pasir lambat:

- Saringan pasir lambat model *down-flow* atau konvensional
Merupakan saringan pasir lambat dengan menggunakan sistem aliran penyaringan dari atas ke bawah, dimana cara pencucian media saring atau filternya dilakukan secara manual.
- Saringan pasir lambat model *up flow*
Merupakan saringan pasir lambat dengan menggunakan sistem aliran penyaringan dari bawah ke atas yang mempunyai keunggulan dalam hal pencucian media saring yang lebih mudah dibandingkan dengan model *down flow*.

Menurut Budiyo dan Sumardiono (2013) saringan jenis ini adalah saringan yang pertama kali digunakan, tetapi sekarang ini sudah jarang dipakai. Kecepatan filtrasinya amat rendah sekitar 55 juta liter/hari.Ha (untuk jenis saringan cepat 1400 juta liter/hari.Ha).

Filter ini terdiri dari lapisan kerikil dan berjenis ukuran dari pasir. Dilengkapi dengan *under draining* (Sistem pengambilan air dari bawah dan telah disaring). Karakteristik dari saringan pasir lambat ini adalah:

1. *Adaptability*, artinya bila tidak digunakan dapat digantikan dengan saringan pasir cepat. Bisa digunakan baik untuk musim kering maupun musim beku.
2. Mempunyai bentuk yang lebih sederhana. Operasinya juga sederhana, efisiensi penghilangan bakterinya juga tinggi.
3. Kecepatan filtrasinya sekitar 55 juta liter/hari.Ha
4. Efisiensi penghilangan bakterinya sekitar 99%
5. Kekeruhan air yang disaring terbatas, tidak bisa lebih dari 50 ppm.
6. Tidak baik untuk mengolah air yang warnanya lebih dari 30 standart warna (Pt-Co).
7. *Flexibilitynya* kecil, artinya tidak dapat mengolah air yang kecepatannya berubah-ubah.
8. Susunan lapisan pasir dan kerikilnya biasanya berbentuk segi empat dengan luas $0.1=0.4$ Ha.

Untuk unit-unit pengolahan yang besar ukuran dari filter bisa sampai $60 \times 45 \text{ m}^2$. Jumlah dari unit filter yang digunakan untuk pengolahan yang besar biasanya ada 2 unit, satu beroperasi sedangkan satunya sebagai cadangan (untuk riset).

Pencucian saringan pasir lambat dilakukan bila sudah terjadi kekeruhan pada air yang telah disaring, biasanya 2-3 bulan sekali. Cara pencuciannya cukup sederhana, yaitu dengan mengambil 5 cm lapisan pasir teratas, kemudian mencuci bagian ini kemudian memasukkan lagi ke tempatnya semula. Hal ini dianggap bahwa kekeruhan tidak dapat menembus lapisan pasir setelah 5 cm teratas.

2.5. Fitoremediasi

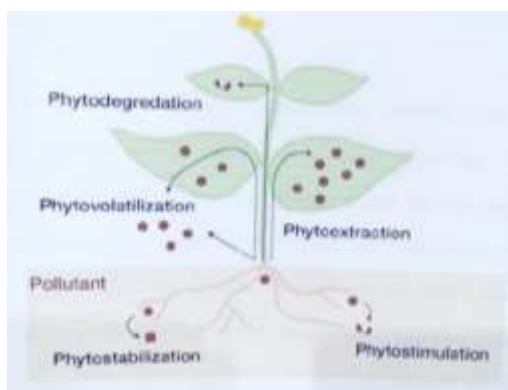
Konsep fitoremediasi pertama kali diusulkan oleh Chaney (1983) pada dasarnya adalah penggunaan tumbuhan dan asosiasi mikroba tanah untuk mengurangi konsentrasi atau mengurangi pengaruh meracun bahan pencemar dalam lingkungan. Fitoremediasi dapat digunakan untuk menyingkirkan logam berat, radionuklida, dan pencemar organik (seperti hidrokarbon aromatik, dan pestisida). Istilah 'fitoremediasi' adalah kombinasi dari dua kata yaitu, *phyto* yang berarti tumbuhan, dan *remedium* yang berarti memperbaiki atau membuang makhluk jahat. Tumbuhan hijau memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap bahan pencemar dari lingkungan dan menetralkan daya racun bahan pencemar yang diserapkan melalui berbagai mekanisme. Fitoremediasi merupakan strategi remediasi yang dikendalikan oleh sinar matahari yang murah, efisien, dapat diterapkan *in situ* serta ramah lingkungan.

Konsep mengolah air limbah dengan menggunakan media tanaman atau lebih populer disebut *phytoremediasi* yang telah lama dikenal oleh manusia, bahkan digunakan juga untuk mengolah limbah berbahaya (B3) atau untuk limbah radioaktif lingkungannya. Proses dalam sistem ini berlangsung secara alami dengan enam tahap proses secara serial yang dilakukan tumbuhan terhadap zat kontaminan/pencemar yang berada disekitarnya. Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasanya dalam kadar yang luar biasa tinggi.

Kebanyakan tumbuhan mengakumulasi logam (setara dengan 0.001 %), tetapi tumbuhan hiperakumulator logam mampu mengakumulasikan hingga 11% BK. Batas kadar logam yang terdapat dalam biomassa agar suatu tumbuhan dapat disebut hiperakumulator berbeda – beda bergantung pada jenis logamnya.

Menurut Siregar dan Siregar (2010) dalam Irhamni (2017), proses yang terjadi pada fitoremediasi berlangsung secara alami dengan enam tahap proses yang dilakukan tumbuhan terhadap zat kontaminan yang berada di sekitarnya, prosesnya antara lain:

- a. *Phytoaccumulation (Phytoextraction)* yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dan media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*.
- b. *Rhyzofiltration* adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar serta nilai ekonominya untuk menempel pada akar. Proses ini telah dibuktikan dengan percobaan menanam bunga matahari pada kolam mengandung zat radioaktif di Chernobyl Ukraina.
- c. *Phytostabilization* yaitu proses menempelnya zat – zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat – zat tersebut menempel erat atau stabil pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh air aliran dalam media.
- d. *Rhyzodegradation* disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation*, *oiplanted assisted bioremediation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan, misalnya ragi, fungi dan bakteri.
- e. *Phytodegradation (phyto transformation)* yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.
- f. *Phytovolatilization* yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya di uapkan ke atmosfer. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200 sampai dengan 1000 liter perhari untuk setiap batang.



Gambar 2.2 Proses Fitoremediasi
Sumber Gambar: Anonim, 2018

Keuntungan utama dari aplikasi teknik fitoremediasi dibandingkan dengan sistem lainnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksiknya, lebih bersahabat dengan lingkungan serta lebih ekonomis. Kelemahan fitoremediasi adalah dari segi waktu yang dibutuhkan lebih lama dan juga terdapat kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam rantai makanan melalui konsumsi hewan dari tanaman tersebut.

Tidak semua jenis tanaman dapat digunakan karena tidak semua tanaman dapat melakukan metabolisme, volatilisasi dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama. Untuk menentukan tanaman yang dapat digunakan pada penelitian fitoremediasi dipilih tanaman yang memiliki sifat cepat tumbuh dan mampu mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat. Selain itu mampu meremediasi lebih dari satu polutan.

2.6. Pengaruh Tanaman Air Dalam Mereduksi Pencemaran

Mekanisme penyerapan logam berat oleh pada tumbuhan dibagi menjadi 3 proses. Yang pertama yaitu penyerapan melalui akar. Senyawa-senyawa yang terlarut di perairan akan diserap oleh akar bersama dengan air sedangkan senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar. Proses kedua adalah translokasi logam berat dari akar menuju bagian-bagian tumbuhan yang lain dan proses ketiga yaitu menetapnya logam pada sel dan jaringan. Proses tersebut merupakan salah satu upaya tumbuhan agar logam tidak menghambat metabolisme tumbuhan. Tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi yaitu menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Tanaman air mampu menyerap polutan (penyebab pencemaran) yang terlarut dalam media tumbuh, sehingga kandungannya menurun. Kadar polutan dalam tubuh tanaman meningkat sedangkan dalam media cair menurun. Ion bebas dalam air tersebut mampu mengikat oksigen yang diakibatkan oksigen terlarut (DO) dalam media cair itu meningkat. Sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran dalam air. Adapun tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bambu Air (Utassia, 2016, p.13).

2.7. Bambu Air

2.7.1. Klasifikasi Tanaman

Tumbuhan bambu air (*Equisetum hyemale*) termasuk anggota genus *Equisetum*, familia *Equisetaceae* dari ordo *Equisetales* yang merupakan satu-satunya anggota kelas *Equisetinae* atau *Equisetopsida* dari subfilum *Sphenopsida* yang masih dapat ditemukan dalam keadaan hidup saat ini. Ordo lainnya seperti *Sphenophyllales* dan *Calamitales* telah punah sehingga hanya dapat dilihat dari fosil yang terbentuk. Genus *Equisetum* memiliki anggota kurang lebih 25 spesies.

Kata *Equisetum* berasal dari kata *equus* yang berarti kuda dan *saeta* yang berarti rambut tebal dalam bahasa Latin. Sehingga tumbuhan yang termasuk genus ini disebut juga paku ekor kuda. Spesies dari genus ini umumnya tumbuh di lingkungan yang basah seperti kolam dangkal, daerah pinggiran sungai, atau daerah rawa. Tumbuhan ini rata-rata berukuran kecil dengan tinggi sekitar 25 – 100 cm dan diameter batang tidak pernah lebih dari 3 cm, meskipun beberapa anggotanya yang hidup di Amerika yang beriklim tropis ada yang bisa tumbuh mencapai 6 hingga 8 m (contohnya adalah *Equisetum giganteum* dan *Equisetum myriochaetum*). Anggota dari genus ini dapat dijumpai di seluruh dunia kecuali Antartika. Karena kandungan silikatnya yang cukup tinggi pada bagian batangnya, tumbuhan ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyikat. Akhir-akhir ini, *Equisetum hyemale* sangat populer digunakan sebagai tanaman hias dan beberapa spesies dari *Equisetum* juga dapat digunakan sebagai bahan obat-obatan.

a. Struktur Morfologi Umum

Pada beberapa spesies dari *Equisetum*, sporofit yang telah dewasa membentuk batang berongga yang memiliki dua tipe yang berbeda. Salah satunya pendek, tidak bercabang, tanpa klorofil, dan memproduksi spora di bulan April atau awal Mei. Batang ini disebut sebagai batang generatif (fertil). Lainnya merupakan batang steril (disebut pula batang vegetatif), berwarna hijau, dan terus tumbuh sepanjang musim. Batang ini juga berperan sebagai organ fotosintesis menggantikan daun, karena daun pada semua anggota tumbuhan ini tereduksi sehingga hanya berupa bentukan menyerupai sisik yang menutupi nodus dan tidak mengandung klorofil. Namun pada spesies yang lain (contohnya pada *Equisetum hyemale*), hanya terdapat satu tipe batang yaitu batang hijau berongga yang menghasilkan bentukan seperti kerucut pada bagian ujungnya (apeks), sehingga batang ini berperan ganda baik sebagai batang generatif maupun vegetatif.

b. Struktur Anatomi

Bagian tengah dari batang mula-mula ditempati oleh pith, yang kelamaan akan menghilang, sehingga bagian tengah pada batang yang telah tua akan berlubang. Jaringan permanen dari batang terdiri dari epidermis, korteks, dan berkas pembuluh, berbentuk silinder tipis yang mengelilingi rongga sentral. Disamping lakuna sentral atau kanal tersebut, pada batang *Equisetum* biasanya terdapat juga dua tipe kanal longitudinal. Pertama adalah kanal (rongga) vallecular yang terletak pada bagian korteks, masing-masing terhubung dengan alur longitudinal dari batang. Yang kedua adalah kanal carinal yang masing-masing berhubungan dengan ikatan pembuluh dan letaknya lebih dalam.

Pada bagian korteks sebelah luar, terdapat serat-serat sklerenkim. Sklerenkim inilah yang berperan dalam menegakkan batang. Selain pada epidermis, pada serat-serat sklerenkim ini juga banyak mengandung silikat. Klorenkim juga ditemukan pada bagian ini. Klorenkim merupakan spesialisasi dari parenkim yang memiliki klorofil. Di sinilah tempat fotosintesis pada batang berlangsung.

Sistem vaskular tersusun oleh ikatan kolateral yang menyusun sifonostele. Pada bagian antar ruas, ikatan pembuluh dapat dibedakan dengan jelas dan menempati suatu ruang yang luas yang salah satunya berada di bawah rongga superfisial dari batang. Pada bagian internodus, ikatan pembuluh membentuk lingkaran dari jaringan tersebut. Masing-masing ikatan pembuluh terdiri dari xilem primer dan floem. Ketika floem sudah terbentuk dengan baik, xilem masih sedikit dan pertumbuhannya kurang. Pada umumnya, tidak ada kambium atau jaringan sekunder yang terbentuk pada *Equisetum*. Jaringan endodermal biasanya muncul dan tumbuh dengan baik pada batang. Jaringan ini terdistribusi dengan banyak cara. Ada yang berupa endodermis tunggal eksternal pada sistem vaskular. Ada pula yang berupa endodermis eksternal dan internal. Atau bila endodermis yang berkelanjutan tidak terbentuk, masing-masing ikatan pembuluh akan dikelilingi oleh jaringan endodermis.

Cabang dari *Equisetum* muncul dari tunas adventif yang terbentuk dari nodul batang. Daun-daun membentuk lingkaran pada bagian nodul dan biasanya berupa struktur kecil yang bergabung untuk membentuk pelepah bergerigi yang mengelilingi batang. Akarnya kecil dan liat, menunjukkan adanya ikatan pembuluh tunggal, dengan jaringan yang tersusun secara radial. Akar diperkirakan muncul dari bagian basal dari primordia cabang batang, tidak langsung dari jaringan yang terdapat pada batang utama. Pertumbuhan sporofit dilakukan oleh bagian pertengahan ujung dari sel apikal yang berbentuk seperti piramid yang berada pada ujung batang dan akar. Sel apikal ini merupakan meristem primodial dan berperan dalam pembentukan sel baru yang menyusun jaringan dari organ-organ ini.

Organ yang menghasilkan spora pada *Equisetum* terkumpul pada bentukan tertentu seperti kerucut yang berada pada bagian apeks dari batang. Kerucut ini berisi poros sentral utama yang terspesialisasi dengan struktur penghasil dan penunjang sporangium, dinamakan sporangiofor, terbentuk di gelungan-gelungan tersebut. Masing-masing sporangiofor terdiri dari lempengan heksagonal, menempel pada kerucut dengan bantuan tangkai pendek. Beberapa ahli botani menganggap sporangiofor sama seperti sporofil, yaitu daun khusus penghasil spora. Namun yang lain percaya bahwa sporangiofor

merupakan struktur batang khusus atau merupakan perpaduan antara daun dan batang. Apapun interpretasi yang tepat dari sporangiofor, sporisit diploid pada sporangia mengalami meiosis dan membentuk tetrad dari spora-spora haploid yang semuanya sama.

2.7.2. Karakteristik Tanaman

Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) yang diperlakukan sebagai tanaman uji memiliki bentuk fisik dengan tinggi rerata 70 cm. Diameter batang berkisar antara 0,4 – 0,6 cm. Rerata massa tanaman 5,1 gram. Pemilihan spesifikasi tanaman berdasarkan jumlah dominan yang ada pada rumpun bambu air dengan karakter fisik yang segar, kuat, dan tidak mudah patah buku – bukunya. Untuk batang tanaman yang tidak termasuk dalam spesifikasi tersebut, maka hitungannya diakumulasikan sehingga mendekati dan atau sampai pada ketentuan (Suharto et al., 2011, p.137).



Gambar 2.3 Bambu Air

Sumber Gambar: Anonim, 2018

Pemilihan batang tanaman yang baik menurut Tjitrosoepomo (1989), tanaman akan mampu meremediasi polutan jika tanaman tersebut sudah mencapai usia dewasa. Tanaman bambu air memiliki batang dengan kandungan silikat yang tinggi, yang berguna mengikat partikel logam yang terserap oleh akar tanaman (Suharto et al., 2011, p.137)

Bambu air memiliki bentuk daun yang memanjang seperti sapulidi, dengan warna biru tua yang membelit seperti cincin. menjadikan tanaman bambu air ini sangat unik. Bagian dari tumbuhan ini yang paling menonjol dan mendominasi tubuhnya adalah bagian batang. Pada beberapa spesies batang-batangnya tumbuh bertahun-tahun, sedangkan pada spesies lainnya hanya terbatas pada satu musim dan dimulai pada saat awal musim semi. Batang tumbuhan ini berwarna hijau, beruas-ruas, berbuku, berlubang pada bagian tengahnya dan bergabung secara jelas serta dengan mudah dapat dipatahkan

pada ruasnya. Untuk selanjutnya, buku pada batang Equisetum ini disebut dengan nodus, sedangkan ruas disebut dengan internodus.

2.8. Zeolit

Zeolit pertama kali ditemukan oleh seorang ahli mineral berkebangsaan Swedia, Baron Axel Frederick Cronsted pada tahun 1756 pada rongga – rongga batuan basalt di pertambangan Lappmark. Nama zeolit berasal dari bahasa Yunani, “zein” yang berarti membuih atau “litos” yang berarti batu. Nama ini sesuai dengan sifat zeolit yang akan membuih bila dipanaskan pada suhu 1000°C hingga 3500°C (Harjanto,1993 dalam Utassia, 2016, p.16).

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat mikropori, terdiri dari tetrahedra TO_4 ($\text{T}=\text{Si}, \text{Al}$) dengan atom O yang menghubungkan antara tetrahedra. Kombinasi unit TO_4 ($\text{T}=\text{Si}$) menghasilkan SiO_2 yang merupakan padatan tidak bermuatan. Akibat penggabungan Al kedalam rangka silika, muatan +3 pada Al mengakibatkan rangka bermuatan negatif dan membutuhkan adanya kation tambahan (organik maupun anorganik) pada rangka untuk menjaga rangka zeolit netral. Kation tambahan ini merupakan ion yang dapat ditukar.

Zeolit adalah mineral alam yang ditemukan di daerah sekitar gunung berapi, zeolit ditemukan dalam batuan berbutir halus (tuf) yang terbentuk dari hasil sedimentasi, debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi. Mineral alam zeolit biasanya masih tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit dan kuarsa atau mengendap pada daerah sumber air panas. Sifat – sifat yang dimiliki zeolit alam adalah sebagai berikut:

- Warna : Putih kekuningan
- Kekerasan : 1-2
- Sifat dalam : Rapuh
- Sifat lain : Ringan dan padat

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari betuan – batuan yang mengalami berbagai macam perubahan alam. Para ahli geokimia dan minerologi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk mineral – mineral zeolit. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berasal dari debu – debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap didasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung seolit di dasar danau atau lautan (Setyawan:2002 dalam Utassia, 2016, p.16).

Zeolit alam dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu:

- a. Zeolit yang terdapat diantara celah-celah batuan atau diantara lapisan batuan. Zeolit jenis ini biasanya terdiri dari berbagai jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit dan mineral sulfida.
- b. Zeolit yang berupa batuan, hanya sedikit jenis zeolit yang berbentuk zeolit, diantaranya adalah: klinoptiolit, analcium, laumantit, modernit, filipsit, erlonit, kabsit dan heulandit.

Zeolit memiliki aplikasi pada industri yang luas, contohnya adalah adsorben dengan selektifitas tinggi, penukar ion dan katalis, akibat struktur zeolit yang terbuka seperti kurungan, kapasitas tukar kation yang tinggi, luas permukaan internal yang besar, berbagai ukuran agregat dan permeabilitas yang tinggi.

2.8.1. Daya Serap Zeolit

Zeolit memiliki interaksi yang kuat dengan adsorbat. Perbedaan difusivitas dan polaritas adsorbat menghasilkan interaksi yang berbeda pada rangka zeolit. Selain itu, rasio silika: alumina pada struktur, ukuran dan volume pori, tipe sisi adsorpsi, sifat keasaman, komposisi kimiawi, bentuk rangka dan channel pada zeolit juga merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi sifat adsorpsi zeolit.

2.8.2. Aktivasi Zeolit

Pengaktifan zeolit dimaksudkan sebagai usaha untuk memodifikasi keadaan pada struktur kerangka atau non kerangka zeolit sehingga diperoleh sifat-fisika-kimia zeolit yang diinginkan. Pada zeolit alam, pengaktifan memberikan efek pencucian atau penghilangan komponen pengotor (impurities) dari mineral zeolit. Pengaruh pengaktifan zeolit, yaitu dapat memurnikan zeolit dari komponen pengotor, menghilangkan jenis kation logam tertentu dan molekul air yang terdapat dalam rongga, atau memperbesar volume pori, sehingga memiliki kapasitas yang lebih tinggi. Oleh sebab itu zeolit alam perlu diaktifkan terlebih dahulu sebelum digunakan, untuk mempertinggi daya kerjanya. Pengaktifan zeolit dapat dilakukan melalui cara fisika dan kimia:

1. Secara Fisika:
 - Pemanasan dalam jangka waktu dan suhu tertentu
2. Secara Kimia:
 - Mengubah dan mempertukarkan kation yang dapat digunakan
 - Mengubah ratio perbandingan Si/Al dengan perlakuan dealuminasi atau desilikasi

2.9. Standar Kualitas Air

2.9.1. Standar Kualitas Air Secara Fisika

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi adanya sifat fisik yang

mudah terlihat. Adapun sifat fisik yang penting adalah kandungan zat padat sebagai estetika dan kejernihan serta bau, warna dan temperatur.

2.9.1.1. Suhu (T)

Pola temperatur ekosistem air dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas cahaya matahari, pertukaran panas antara air dengan udara sekelilingnya, ketinggian geografis dan juga oleh faktor kanopi (penutupan oleh vegetasi) dari pepohonan yang tumbuh di tepi (Utassia, 2016, p.20).

Pertumbuhan dan kehidupan biota budi daya sangat dipengaruhi suhu air. Umumnya dalam batas-batas tertentu kecepatan pertumbuhan biota meningkat sejalan dengan naiknya suhu air, sedangkan derajat kelangsungan hidupnya bereaksi sebaliknya terhadap kenaikan suhu. Artinya derajat kelangsungan hidup biota menurun pada kenaikan suhu.

Pengukuran suhu umumnya dilakukan dengan termometer. Cara lain adalah dengan menggunakan DO meter, SCT-meter atau aquameter test. Untuk pengukuran suhu dengan aquameter test, prosedurnya tidak berbeda dengan pengukuran oksigen, pH dan kecerahan. Untuk pengkalibrasian, maka putar switch “temp” lalu tekan “tem cal” pada bagian sebelah kiri badan, aturlah knop kalibrasi Tem hingga menunjukkan angka 25° (skala merah) (Gufran et al., 2010, p.92).

2.9.2. Standar Kualitas Air Secara Kimia

2.9.2.1. Derajat Keasaman (pH)

pH adalah suatu ukuran keasaman dan kadar alkali dari sebuah contoh cairan. Kadar pH dinilai dengan ukuran 0-14. Sebagian besar persediaan air memiliki pH antara 7,0-8,2 namun beberapa air memiliki pH dibawah 6,5 atau diatas 9,5. Air dengan kadar pH yang tinggi pada umumnya mempunyai konsentrasi alkali karbonat yang lebih tinggi (Utassia, 2016, p.20).

Konsentrasi air limbah yang tidak dalam posisi netral akan menyulitkan proses biologis, sehingga mengganggu proses penjernihan. Dalam air limbah minimum yang diperbolehkan 6,5 dan maksimum yang diperbolehkan 8,5 berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 173/Men.Kes/Per/VIII/1977 (Utassia, 2016, p.20).

pH merupakan singkatan dari “*pouvoir hydrogene*” dan menunjukkan konsentrasi ion hidrogen dalam air. pH ini digunakan untuk mengetahui tingkat kebebasan dan keasaman air. Pemahaman konsep dasar mengenai pH erat hubungannya dengan upaya memahami alkalinitas-asiditas dalam air dan sangat bermanfaat dalam memahami kimia air (Budiyono dan Sumardiono, 2013, p.10).

Konsentrasi ion hidrogen dapat ditentukan dengan pH meter. Konsentrasi ion hidrogen juga bisa ditentukan dengan cara titrasi bila konsentrasinya cukup terdeteksi dengan analisa kimia. Karena pH merupakan fungsi logaritma, konsentrasi ion hidrogen meningkat dengan kelipatan 10 untuk setiap penurunan satuan pH (Budiyono dan Sumardiono, 2013, p.10).

2.9.2.2. Timbal (Pb)

Menurut Tayab (1991), timbal merupakan jenis logam berat non essensial yang berwarna keabu-abuan dengan titik leleh pada suhu 327,5°C dan titik didih pada suhu 1740°C pada tekanan atmosfer. Timbal memiliki 4 pembentukan di alam dalam bentuk isotop yang tergantung pada berbagai sumber material organik. Pb dalam bentuk organik mudah larut dalam air. Tetraetil dan tetrametil Pb dalam bentuk komponen organik digunakan sebagaiminyak aditif dimana konsentrasinya memiliki penguapan yang lambat selama proses evaporasi gasoline.

Tangahu et al. (2011) menyatakan bahwa Pb ditemukan sebagai toksisitas akut apabila konsentrasi di lingkungan sangat tinggi. Pb memiliki berbagai bentuk di alam. Pb bersifat tidak mudah terdegradasi, sehingga akan menyebabkan efek negatif bagi lingkungan secara biologis. Sumber-sumber Pb di lingkungan perairan berasal dari limbah industri, bahan bakar yang mengandung timbal, pipa-pipa tua, aktivitas domestik dan aktivitas pelabuhan seperti buangan air balast. Sifat toksik Pb di alam mampu menyebabkan kematian organisme dan keterbelakangan serta gangguan saraf pada manusia.

Keracunan Pb kronik ditandai dengan depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi, daya ingat terganggu dan sulit tidur. Jika timbal ke dalam tubuh lewat makanan atau menghirup uap timbal dalam waktu yang relatif pendek dengan kadar yang relatif tinggi maka akan menyebabkan keracunan akut. Keracunan akut dapat terjadi dengan gejalanya yaitu mual, muntah, sakit perut hebat, kelainan fungsi otak, anemia berat, kerusakan ginjal, bahkan dapat menyebabkan kematian dalam 1-12 hari setelah terpapar. Keracunan timbal pada anak-anak juga dapat mempengaruhi kecerdasan. Kelainan ini karena timbal dapat menggantikan peranan mineral-mineral utama seperti seng, tembaga dan besi dalam mengatur sistem saraf pusat.

Timbal merupakan polutan yang paling banyak terdapat di air dan timbal tidak diperlukan oleh mahluk hidup dan bersifat beracun (toksik) pada konsentrasi rendah. Kelebihan Pb pada tumbuhan menghambat fotosintesis, pertumbuhan, merusak nutrisi mineral dan keseimbangan air, menyebabkan klorosis daun, dan nekrosis. Jika kadarnya

meningkat dari toleransi maksimum penyerapan oleh manusia yang telah ditetapkan oleh WHO dapat menyebabkan efek berbahaya pada kesehatan. Sifat racun Pb meliputi pengaruh negatif pada sistem saraf pusat, ginjal, dan tulang (Fitria, 2015, p.12).

Pb tidak akan larut dalam tanah jika tanah terlalu masam. Pb akan mengendap di tempat-tempat pertukaran seperti pada akar dan permukaan tanah. Dalam hal ini tanaman dapat menyerap logam Pb pada saat tanah mempunyai kandungan bahan organik dan kemampuan tukar kation tanah rendah. Jika tanaman tidak mampu menghambat keberadaannya, maka akan terjadi serapan oleh akar tanaman (Wahwakhi, 2015, p.11).

2.9.2.3. Seng (Zn)

Seng (Zn) tergolong dalam elemen esensial. Pada sistem akuatik, Zn memiliki tingkat toksisitas lebih rendah dibandingkan dengan unsur logam berat lainnya. Logam Zn bersifat alkalis dan salinitas perairan sangat mempengaruhi tingkat toksisitas Zn.

Seng (Zn) termasuk dalam kelompok logam berat. Seng (Zn) mempunyai nomor atom 30, berat atom 65,37 dan Seng memiliki valensi +2. Titik cair Zn berada pada suhu 419,6°C dan titik leburnya pada suhu 906°C. Logam berat Zn merupakan suatu logam berat putih keperakan dan dapat larut dalam air. Sumber logam berat Zn terbagi dua yaitu: (1) secara alamiah dapat berasal dari batu dan lumpur lahar, (2) berasal dari aktivitas manusia seperti: proses produksi elektroda, baterai kimia, dan juga dalam air buangan penambangan logam berat serta industri baja besi. Logam berat seng dimanfaatkan dalam produksi cat, bahan keramik, gelas, lampu dan pestisida (Sanusi, 2006 dalam Priliyanthi, 2015, p.7).

Logam berat Zn diserap oleh tanaman dalam bentuk ion Zn^{2+} dan dalam tanah alkalis mungkin diserap dalam bentuk monovalen $Zn(OH)^+$. Seperti unsur mikro lain, Zn dapat diserap lewat daun. Konsentrasi Zn dalam tanah berkisar antara 16-300 ppm, sedangkan konsentrasi Zn dalam tanaman berkisar 20-70 ppm. Mineral Zn yang ada di dalam tanah antara lain sulfida (ZnS), sparelit ($ZnFe$)S, smithzonte ($ZnCO_3$), zinkit (ZnO), wellemite ($ZnSiO_3$ dan $ZnSiO_4$).

Menurut Palar (1994), meskipun Zn dibutuhkan namun konsentrasi Zn yang tinggi pada manusia, hewan, dan tumbuhan dapat memberi efek racun. Kelebihan konsentrasi Zn dalam tubuh dapat mempengaruhi metabolisme kolesterol, mengubah nilai lipoprotein, dan dapat mempercepat timbulnya aterosklerosis. Dosis konsumsi Zn sebanyak 2 gram atau lebih dapat menyebabkan muntah, diare, demam, kelelahan yang sangat, anemia dan gangguan reproduksi.

Bagi tumbuhan Zn merupakan komponen berbagai enzim seperti dehydrogenase, proteinase, peptidase serta terlibat dalam metabolisme karbohidrat, protein, fosfat dan

pembentukan ribosom. Gejala keracunan Zn pada tumbuhan secara umum berupa klorosis pada daun muda, nekrosis pada daun yang akhirnya menyebabkan kematian daun. Bagi akar, keracunan Zn dapat menyebabkan pengurangan pertumbuhan akar utama dan lateral.

2.10. Hipotesa

Perlu dipastikan tentang keandalan data sebelum dilakukan perhitungan dan analisis. Untuk itu dilakukan pengujian – pengujian secara statistik. Pengujian dilakukan untuk memastikan ketetapatannya agar hasil perhitungan itu dapat digunakan untuk proses lebih lanjut (Utassia, 2016,p.24).

Pengujian statistik lebih ditujukan untuk menguji parameter – parameternya antara lain dapat dilakukan dengan membandingkan rerata, variasi, korelasi dan sebagainya. Sedangkan pada pengujian suatu fungsi, di uji keandalan parameter yang membentuk fungsi tersebut. Hipotesa yang dirumuskan dengan harapan untuk ditolak disebut hipotesa nol atau dinyatakan dengan H_0 . Penolakan H_0 mengakibatkan penerimaan hipotesa alternatif yaitu H_1 (Utassia, 2016,p.24).

2.10.1. Uji Statistik

Inferensi statistik adalah pengambilan kesimpulan tentang parameter populasi berdasarkan analisa pada sampel. Fungsi inferensi adalah untuk menentukan hasil dari data yang ada sama dengan populasi. Beberapa kondisi yang mendorong untuk melakukan inferensi adalah:

- a. Keterbatasan dana, tenaga, dan waktu merupakan alasan klasik yang sering dilakukan para peneliti untuk menggunakan inferensi dalam analisis data.
- b. Menggunakan konsep populasi dan sampel dalam kegiatan pengambilan data.

Hipotesis dalam inferensi statistik dibedakan menjadi hipotesis nol (H_0), yaitu hipotesis yang akan diuji oleh suatu prosedur statistik, biasanya berupa suatu pernyataan tidak adanya perbedaan atau tidak adanya hubungan, dan hipotesis alternatif (H_1), yaitu hipotesis yang merupakan lawan dari H_0 biasanya berupa pernyataan tentang adanya perbedaan atau adanya hubungan, yang selanjutnya digunakan untuk menunjukkan bahwa pernyataan mendapat dukungan kuat dari data.

Tahap – tahap uji hipotesis secara umum yaitu:

- Tentukan model probabilitas yang cocok dari data.
- Tentukan hipotesis H_0 dan H_1 .
- Tentukan statistik pengujian.
- Tentukan tingkat signifikansi.
- Tentukan daerah kritik berdasarkan tingkat signifikansi.

- Hitung statistik penguji.
- Alternatif, hitung p-value berdasarkan statistik penguji.
- Ambil kesimpulan berdasarkan poin 6 dan 7.

2.10.2. Interpretasi Data

Interpretasi data merupakan suatu kegiatan yang menggabungkan hasil analisis dengan pernyataan, kriteria, atau standar tertentu untuk menemukan makna dari data yang dikumpulkan untuk menjawab permasalahan pembelajaran yang sedang diperbaiki.

Interpretasi data diperlukan peneliti untuk memberikan arti mengenai bagaimana tindakan yang dilakukan. Interpretasi data juga penting untuk mengecek kebenaran asumsi atau keyakinan yang dimiliki (Utassia, 2016,p.25).

Uji hipotesis adalah metode pengambilan keputusan yang didasarkan dari analisis data, baik dari percobaan yang terkontrol, maupun dari observasi (tidak terkontrol). Dalam statistik sebuah hasil bisa dikatakan signifikan secara statistik jika kejadian hampir tidak mungkin disebabkan oleh faktor yang kebetulan, sesuai dengan batas probabilitas yang sudah ditentukan sebelumnya (Utassia, 2016,p.25).

2.10.3. Uji T

Uji T termasuk jenis uji untuk sampel kecil yaitu $n < 30$. Untuk mengetahui apakah dua sampel berasal dari poluasi yang sama, maka dihitung t_{score} dengan rumus (Montarcih,2009):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N_1-1)S_1^2 + (N_2-1)S_2^2}{N_1+N_2-2}} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$T_{hitung} = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dengan:

- μ_1 = rerata sampel 1
- μ_2 = rerata sampel 2
- S_1 = simpangan baku sampel 1
- S_2 = simpangan baku sampel 2
- N_1 = ukuran sampel 1
- N_2 = ukuran sampel 2

Hipotesa:

- H_0 = sampel 1 dan sampel 2 berasal dari populasi yang sama
- H_1 = sampel 1 dan sampel 2 tidak berasal dari populasi yang sama

Harga t tabel dicari pada tabel students. T untuk derajat bebas $v = n_1 + n_2 - 2$ dan α =(Level of Significance) misal 5%.

Kriteria pengambilan kesimpulan adalah sebagai berikut:

Apabila $t_{\text{score}} < t_{\text{tabel}}$, maka H_0 diterima

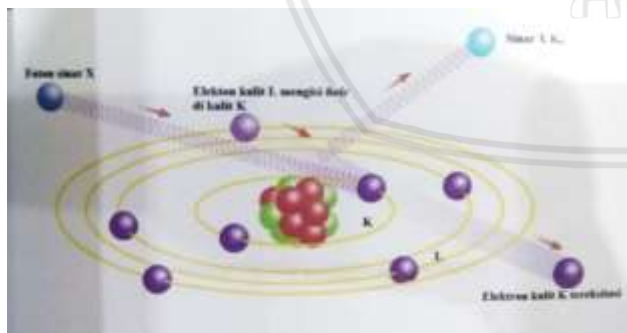
Apabila $t_{\text{score}} > t_{\text{tabel}}$, maka H_0 ditolak

2.11. Analisa XRF (*X-ray Fluorescence Spectrometry*)

Xray Fluoresense (XRF) adalah salah satu metode analisis tidak merusak yang digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Prinsip kerja alat ini yaitu berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel atau bahan oleh sinar-X dari sumber sinar X (Jenkin, 1988 dalam Kriswarini et al., 2010). Hasil analisis kuantitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya, sedang analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar (Kiswarini et al., 2010).

XRF digunakan untuk menganalisa komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan.

Prinsip kerja XRF berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gemma, sinar-X). Berikut penjelasannya:



Gambar 2.4 Prinsip Kerja XRF

Sumber Gambar: Kiswarini, 2010

Gambar 2.4 merupakan prinsip kerja XRF dimana saat foton sinar X ditembakkan pada suatu atom, maka elektron dari kulit K akan tereksitasi dan menimbulkan efek fotolistrik sehingga menimbulkan hole (kekosongan). Kekosongan ini akan diisi oleh elektron dari kulit di luarnya yaitu L atau M karena tingkat energi di kulit K lebih rendah sehingga sebagai reaksi dari penurunan tingkat energi maka akan terpancar sinar X $K\alpha$.

untuk elektron dari kulit L dan sinar $X K_{\beta}$ untuk elektron dari kulit M. Pancaran sinar X inilah yang dimanfaatkan untuk mengetahui jenis-jenis unsur dari sampel uji XRF, karena setiap atom mempunyai pancaran sinar X dengan energi yang berbeda-beda sehingga akan menunjukkan puncak yang karakteristiknya sebagai hasil uji XRF.

2.12. Penelitian Lain yang Terkait

Berbagai penelitian fitoremediasi telah banyak dilaksanakan dalam usaha memperbaiki kualitas lingkungan yang tercemar dan mengakibatkan kesehatan masyarakat. Salah satunya yaitu Tania Pramadewi (2010) yang telah menggunakan teknik fitoremediasi dengan fitoremediator yaitu tanaman kiapu. Sampel air limbah yang digunakan pada penelitiannya adalah air pada Waduk Cirata yang telah tercemar logam berat dengan parameter yang direduksi adalah logam Cu dan Zn. Pada hasil laporan penelitian dapat disimpulkan bahwa tanaman kiapu merupakan akumulator yang efektif dan ekonomis. Penelitian fitoremediasi lainnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.1
Penelitian Fitoremediasi Terdahulu

No.	Peneliti	Fitoremediator	Hasil
1	Roshinta Widayanti (2006) Universitas Brawijaya	Eceng Gondok dan Kayu Apu	Kayu apu lebih efektif dibandingkan eceng gondok dalam mengurangi kadar Fe sebesar 93,50%, Zn = 82% dan Pb = 100% pada limbah buatan
2	Inalathul Faridah (2007) Universitas Brawijaya	Kayu Apu	Tanaman kayu apu mampu menyerap logam Zn hingga 92% sedangkan logam Fe terserap 75%
3	Sodiq Pratomo, Ssi (2004) Universitas Diponegoro	Tanaman Leunca (transgenik)	Tanaman leunca transgenik mampu menyerap kandungan Zn sekitar 40%
4	Moh. Mishbahul Anam MS, Evi Kurbiati, Bambang Suharto (2013) Universitas Brawijaya	Bambu Air	Kombinasi antara bambu air dan zeolit mampu menurunkan logam Pb mencapai 82,2 % dengan perlakuan 60 batang tanaman dengan sistem <i>batch</i> .

Lanjutan Tabel 2.1
 Penelitian Fitoremediasi Terdahulu

No.	Peneliti	Fitoremediator	Hasil
5	Ayu Maharani Siswandari (2016) Universitas Muhammadiyah Malang	Bambu Air dan Melati Air	Dengan perlakuan selama 9 hari melati air dapat menurunkan Phospat pada limbah cair <i>laundry</i> sebesar 3,451 mg. Bambu air tidak dapat menurunkan kadar P

Sumber: Jurnal

Selain itu penelitian mengenai kemampuan zeolit mereduksi kandungan logam dalam air uga telah banyak dilakukan. Penelitian mengenai zeolit dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2
 Penelitian Mengenai Kemampuan Zeolit Mereduksi Logam Berat

No.	Peneliti	Judul	Hasil
1	Claudia Fichta Utassia (2016) Universitas Brawijaya	Pemanfaatan Zeolit Alam dan Tanaman Papyrus Payung Guna Menurunkan Kadar Logam Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Limbah Kulit di Sukun Malang	Zeolit sebagai media SPL pada ketinggian 15 cm efektif menurunkan Fe 54,05%-82,885 dan Mn 49,91%-60,59%.
2	Moh. Mishbahul Anam MS, Evi Kurbiati, Bambang Suharto (2013) Universitas Brawijaya	Penurunan Kandungan Logam Pb dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (<i>Equisetum Hyemale</i>) dan Zeolit	Kombinasi antara bambu air dan zeolit mampu menurunkan logam Pb mencapai 82,2 % dengan perlakuan 60 batang tanaman dengan sistem <i>batch</i> .

Sumber: Jurnal

Pada penelitian kali ini akan dilakukan penelitian dengan penggabungan metode fitoremediasi dengan tanaman Bambu Air dengan metode saringan pasir lambat (SPL) dengan media zeolit alam. Namun air limbah yang akan digunakan adalah air limbah sintetis dengan kadar Pb dan Zn. Untuk parameter uji pada penelitian ini akan menitik beratkan pada Pb dan Zn, dan untuk parameter pendukung yaitu suhu air dan pH air.

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

3.1.1. Media Fitoremediasi

Media tanaman yang digunakan adalah Bambu Air sebagai berikut:



Gambar 3.1 Tanaman Bambu Air

Sumber Gambar: Anonim, 2018

3.1.2. Media Filtrasi

Media yang digunakan adalah zeolit alam berbutir halus dengan diameter butiran berkisar lebih dari 2 mm.



Gambar 3.2 Pasir Zeolit

Sumber Gambar: Anonim, 2018

3.1.3. Bahan lainnya

- ✓ Aquades
- ✓ bubuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
- ✓ bubuk Zn SO_4

- ✓ Buffer pH 4,7 dan 9
- ✓ Reagent test Pb
- ✓ Reagent test Zn

3.2. Alat – alat yang Digunakan

3.2.1. Alat Instalasi

Alat instalasi untuk penelitian ini dengan rincian sebagai berikut:

- a. Bak dengan ukuran 50 cm x 30 cm x 30 cm sebanyak 2 buah
- b. Tandon air berukuran sedang
- c. Kran plastik $\frac{1}{2}$ " 2 buah
- d. Selang Infus 2 buah
- e. Dop kaca 6 buah

3.2.2. Alat Penelitian

- a. pH meter untuk mengukur pH dan suhu
- b. spektrofotometer untuk mengukur logam berat
- c. pipet volume 5 ml
- d. beaker glass
- e. tabung reaksi
- f. botol sampel 250 ml
- g. Gelas ukur
- h. Timbangan
- i. Cawan petri

3.3. Proses Pembuatan Limbah Sintetis

Dalam penelitian ini menggunakan limbah sintetis dengan karakteristik air limbah industri yang mengandung Pb dan Zn. Alasan utama penggunaan limbah sintetis dan bukan limbah asli adalah:

1. Tinjauan dalam penelitian ini adalah konsentrasi Pb dan Zn, sedangkan di dalam limbah industri asli kemungkinan terkandung pula bahan-bahan lain seperti minyak dan lemak, dll. Padahal bahan-bahan tersebut tidak diteliti kualitasnya.
2. Kepraktisan dalam pelaksanaan penelitian, mengingat penelitian ini dilakukan dalam waktu yang agak lama, maka dibutuhkan pula volume air limbah yang cukup besar. Oleh karena itu dengan alasan kemudahan pembuatan sediaan limbah dan juga kualitas limbah yang dapat lebih dikontrol, digunakan air limbah buatan.

Berikut adalah proses pembuatan limbah sintetis:

1. Menimbang senyawa – senyawa yang mengandung sumber limbah, ZnSO_4 dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

a. Menghitung ZnSO_4

$$\begin{aligned}\text{Mr ZnSO}_4 &= \text{Ar Zn} &&= 65 \text{ g/mol (berdasarkan tabel periodik)} \\ &= \text{Ar S} &&= 32 \text{ gr/mol (berdasarkan tabel periodik)} \\ &= \text{Ar O}_6 : 16 \times 4 &&= 64 \text{ gr/mol (berdasarkan tabel periodik)}\end{aligned}$$

$$\text{Mr ZnSO}_4 = 161 \text{ gr/mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa ZnSO}_4 &= \text{Stok Zn} \times \frac{\text{Mr ZnSO}_4}{\text{Ar Zn}} \times \text{Volume Stok} \\ &= 100 \text{ mg/L} \times \frac{161 \text{ g/mol}}{65 \text{ g/mol}} \times 1 \text{ liter} \\ &= 247,692 \text{ mg} \\ &= 0,248 \text{ g}\end{aligned}$$

Jadi massa ZnSO_4 yang dibutuhkan dalam membuat larutan Zn 100 ppm dalam 1 liter air sebesar 0,248 g

Membuat larutan limbah Zn dengan kadar 0,42 ppm dengan air sebesar 18 liter.

Cara:

Hitungan larutan:

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 100 \text{ ppm} \times V_1 &= 0,42 \text{ ppm} \times 18 \text{ L} \\ &= 0,0756 \text{ L} \\ &= 75,6 \text{ ml}\end{aligned}$$

Keterangan

$$\begin{aligned}M_1 &= \text{konsentrasi larutan induk} \\ V_1 &= \text{volume larutan yang harus diambil} \\ M_2 &= \text{konsentrasi larutan yang diinginkan} \\ V_2 &= \text{volume larutan yang di bak}\end{aligned}$$

b. Menghitung $\text{Pb(NO}_3)_2$

$$\begin{aligned}\text{Mr Pb(NO}_3)_2 &= \text{Ar Pb} &&= 207 \text{ g/mol (berdasarkan tabel periodik)} \\ &= \text{Ar N}_3 : 14 \times 2 &&= 42 \text{ g/mol (berdasarkan tabel periodik)} \\ &= \text{Ar O}_6 : 16 \times 6 &&= 96 \text{ g/mol (berdasarkan tabel periodik)}\end{aligned}$$

$$\text{Mr Pb(NO}_3)_2 = 345 \text{ gr/mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa Pb(NO}_3)_2 &= \text{Stok Zn} \times \frac{\text{Mr Pb(NO}_3)_2}{\text{Ar Pb}} \times \text{Volume Stok} \\ &= 100 \text{ mg/L} \times \frac{345 \text{ gr/mol}}{207 \text{ gr/mol}} \times 1 \text{ liter} \\ &= 166,667 \text{ mg}\end{aligned}$$

$$= 0,167 \text{ g}$$

Jadi massa $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dibutuhkan dalam membuat larutan Pb 100 ppm dalam 1 liter air sebesar 0,167 g.

Membuat larutan limbah Pb dengan kadar 0,42 ppm dengan air sebesar 18 liter.

Cara:

Hitungan larutan:

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

$$100 \text{ ppm} \times V1 = 0,42 \text{ ppm} \times 18 \text{ L}$$

$$= 0,0756 \text{ L}$$

$$= 75,6 \text{ ml}$$

Keterangan

M1 = konsentrasi larutan induk

V1 = volume larutan yang harus diambil

M2 = konsentrasi larutan yang diinginkan

V2 = volume larutan yang di bak

3.4. Pengambilan Sampel

Berikut adalah langkah-langkah pengambilan sampel dari alat rancangan percobaan:

- Pengambilan sampel dilakukan sebelum perlakuan dan saat perlakuan yaitu pada hari ke 7, 14 dan 21 penelitian
- Letakkan botol berukuran 200 ml di masing-masing bawah keran *outflow*.
- Tunggu hingga penuh.
- Lakukan analisa parameter yang telah ditentukan

3.5. Pengamatan Parameter

3.5.1. Pengukuran pH dan Suhu



Gambar 3.3 Alat Ukur pH dan Suhu

Sumber Gambar: Dokumentasi, 2018

Adapun prosedur kerja dalam pengukuran pH dan Suhu adalah:

- pH dikalibrasi dengan larutan buffer pH 4,7 dan 9

- b. Elektroda pH dimasukkan dalam sampel uji
- c. Baca hasil pada display pH meter

3.5.2. Pengukuran Kandungan Pb

- a. Ambil sampel kurang lebih 200 ml dari masing-masing outflow
- b. Ambil 50 ml sampel dan masukkan ke dalam *beaker glass* 100 ml
- c. Tambahkan 5 ml HNO_3 pekat, tutup dengan kaca arloji
- d. Panaskan perlahan-lahan sampai volumenya 15 ml-20 ml
- e. Jika destruksi belum sempurna, maka tambahkan 5 ml HNO_3 pekat dan panaskan lagi hingga mendidih. Lakukan proses ini secara berulang sampai semua logam larut
- f. Bilas kaca arloji dan masukkan air bilasannya ke dalam gelas piala
- g. Pindahkan contoh uji ke dalam labu ukur 50 ml dan tambahkan air bebas mineral sampai tanda tera dan dihomogenkan
- h. Contoh uji siap diukur absorbansinya

3.5.3. Pengukuran Kandungan Zn

- a. Ambil sampel sebanyak 200 ml dari masing-masing outflow
- b. Ambil 50 ml sampel dan masukkan ke dalam *beaker glass* 100 ml
- c. Tambahkan 5 ml HNO_3 pekat, tutup dengan kaca arloji
- d. Panaskan perlahan-lahan sampai volumenya 15 ml-20 ml
- e. Jika destruksi belum sempurna, maka tambahkan 5 ml HNO_3 pekat dan panaskan lagi hingga mendidih. Lakukan proses ini secara berulang sampai semua logam larut
- f. Bilas kaca arloji dan masukkan air bilasannya ke dalam gelas piala
- g. Pindahkan contoh uji ke dalam labu ukur 50 ml dan tambahkan air bebas mineral sampai tanda tera dan dihomogenkan
- h. Contoh uji siap diukur absorbansinya

3.6. Analisa Akar dan Batang Bambu Air dengan Metode XRF

Langkah I: Preparasi alat XRF

- 1) Hidupkan XRF
- 2) Putar kunci HT On (X_Ray ON)
- 3) Hidupkan computer
- 4) Buka program minipal
- 5) Tunggu sekitar 10-15 menit atau sampai alat benar-benar siap untuk digunakan

Langkah II : Preparasi Sampel

- 1) Siapkan holder yang sudah dipasang dengan plastik khusus untuk XRF
- 2) Masukkan sampel yang akan diuji ke dalam holder

Langkah III : *Measurement*

- 1) Masukkan sampel ke dalam alat XRF
- 2) Pada program minipal
 - Buka menu *Measure*
 - *Measure Standardles*
 - Isi nama sampel yang akan diukur pada Sampel Ident
 - *Measure* (sesuai dengan urutan sampel). Tunggu beberapa menit sampai pengukuran selesai.
- 3) Untuk melihat hasil
 - Buka menu *Result*
 - *Open Result*
 - *<Standardless>*
- 4) Print hasil yang diinginkan

3.7. Variabel Penelitian

Adapun variabel penelitian kali ini dapat dilihat pada tabel 3.1. berikut ini

Tabel 3.1.

Variabel Penelitian

No.	Variabel	Keterangan
1.	Jenis Tanaman	Tanaman yang digunakan sebagai rancangan perlakuan adalah bambu air dengan jumlah batang 60 batang dan 100 batang.
2.	Ketebalan Zeolit	Ketebalan zeolit yang akan direncanakan adalah 15 cm

Sumber: Ketentuan Peneliti

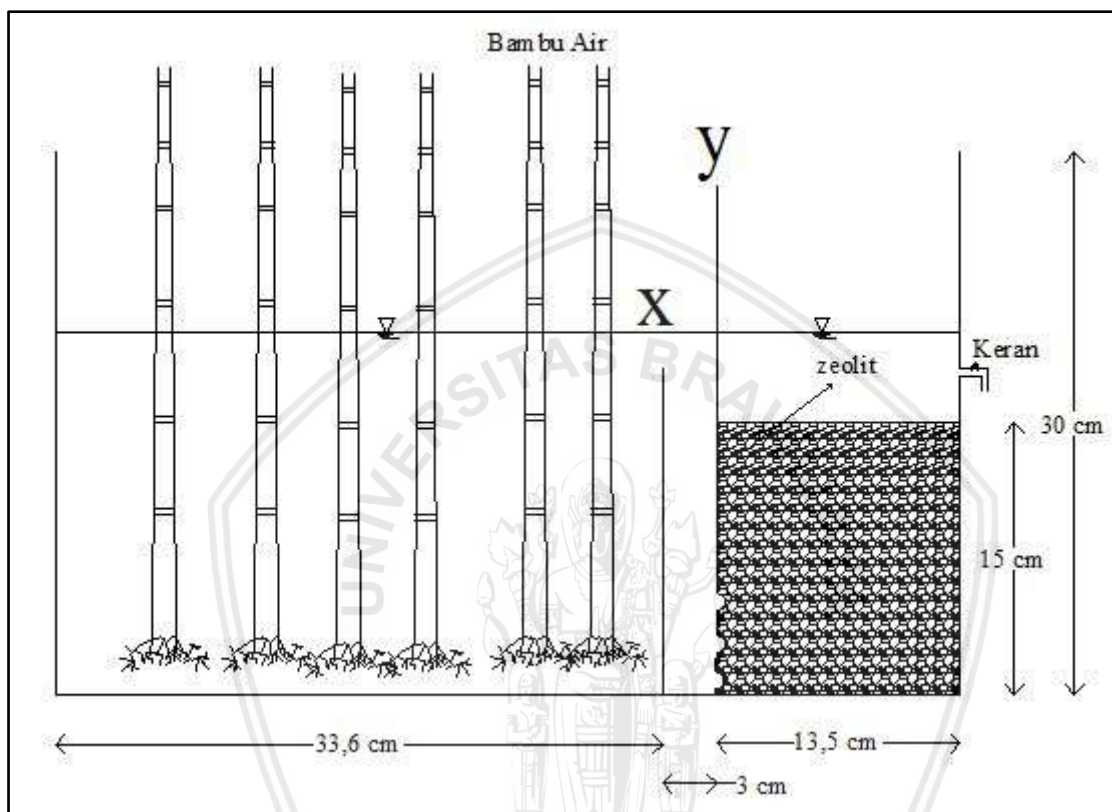
Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Moh. Misbahul Anam MS, Evi Kurbiati dan Bambang Suharto pada tahun 2013 tentang Penurunan Logam Pb dan Cr *Leachate* Melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dan Zeolit, dengan menggunakan 60 batang tanaman bambu air mampu mereduksi logam lebih efektif. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan variabel 60 batang tanaman dan 100 batang tanaman. Penggunaan 100 batang tanaman adalah sebagai perbandingan, untuk melihat mana yang jauh lebih baik dalam menurunkan kadar logam.

Untuk ketebalan zeolit 15 cm mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Caludia Fichia Utassia pada tahun 2015 tentang Pemanfaatan Zeolit Alam dan Tanaman Papyrus Payung Guna Menurunkan Kadar Logam Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Limbah Kulit di Sukun Malang. Pada penelitian tersebut zeolit dengan ketinggian 15 cm lebih efektif menurunkan kadar logam dibandingkan dengan zeolit ketinggian 5 cm

dan 10 cm. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan ketinggian zeolit yang sama yaitu 15 cm dan dimensi alat yang sama dengan penelitian tersebut.

3.8. Rancangan Instalasi

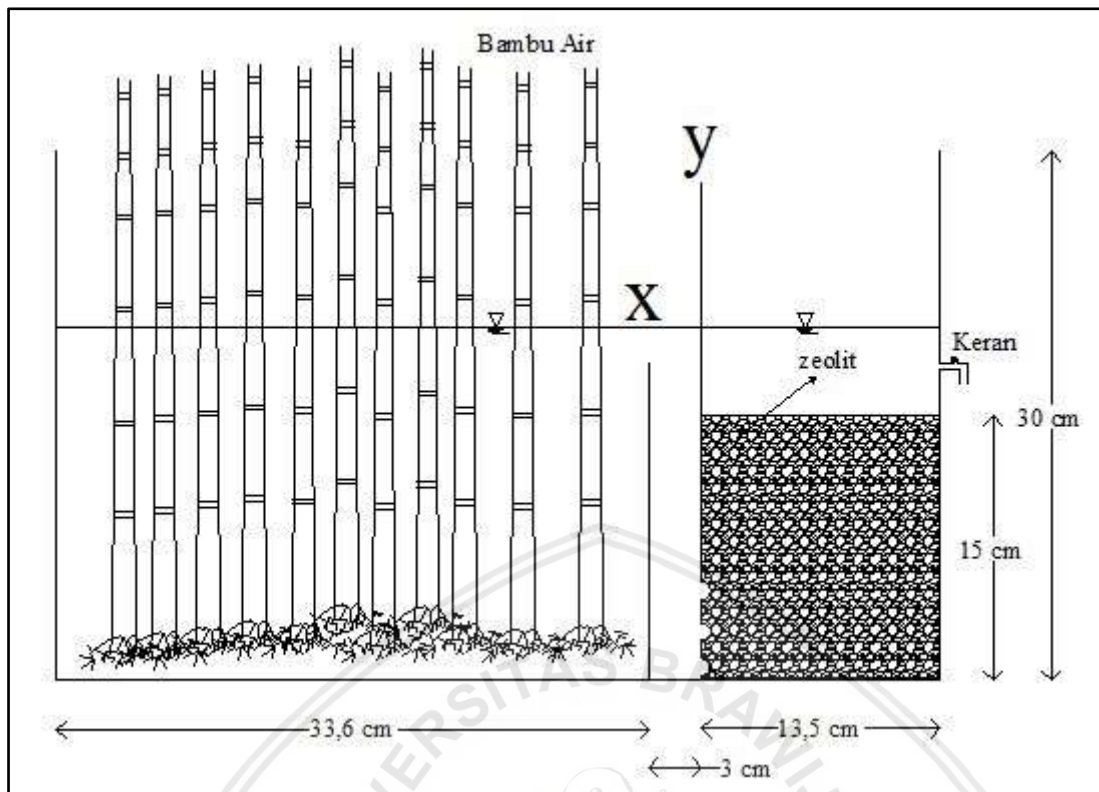
Pada penelitian ini menggunakan alat yang dirancang sendiri dengan variasi jumlah tanaman Bambu Air yang berbeda pada model 1 dan model 2. Bak penampung terbuat dari kaca dengan ukuran yang sama pada kedua model yaitu 50 cm x 30 cm x 30 cm.



Gambar 3.4. Rancangan Percobaan Model 1 (Bak A)

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Pada Model 1 ini menggunakan variasi jumlah tanaman bambu air 60 batang dengan ketinggian zeolit 15 cm.

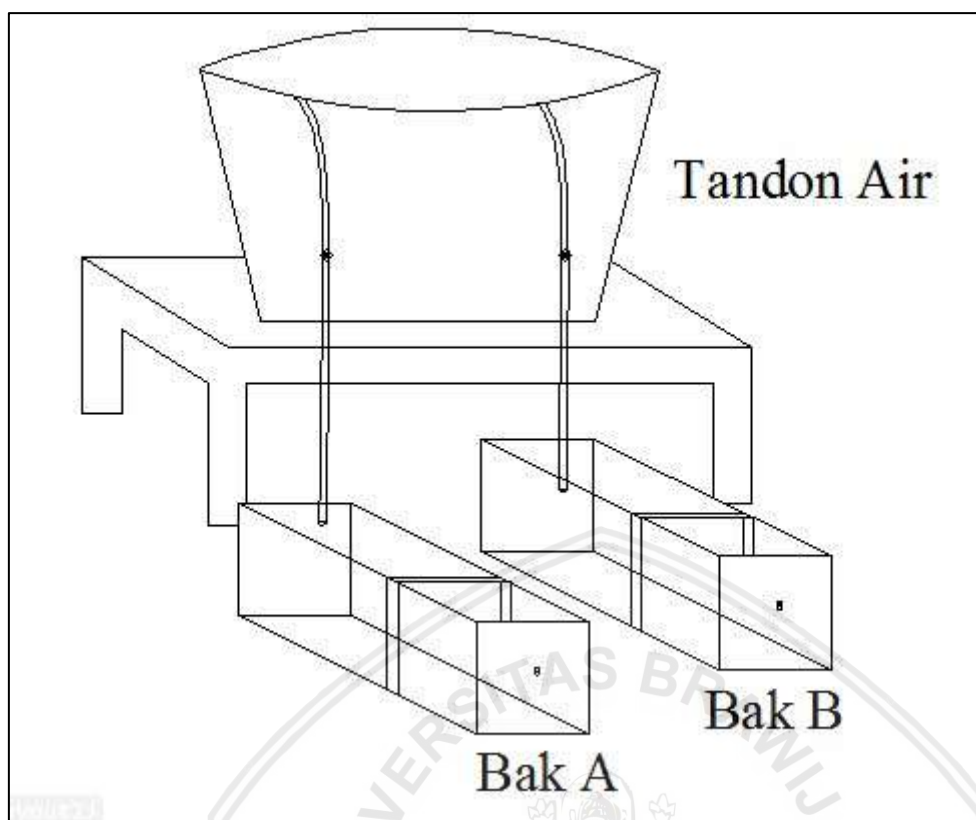


Gambar 3.5. Rancangan Percobaan Model 2 (Bak B)

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

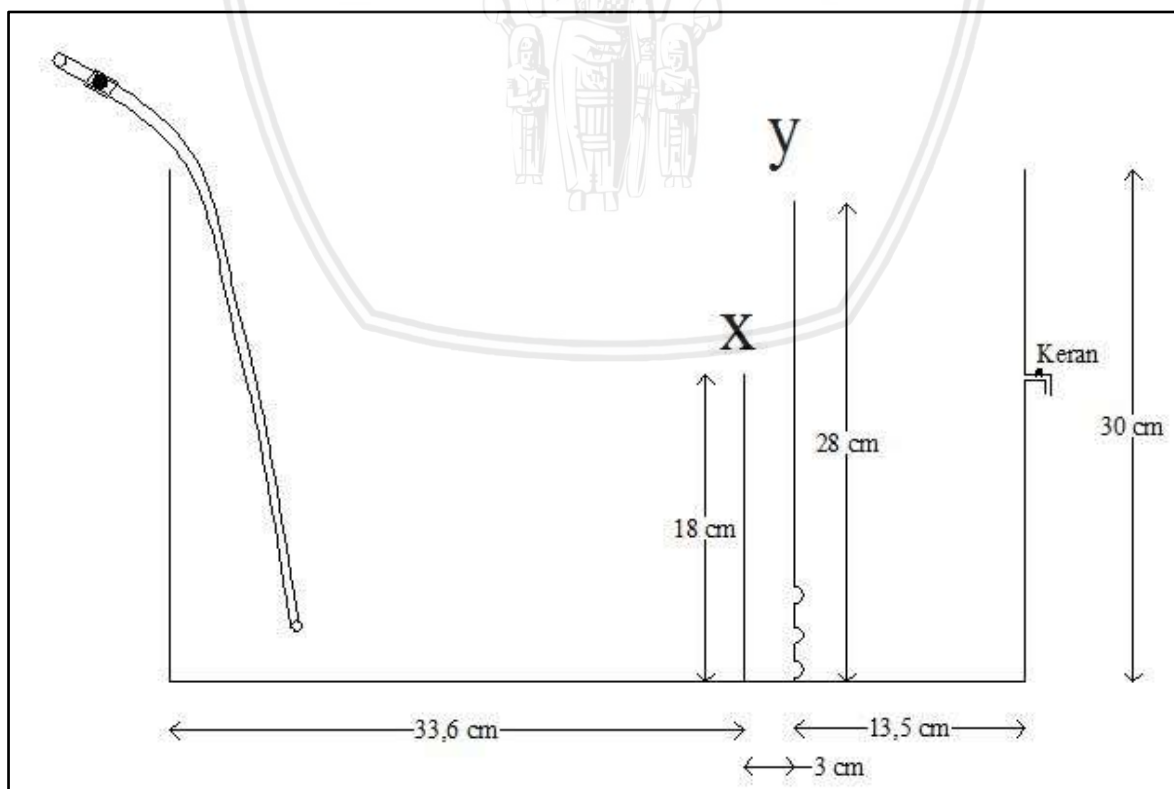
Pada Model 2 menggunakan variasi jumlah tanaman bambu air 100 batang dengan ketinggian zeolit sama dengan bak A yaitu 15 cm. Untuk dimensi alat dan sekat sama dengan bak A.

Alat penjernih air ini terdiri atas penggabungan metode fitoremediasi dan metode saringan pasir lambat (SPL). Metode SPL yang digunakan adalah SPL *up flow* dengan media zeolit alam berdiameter butir 2-4 mm. Sedangkan untuk metode fitoremediasi menggunakan tanaman bambu air berjumlah 100 rumpun dan 60 rumpun yang setiap rumpun terdiri atas 2-3 tanaman. Berikut adalah dimensi dari rancangan alat penjernih yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 3.6 Sketsa Rangkaian Alat Penjernih

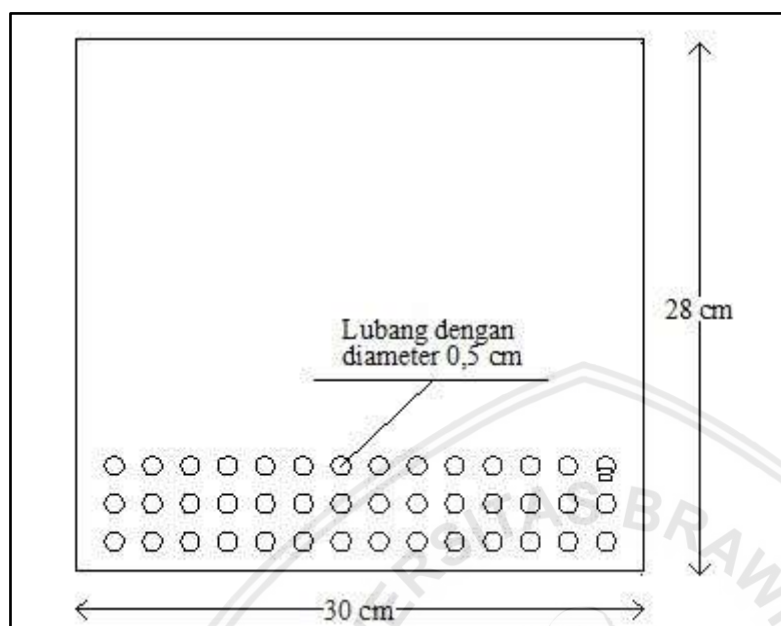
Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018



Gambar 3.7 Tampak Samping Bak Penelitian

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Pada gambar diatas X dan Y adalah sekat yang memisahkan antara bak fitoremediasi dan bak SPL. Untuk sekat X memiliki panjang 18 cm dan lebar 30 cm sedangkan sekat Y memiliki panjang 28 cm dan lebar 30 cm dengan bagian bawah dilubangi sebesar 0,5 cm.



Gambar 3.8 Detail sekat Y

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

3.9. Rancangan Perlakuan

Tanaman bambu air dimasukkan ke dalam bak-bak yang telah berisi zeolit. Kemudian air limbah sintesis yang telah dibuat dan ditampung di tandon dialirkan ke bak 1 dan bak 2. Kemudian dari masing-masing perlakuan diambil sampel 200 ml pada hari ke 7, 14 dan 21 untuk diuji kualitas airnya di Laboratorium. Pengambilan sampel tersebut untuk mengetahui berapa penurunan kadar polutan selama perlakuan tersebut. Dari perlakuan dengan penempatan pada alam terbuka tersebut dipilih perlakuan yang memberikan hasil maksimal dan efektif dalam menurunkan kadar polutan.

3.10. Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 3.2. berikut ini:

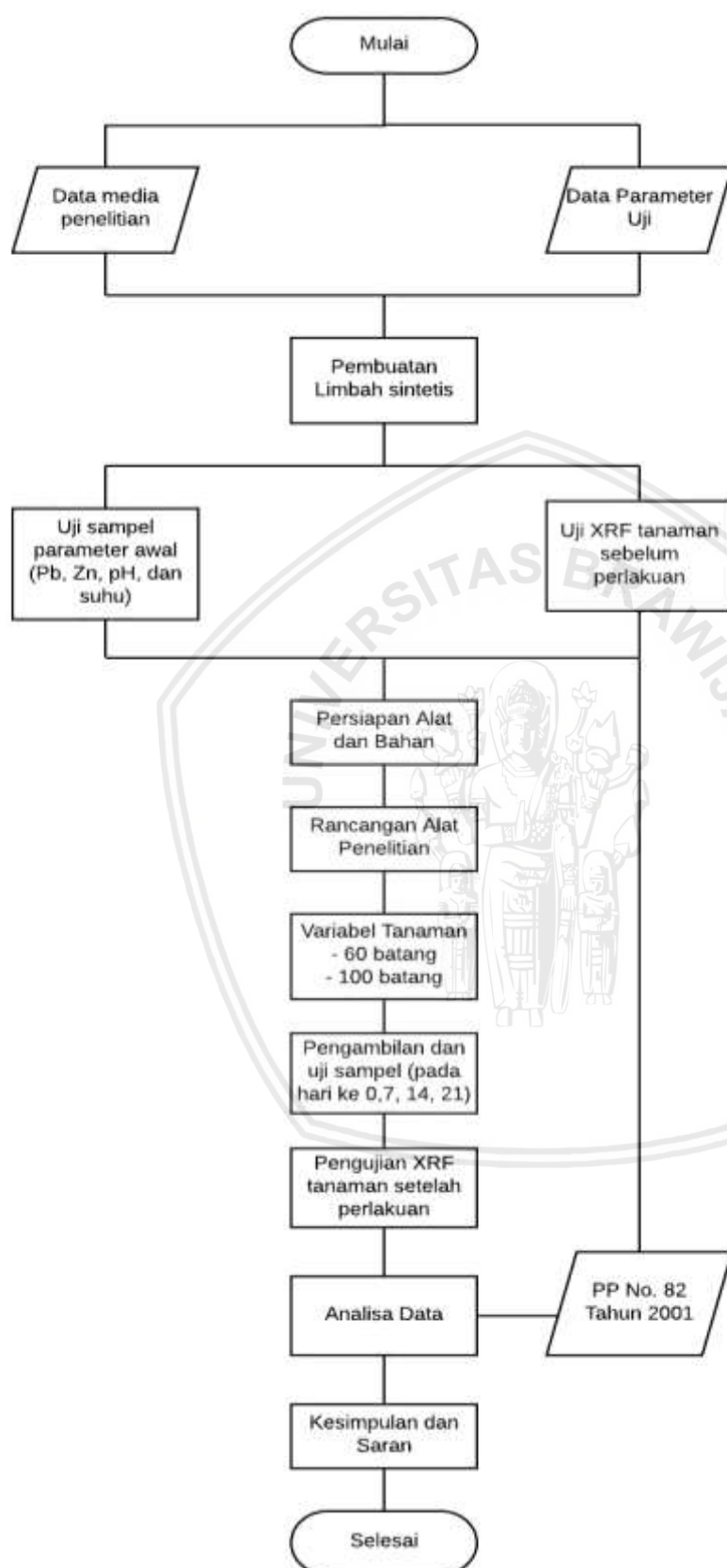
Tabel 3.2.

Parameter Pengamatan

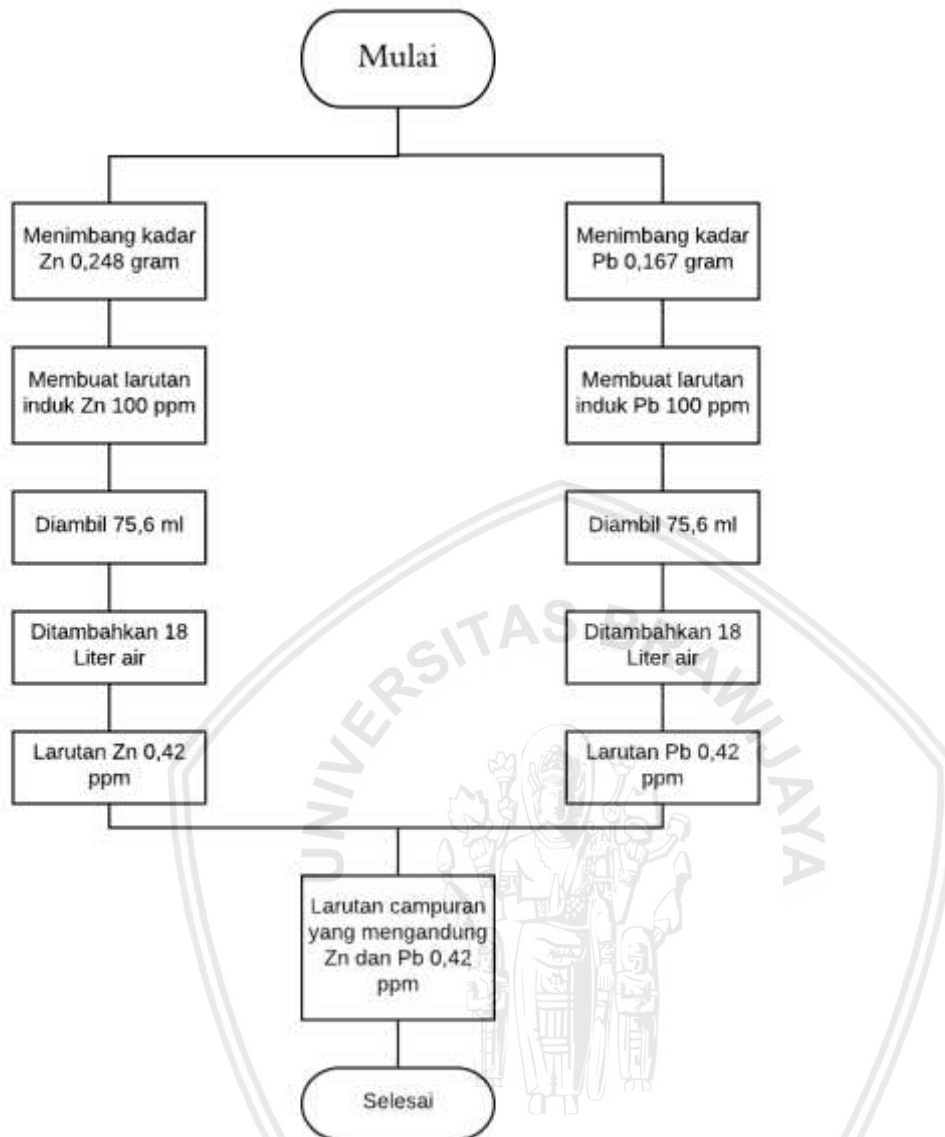
No.	Parameter	Uraian
1.	Logam Pb	Logam besi direduksi hingga mencapai angka 0,03 mg/L
2.	Logam Zn	Logam besi direduksi hingga mencapai angka 0,05 mg/L
3.	pH	Derajat keasaman harus ada di rentan 6-9

Sumber: Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Kualitas Air

3.11. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian
Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018



Gambar 3.10 Diagram Alir Pembuatan Limbah Sintetis
Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Awal Sampel Air Limbah

Sampel awal air limbah ini menggunakan limbah sintetis dengan parameter Pb dan Zn. Kandungan Pb dan Zn pada sampel awal sebesar 0,42 ppm hal ini dikarenakan kadar 0,42 ppm tidak sesuai dengan standar baku mutu air pada kelas II. Untuk selanjutnya kandungan Pb dan Zn 0,42 ppm akan diturunkan hingga 0,03 untuk Pb dan 0,05 untuk Zn sesuai dengan kelas III Kriteria Mutu Air. Pembuatan larutan dilakukan pada tanggal 26 Oktober 2018 di Laboratorium Tanah dan Air Tanah. Kondisi awal dari sampel limbah ini yaitu kondisi pada saat sampel limbah belum diberikan perlakuan.

Adapun empat parameter uji yang diujikan di Laboratorium Tanah dan Air Tanah meliputi pH, suhu, Timbal (Pb) dan Seng (Zn). Dari hasil uji laboratorium dengan mengambil sampel awal limbah diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.1

Hasil Uji Laboratorium Sampel Awal Tanggal 26 Oktober 2018

No.	Parameter Uji	Satuan	Nilai	Standar Baku Mutu PP No.82 Tahun 2001
1	pH	-	5,74	6-9
3	Timbal (Pb)	mg/L	0,00	0,03
4	Seng (Zn)	mg/L	0,42	0,05

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Tanah dan Air Tanah Universitas Brawijaya (2018)

Dari hasil uji laboratorium di atas 2 parameter tidak memenuhi standar baku mutu air, yaitu Seng (Zn) dan pH. Sedangkan untuk parameter Timbal (Pb) pada sampel sangat kecil sekali sehingga terbaca 0 pada hasil uji laboratorium tersebut. Untuk parameter pendukungnya yaitu suhu cenderung sesuai dengan suhu ruangan. Dengan hasil tersebut maka diperlukan upaya agar parameter di atas dapat sesuai dengan standar baku mutu air kelas III pada PP No.82 Tahun 2001.

4.2. Pengaturan Air Limbah pada Alat

Pengaturan air pada alat dilakukan dengan selang infus yang terhubung dari tandon ke alat. Debit yang akan masuk bak penampung diatur sekecil mungkin.



Gambar 4.1 Selang Infus Sebagai Pengatur Kecepatan Aliran

Sumber Gambar: Dokumentasi, 2018

Proses pemasukan air:

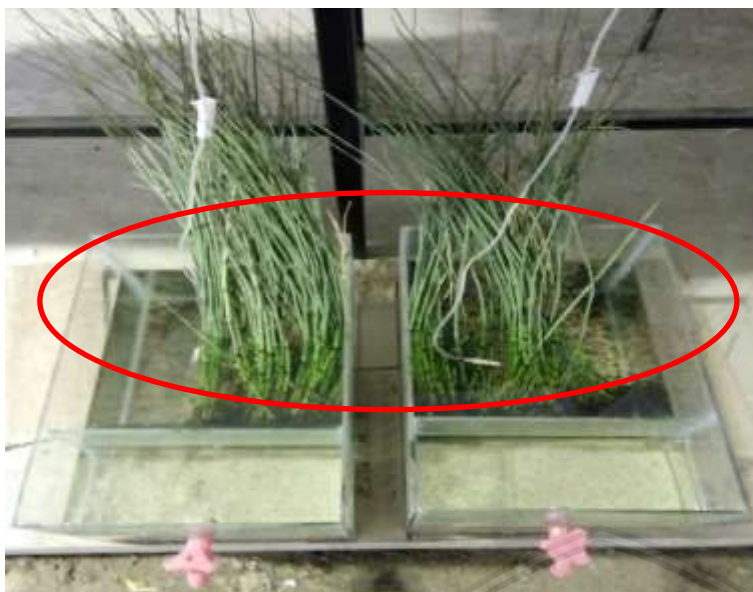
1. Pasang selang infus pada tandon dengan dop untuk menahan selang agar menempel pada tandon.
2. Air limbah sebesar 36 liter dimasukkan ke dalam tandon.
3. Alirkan air dengan selang infus dengan kondisi *roller clamp* pada selang diatur agar mengalir maksimal
4. Setelah bak penampung penuh, debit diatur sekecil mungkin. Debit yang mengalir pada bak A dan B harus sama. Fungsi menggunakan selang infus agar pengaturan debit lebih mudah karena debit yang dibutuhkan selama perlakuan sangat kecil.
5. Setelah debit konstan, biarkan aliran tersebut mengalir nonstop hingga keluar melalui keran outflow.

4.3. Komposisi Media Penyaring

4.3.1 Media Fitoremediasi

Pada penelitian ini media untuk fitoremediasi adalah tanaman bambu air. Jumlah tanaman menjadi variabel pada penelitian ini. Setiap bak diisi tanaman bambu air masing-masing 60 tanaman pada bak A dan 100 tanaman pada bak B. Tujuan variabel jumlah tanaman pada masing-masing bak adalah untuk mencari berapa jumlah efektif tanaman yang mampu mengurangi kadar logam pada limbah pada proses fitoremediasi.

Sebelumnya tanaman direndam dahulu dengan air limbah sintesis selama 1 hari, bertujuan untuk mengadaptasi tanaman dengan lingkungan yang baru.



Gambar 4.2 Perendaman Tanaman Bambu Air pada Bak Fitoremediasi

Sumber Gambar: Dokumentasi, 2018

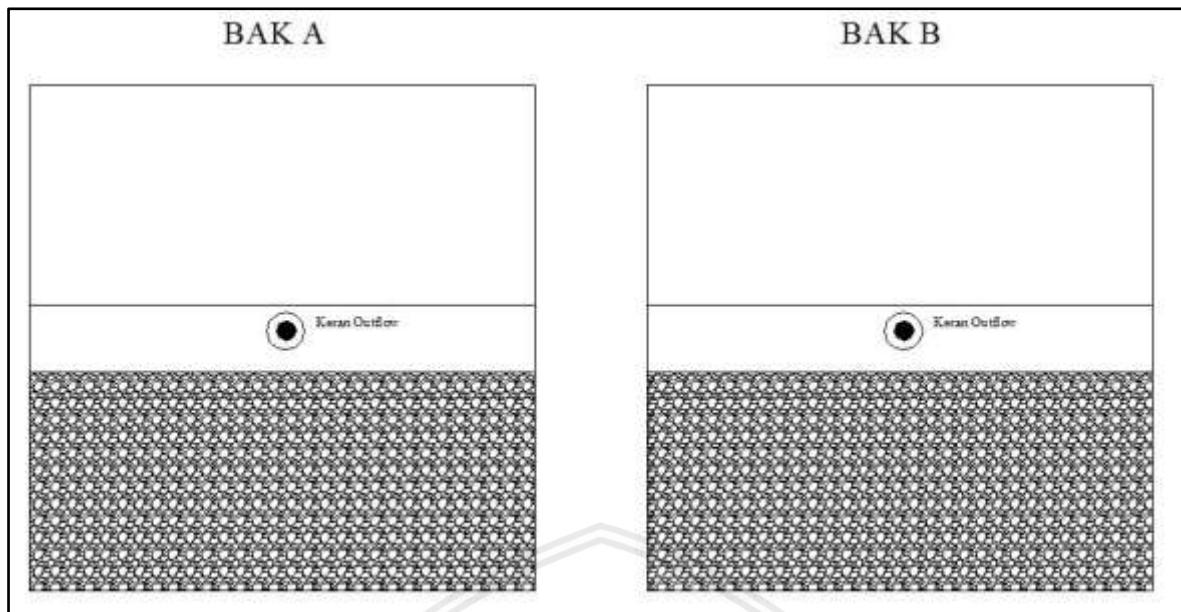
4.3.2. Media Saringan Pasir Lambat (SPL)

Pada metode saringan pasir lambat dalam penelitian ini media penyaring menggunakan zeolit alam. Dalam penelitian ini ketinggian zeolit pada setiap bak sama yaitu 15 cm. Hal ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Claudia Fichta Utassia pada tahun 2016. Dalam penelitian tersebut bak fitoremediasi dengan ketebalan zeolit 15 cm cukup efektif dalam proses filtrasi.



Gambar 4.3 Ketebalan Zeolit pada Bak Penelitian

Sumber Gambar: Dokumentasi, 2018



Gambar 4.4 Tampak Depan Sketsa Ketebalan Zeolit Pada Bak Penelitian

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

4.4. Perhitungan Debit yang Mengalir pada Alat

Debit yang masuk ke bak fitoremediasi melalui selang di atur sekecil mungkin dan sama antara ke dua bak. Tahapan pelaksanaan pengukuran debit adalah sebagai berikut

- Menyiapkan botol ukur dan stopwatch
- Menempatkan botol ukur dibawah selang
- Mengukur waktu air untuk mencapai suatu batas tertentu pada botol ukur
- Mencatat hasil pengukuran

Hasil pengukuran debit dilakukan pengulangan sebanyak dua kali, seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.2

Hasil Pengukuran Debit ke Bak Fitoremediasi

No	Bak	Pengulangan	Waktu (Detik)	Volume (ml)	Debit (l/menit)	Debit Rerata (l/menit)
1	A	1	170	10	0,00353	0,003706
		2	170	11	0,00388	
2	B	1	170	10	0,00353	0,003529
		2	170	10	0,00353	

Sumber: Hasil Pengukuran (2018)

Dari tabel tersebut dapat diketahui kapan waktu pengisian ulang limbah ke tandon.

Berikut perhitungannya:

Contoh perhitungan pada Bak A:

- Pengulangan 1

$$\text{Waktu (t)} = 170 \text{ detik} = 2,833 \text{ menit}$$

$$\text{Volume (V)} = 10 \text{ ml} = 0,01 \text{ liter}$$

$$\text{Debit (Q)} = \frac{V}{t} = \frac{0,01}{2,833} = 0,00353 \text{ l/menit}$$

- Pengulangan 2

$$\text{Waktu (t)} = 170 \text{ detik} = 2,833 \text{ menit}$$

$$\text{Volume (V)} = 11 \text{ ml} = 0,011 \text{ liter}$$

$$\text{Debit (Q)} = \frac{V}{t} = \frac{0,011}{2,833} = 0,00388 \text{ l/menit}$$

- Q rerata bak A = $\frac{0,00353}{0,00388} = 0,003706 \text{ l/menit}$

$$\begin{aligned} \text{Qrerata total} &= \frac{\text{Q rerata bak A} + \text{Q rerata bak B}}{2} \\ &= \frac{0,003706 + 0,003529}{2} = 0,003618 \text{ l/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tandon} &= 36 \text{ L} \\ t &= \frac{V}{Q} = \frac{36}{0,003618} = 9951,2195 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$1 \text{ hari} = 24 \times 60 = 1440 \text{ menit}$$

$$t = \frac{9951,2195}{1440} = 6,9 \text{ hari} \sim 7 \text{ hari}$$

Jadi dengan volume air dalam tandon 36 L dapat bertahan hingga 6,9 hari dengan debit 0,003618 l/menit dan pengisian ulang limbah ke tandon dilakukan pada hari ke-7 atau setiap 7 hari sekali.

Debit keluaran/output dari masing-masing bak setelah air limbah mendapatkan perlakuan juga diatur sekecil mungkin agar waktu air limbah kontak dengan tanaman pada bak fitoremediasi cukup lama.

4.5. Analisa Hasil Proses Penurunan Kandungan Parameter Air Limbah

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini terdiri dari tiga model dengan variabel jumlah tanaman yang berbeda-beda, yaitu bak A dengan jumlah tanaman 60 batang dan bak B dengan jumlah tanaman 100 batang.

Dengan perbedaan jumlah tanaman tersebut didapatkan hasil yang berbeda dan dapat diketahui susunan mana yang dapat menghasilkan nilai keluaran (output) yang paling

optimal. Interval pengambilan sampel yang dilakukan pada penelitian ini adalah setiap 7 hari dengan keadaan aliran yang mengalir terus-menerus. Sampel yang diambil sebanyak 200 ml di setiap baknya. Pengujian dari sampel tersebut dilakukan secara langsung. Dengan interval waktu tersebut diharapkan dapat diketahui kemampuan media tersebut dalam mereduksi kandungan logam pada air limbah.

Untuk mempermudah pemahaman, tanggal pada setiap pengambilan dapat dilihat pada tabel rangkaian kegiatan sebagai berikut:

Tabel 4.3

Rangkaian Kegiatan Penelitian Fitoremediasi

Tanggal	Kegiatan
15 Oktober 2018	Pra Penelitian
	* Pembuatan Alat Filtrasi
	* Survey Tanaman
24 Oktober 2018	Percobaan Adaptasi Tanaman
	* Menggunakan Air PDAM
	* Menggunakan 20 batang tanaman
25 Oktober 2018	Pengecekan Alat
26 Oktober 2018	Penelitian Awal
	*Pembuatan sampel awal limbah
	*Pengukuran awal sampel
01 Nopember 2018	Pengambilan Ke-1
08 Nopember 2018	Pengambilan Ke-2
15 Nopember 2018	Pengambilan Ke-3
16 Nopember 2018	Penelitian Akhir
	*Pengujian XRF pada Tanaman

Sumber: Data Penelitian (2018)

4.5.1. pH (*power of Hydrogen*)

pH merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan intensitas keadaan asam atau basa suatu larutan. pH perlu dipertimbangkan karena dapat mempengaruhi aktivitas kimia dalam air maupun pertumbuhan organisme. Hasil uji laboratorium didapatkan sampel awal air limbah yang cenderung bersifat asam

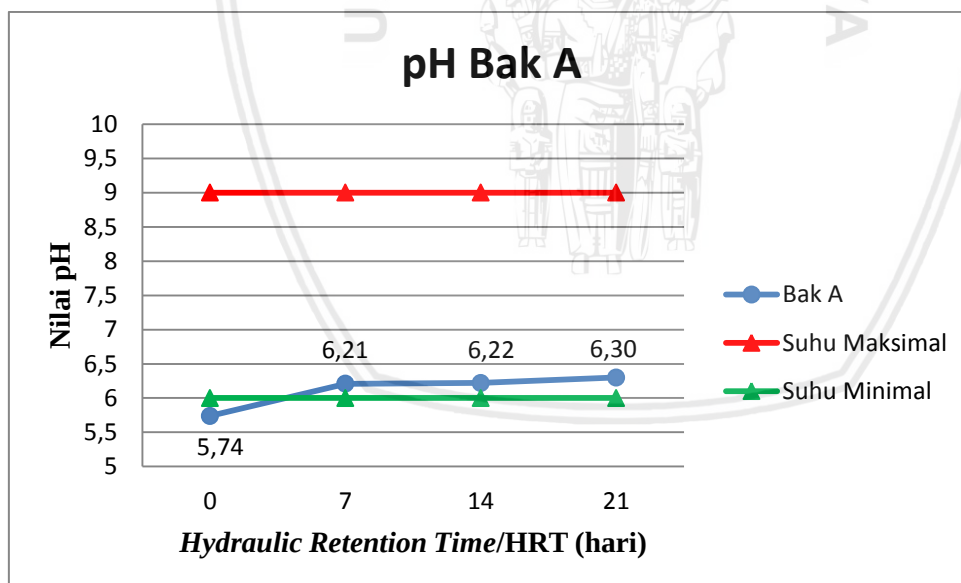
Tabel 4.4

Hasil Pengujian kadar pH pada limbah

Pengambilan ke-	Satuan	Parameter pH	
		Bak A	Bak B
0	-	5,74	5,74
1	-	6,21	6,20
2	-	6,22	6,19
3	-	6,30	6,28

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Tanah dan Air Tanah Universitas Brawijaya (2018)

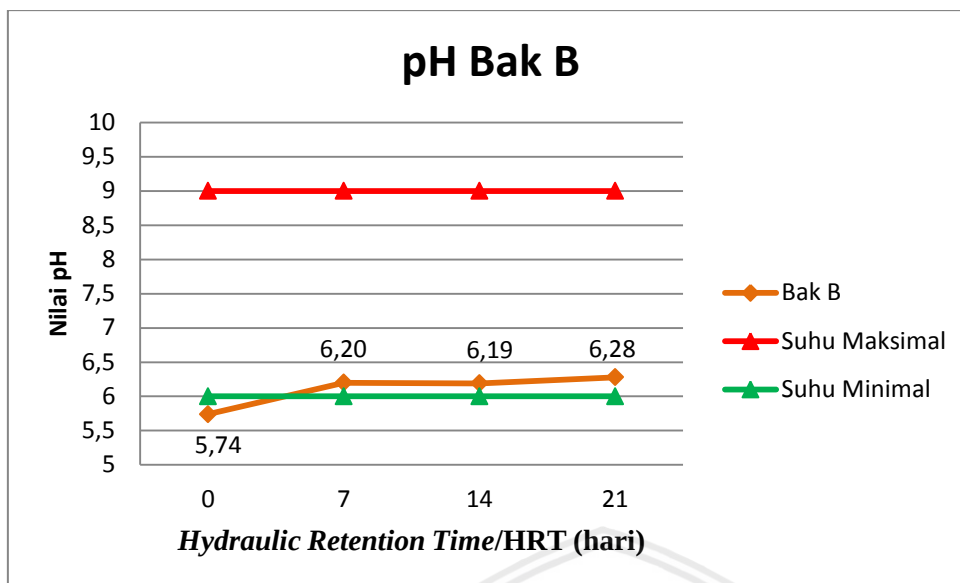
Dari hasil uji laboratorium diatas, nilai pH pada bak A maupun bak B mengalami kenaikan dari sampel awal limbah sintetis. Setelah adanya perlakuan selama 21 hari pH pada bak A maupun bak B cenderung bersifat asam kuat.



Gambar 4.5 Grafik Nilai pH (derajat keasaman)

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

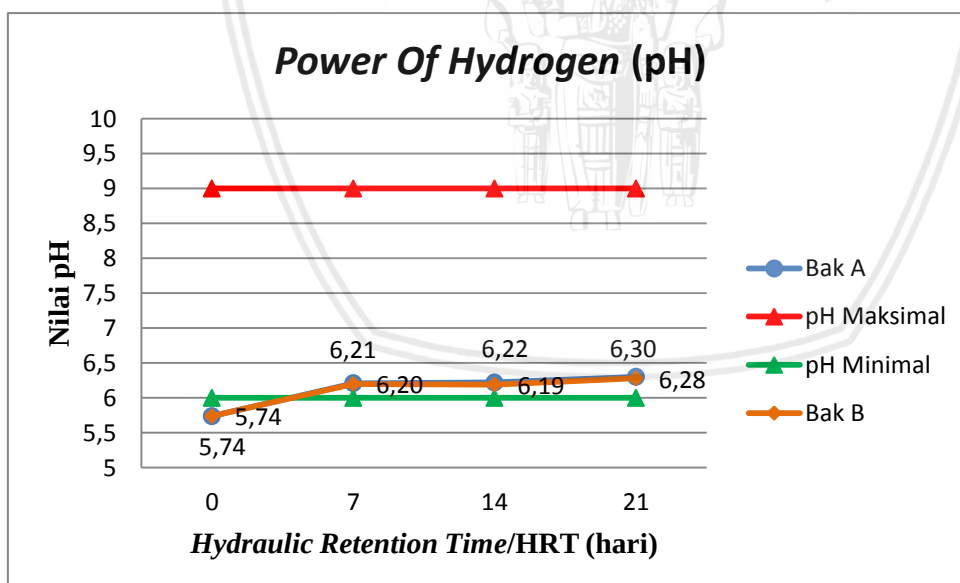
Setelah adanya perlakuan selama 7 hari pH meningkat dari pH awal 5,74 menjadi 6,21. Pada terbesar adalah pada perlakuan selama 21 hari yaitu sebesar 6,30. Secara keseluruhan nilai pH pada bak A meningkat hal ini berbanding lurus dengan lama perlakuan. Semakin lama adanya perlakuan pada limbah maka semakin besar pula nilai pH pada bak A.



Gambar 4.6 Grafik Kontrol Nilai pH dengan Standar Kualitas Air

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik diatas pH pada bak B juga mengalami peningkatan dari pH awal sebesar 5,74 menjadi 6,20. Akan tetapi pada hari ke 14 pH mengalami penurunan menjadi 6,19. Setelah 21 hari perlakuan pada bak B pH kembali meningkat menjadi 6,28. Secara keseluruhan pH pada bak A lebih besar dari pH awal limbah.



Gambar 4.7 Grafik Kontrol Nilai pH dengan Standar Kualitas Air

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa untuk bak A memiliki nilai pH terendah 6,21 dan tertinggi 6,30. Untuk bak B memiliki nilai pH terendah 6,19 dan tertinggi 6,28. Setelah adanya perlakuan alat penjernih air tersebut, pH meningkat dari pH awal. Ini disebabkan karena adanya media yang dapat mengurangi kadar keasaman air sehingga pH

dapat naik, yaitu adanya penggunaan zeolit alam dalam metode saringan pasir lambat. Zeolit yang digunakan mengandung morderit. Morderit ini berbasis alumina silika. Alumina silika ini yang dapat menaikkan kadar basa dalam air, sehingga pH air limbah yang awalnya asam menjadi asam kuat.

Peningkatan nilai pada parameter pH, karena air limbah sebelum dimasukkan kedalam alat penelitian dalam kondisi asam, dan saat di dalam alat, ion H^+ semakin berkurang. Sedangkan ion OH^- semakin bertambah. Sehingga, dapat dikatakan bahwa setelah keluar dari alat penelitian, nilai parameter pH tersebut menjadi basa lemah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa, semakin basa suatu zat, semakin sedikit jumlah ion H^+ dan semakin banyak ion OH^- di dalam air.



Dari reaksi kimia antara zeolit dan air diatas dapat dilihat bahwa hasil dari persamaan reaksi kimia tersebut adalah NaOH, yang terdiri dari ion Na^+ dari zeolit dan OH^- dari air. Air limbah yang awalnya bersifat asam menjadi basa lemah karena H^+ berkurang, sehingga OH^- mbertambah

Secara keseluruhan hasil yang diperoleh dari bak A dan bak B sudah sesuai dengan standar baku mutu air. Untuk baku mutu air yang ditentukan sesuai PP No. 82 Tahun 2001 adalah 6-9.

4.5.2. Timbal (Pb)

Pada penelitian ini salah satu logam yang akan direduksi adalah timbal (Pb) dengan standar baku mutu 0,03 mg/L berdasarkan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 Tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Pada awal pembuatan sampel limbah sintetis konsentrasi Pb yang dibuat sebesar 0,42 mg/L, yang nantinya akan direduksi hingga mencapai batas standar baku mutu.

Pada saat perlakuan konsentrasi Pb pada limbah setelah dilakukan pengujian AAS, konsentrasinya menjadi 0,00 mg/L. Hal ini dapat dikarenakan pada keadaan asam Pb cenderung melayang-layang, sedangkan pada kondisi basa Pb cenderung mengalami pengendapan pada dasar alat.

Pada penelitian ini nilai pH pada saat perlakuan memiliki nilai diatas 6 (mendekati pH 7) yang cenderung basa lemah. Oleh sebab itu pada saat pengambilan sampel uji kemungkinan Pb mengalami pengendapan sehingga pada saat pengujian kadar logam Pb dalam limbah kadarnya menjadi 0,00 mg/L. Karena nilai parameter Pb dalam penelitian ini 0,00 maka dalam pembahasan selanjutnya Pb tidak akan diperhitungkan.

4.5.3. Seng (Zn)

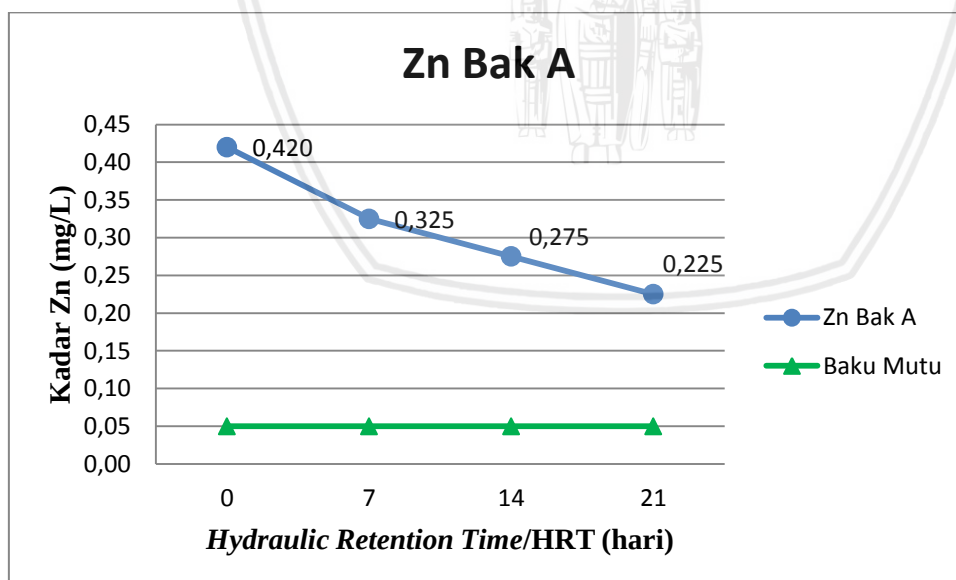
Seng merupakan jenis logam berat, keberadaan dari Zn ini perlu diawasi jumlahnya didalam air, khususnya pada air limbah yang dibuang di pemukiman maupun di sungai karena mempengaruhi kualitas air di sekitarnya. Dari hasil laboratorium diketahui bahwa kandungan seng yang ada pada sampel awal limbah sebesar 0,42 mg/L, hal ini tidak sesuai dengan baku mutu air yang telah ditetapkan. Kadar seng (Zn) berdasarkan Peraturan Pemerintah No.82 tahun 2001 tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran air adalah 0,05 mg/L. Maka dari itu diharapkan adanya penurunan konsentrasi logam seng dari air limbah menggunakan kombinasi tanaman bambu air dan zeolit. Adapun data yang didapat beserta grafik dan penjelasan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5

Hasil Analisa Pengukuran Seng (Zn)

Pengambilan ke-	Satuan	Parameter Zn	
		Bak A	Bak B
0	mg/L	0,420	0,420
1	mg/L	0,325	0,215
2	mg/L	0,275	0,040
3	mg/L	0,225	0,055

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Tanah dan Air Tanah Universitas Brawijaya (2018)

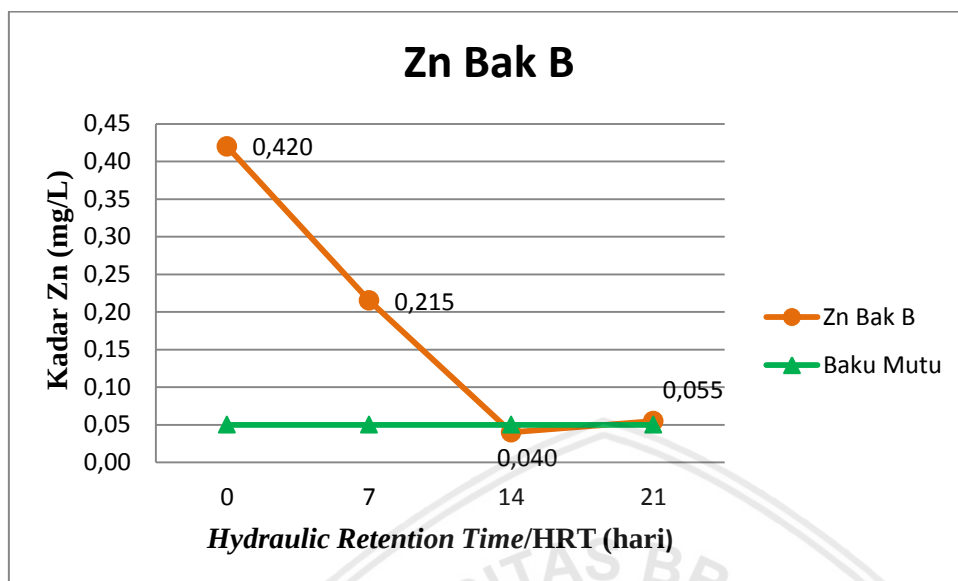


Gambar 4.8 Grafik hasil pengukuran kadar Zn pada Bak A

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Pada bak A dengan jumlah tanaman 60 batang dan ketebalan zeolit 15 cm, didapatkan bahwa penurunan kadar Zn paling terlihat adalah pada pengambilan ke 3 atau pada hari ke

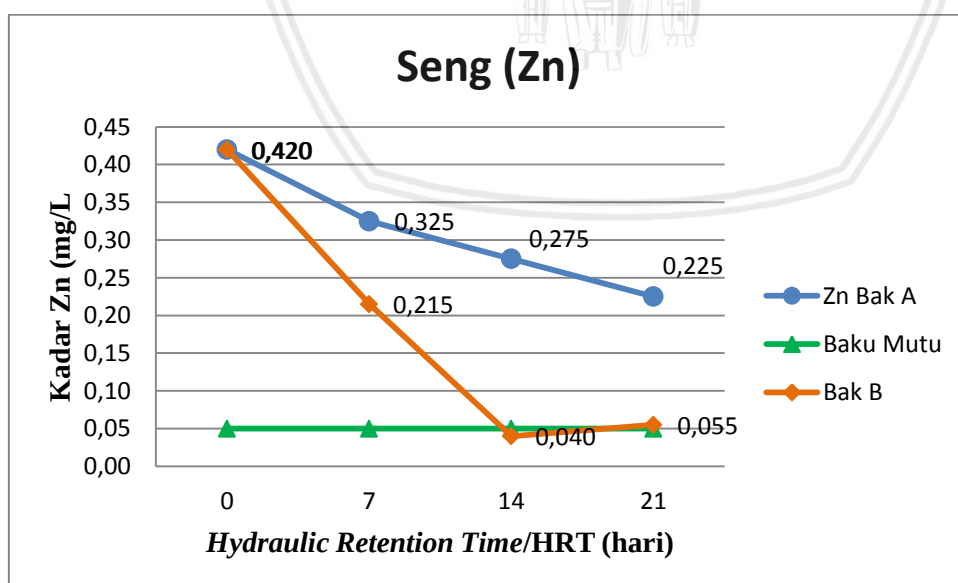
21 yaitu sebesar 0,225 mg/L. Akan tetapi dengan variabel tersebut masih belum dapat menurunkan kadar Zn yang sesuai dengan standar baku mutu air yaitu sebesar 0,05 mg/L.



Gambar 4.9 Grafik hasil pengukuran kadar Zn pada Bak B

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik diatas diketahui pada bak B dengan jumlah tanaman 100 batang dan zeolit dengan ketinggian 15 cm, didapatkan bahwa penurunan kadar Zn paling terlihat adalah pada saat pengambilan ke 2 yaitu sebesar 0,04 mg/L dari Zn awal sebesar 0,42 mg/L. Pada pengambilan ke 2 atau pada hari ke 14 ini kadar Zn sesuai dengan standar ijin yang telah ditetapkan yaitu dibawah 0,04 mg/L.



Gambar 4.10 Grafik hasil pengukuran kadar Zn

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa hasil reduksi yang diperoleh bak B lebih baik daripada bak A. Hal itu karena bak B dapat mereduksi kadar Zn sesuai dengan batas baku air. Sedangkan bak A dapat mereduksi kadnungan Zn namun masih belum sesuai dengan standar baku mutu air yang tealh ditetapkan.

4.5.4. Suhu

Dalam penelitian ini suhu adalah parameter tambahan yang diukur besarnya pada setiap bak dan pada semua perlakuan sampai 21 hari. Hasil pengukuran suhu dapat dilihat pada Tabel 4.6 dibawah ini.

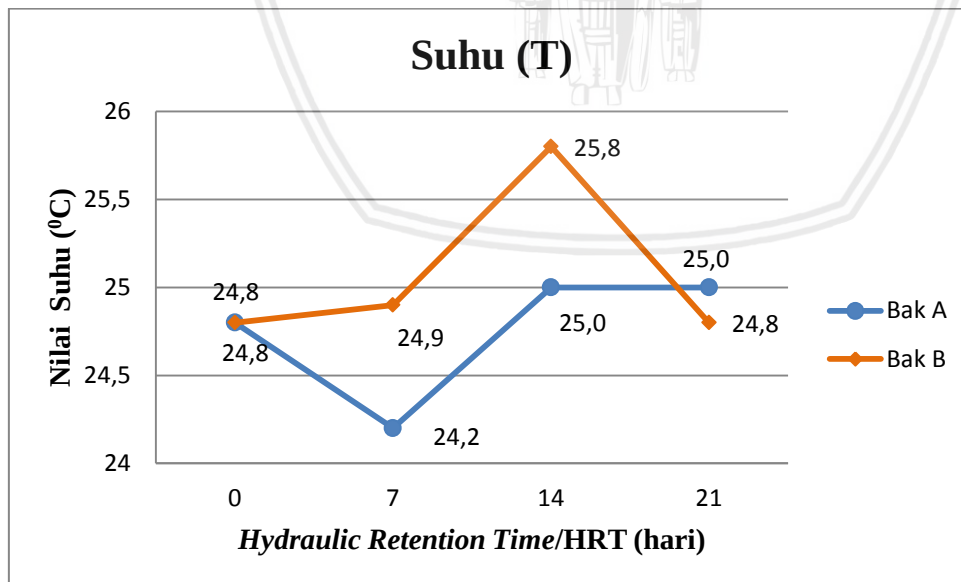
Tabel 4.6

Hasil Pengujian kadar suhu pada limbah

Pengambilan ke-	Satuan	Parameter Suhu	
		Bak A	Bak B
0	°C	24,8	24,8
1	°C	24,2	24,9
2	°C	25,0	25,8
3	°C	25,0	24,8

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Tanah dan Air Tanah Universitas Brawijaya (2018)

Hasil pengukuran suhu selama penelitian menunjukkan bahwa air limbah cenderung berada pada suhu ruangan. Hal ini dikarenakan memang penelitian dilakukan di dalam ruangan.



Gambar 4.11 Grafik hasil pengukuran suhu

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa suhu pada bak A dan bak B pada semua pengambilan cenderung cenderung fluktuatif. Untuk bak A memiliki suhu terendah 24,2°C

dan suhu tertinggi 25°C. Untuk bak B memiliki suhu terendah 24,8 °C dan suhu tertinggi 25,8 °C.

4.6. Efisiensi

Efisiensi yang dimaksud adalah membandingkan kandungan limbah awal dan kandungan limbah setelah dilakukan pengolahan menggunakan tanaman bambu air dan zeolit. Efisiensi pengurangan parameter air limbah dapat dihitung dengan cara:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \left| \frac{\text{konsentrasi limbah awal} - \text{konsentrasi limbah akhir}}{\text{konsentrasi limbah awal}} \right|$$

Menurut Soeparman Suparmin (2002), tingkat efisiensi IPAL dikelompokkan sebagai berikut:

Sangat efisien = $x > 80\%$

Efisien = $60\% < x \leq 80\%$

Cukup efisien = $40\% < x \leq 60\%$

Kurang efisien = $20\% < x \leq 40\%$

Tidak efisien = $x \leq 20\%$

4.6.1. Efisiensi pH

$$\text{Efisiensi (\%)} = \left| \frac{\text{konsentrasi limbah awal} - \text{konsentrasi limbah akhir}}{\text{konsentrasi limbah awal}} \right| \times 100 \%$$

Contoh Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi (\%)} &= \left| \frac{5,74 - 6,21}{5,74} \right| \times 100 \% \\ &= 8,19 \% \end{aligned}$$

Jadi tingkat efisiensinya dikelompokkan sebagai tidak efisien. Hasil perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada Tabel 4.7

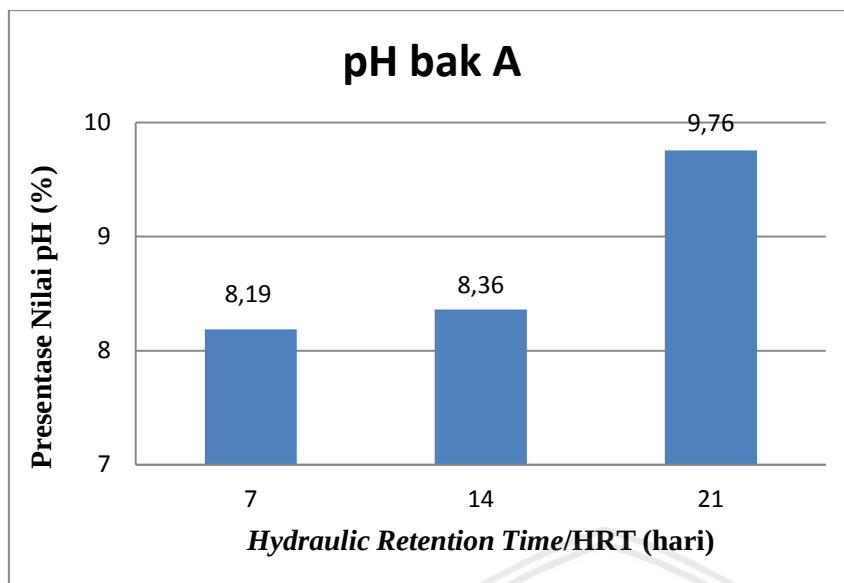
Tabel 4.7

Presentase Kenaikan pH Bak A

Pengambilan ke-	Nilai pH	Efisiensi (%)	Kelompok
0	5,74		
1	6,21	8,19	Tidak Efisien
2	6,22	8,36	Tidak Efisien
3	6,30	9,76	Tidak Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Dari Tabel 4.7 didapatkan hasil bahwa pH pada bak A tidak mengalami banyak perubahan setelah melalui pengolahan menggunakan tanaman bambu air 60 batang dan filtrasi zeolit. Tetapi secara keseluruhan pH mengalami peningkatan dari pH awalnya.



Gambar 4.12 Grafik Presentase pH Bak A

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa presentase kenaikan pH terbesar yaitu pada pengambilan ke 3 atau pada waktu tinggal 21 hari. Presentase kenaikan pH yang terjadi sebesar 9,76 %. Sedangkan presentase kenaikan pH terendah yaitu pada pengambilan ke 1 atau pada waktu tinggal masih 7 hari.

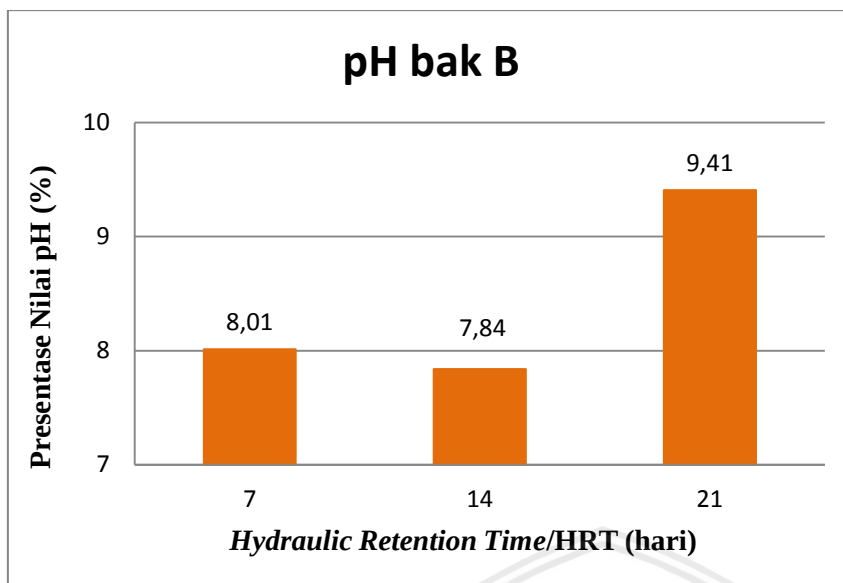
Tabel 4.8

Presentase kenaikan pH Bak B

Pengambilan ke-	Nilai pH	Efisiensi (%)	Kelompok
0	5,74		
1	6,21	8,01	Tidak Efisien
2	6,22	7,84	Tidak Efisien
3	6,30	9,41	Tidak Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

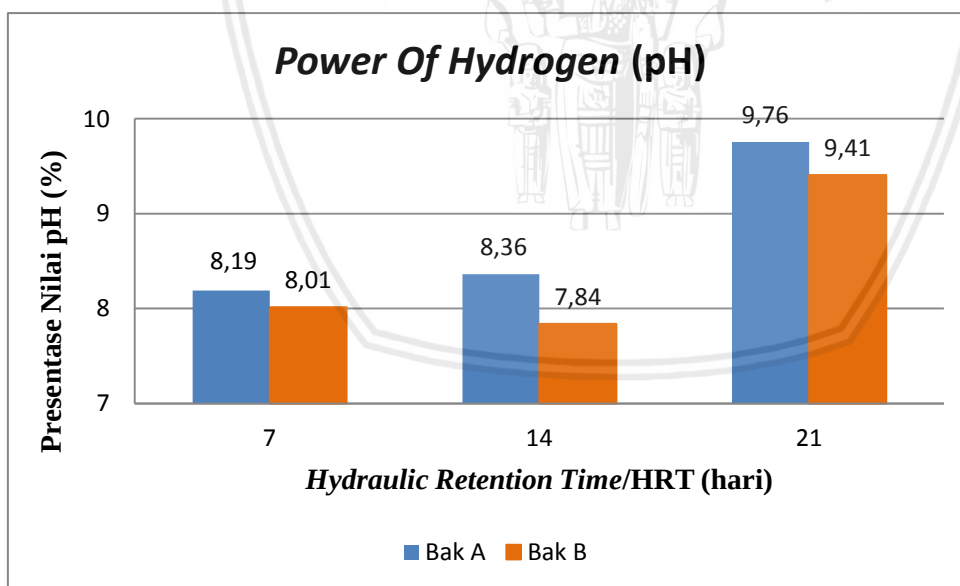
Pada tabel diatas dapat diketahui bahwa pH pada bak B tidak jauh berbeda dari bak A yaitu tidak mengalami banyak perubahan setelah melalui pengolahan menggunakan tanaman bambu air sebanyak 100 batang dan filtrasi zeolit. Tetapi secara keseluruhan pH mengalami peningkatan dari pH awal.



Gambar 4.13 Grafik Presentase pH Bak B

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik presentase kenaikan pH diatas dapat dilihat bahwa presentase kenaikan pH terbesar pada bak B yaitu pada pengambilan ke 3 atau pada waktu tinggal 21 hari. Presentase kenaikan pH yang terjadi sebesar 9,41 %. Sedangkan presentase kenaikan pH terendah yaitu pada pengambilan ke 2 atau pada waktu tinggal 14 hari yaitu sebesar 7,84%.



Gambar 4.14 Grafik Presentase pH

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan bak A lebih efisien dalam meningkatkan nilai pH daripada bak B. Bak A dengan 60 Tanaman lebih efektif dalam menurunkan pH daripada bak B dengan 100 tanaman.

4.6.2. Efisiensi Seng (Zn)

$$\text{Efisiensi (\%)} = \left| \frac{\text{konsentrasi limbah awal} - \text{konsentrasi limbah akhir}}{\text{konsentrasi limbah awal}} \right| \times 100 \%$$

Contoh Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi (\%)} &= \left| \frac{0,42 - 0,325}{0,42} \right| \times 100 \% \\ &= 22,62 \% \end{aligned}$$

Jadi tingkat efisiensi Zn pada bak A dikelompokkan sebagai kurang efisien. Hasil perhitungan selanjutnya akan ditabelkan pada Tabel 4.9 dan 4.10

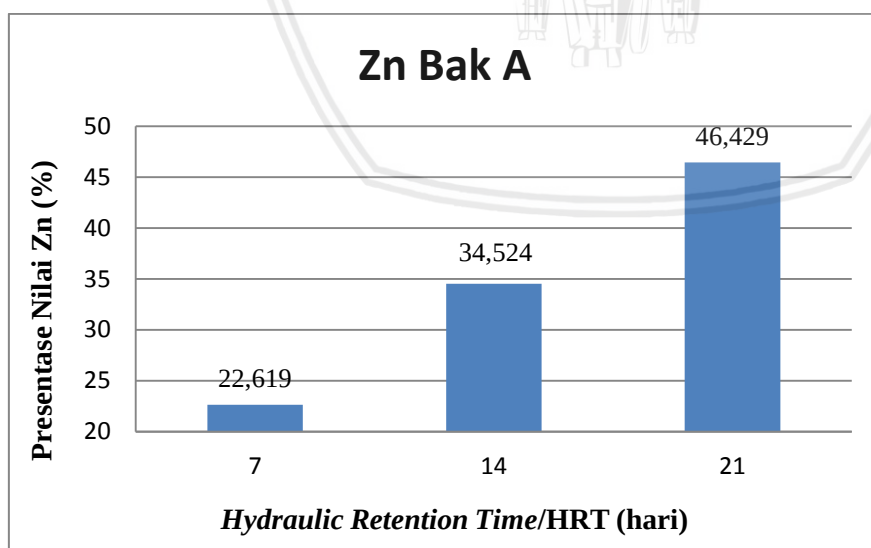
Tabel 4.9

Presentase Penurunan Zn Bak A

Pengambilan ke-	Nilai pH	Efisiensi (%)	Kelompok
0	0,420		
1	0,325	22,62	Kurang Efisien
2	0,275	34,52	Kurang Efisien
3	0,225	46,43	Cukup Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Dari Tabel 4.9 didapatkan hasil bahwa secara keseluruhan Zn pada bak A Kurang Efisien untuk menurunkan kadar Zn dalam limbah. Hal ini bisa disebabkan karena jumlah tanaman sebagai media fitoremediasi jumlahnya kurang sehingga proses adsorpsi pada alat ini kurang maksimal. Tetapi secara keseluruhan Zn pada bak A mengalami penurunan dari Zn awalnya.



Gambar 4.15 Grafik Presentase Penurunan Zn Bak A

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik 4.13 diatas dapat dilihat bahwa presentase penurunan Zn terbesar yaitu pada pengambilan ke 3 atau pada waktu tinggal 21 hari. Presentase penurunan Zn yang

terjadi sebesar 46,43 %. Sedangkan presentase penurunan Zn terendah yaitu pada pengambilan ke 1 atau pada waktu tinggal masih 7 hari sebesar 22,62 %.

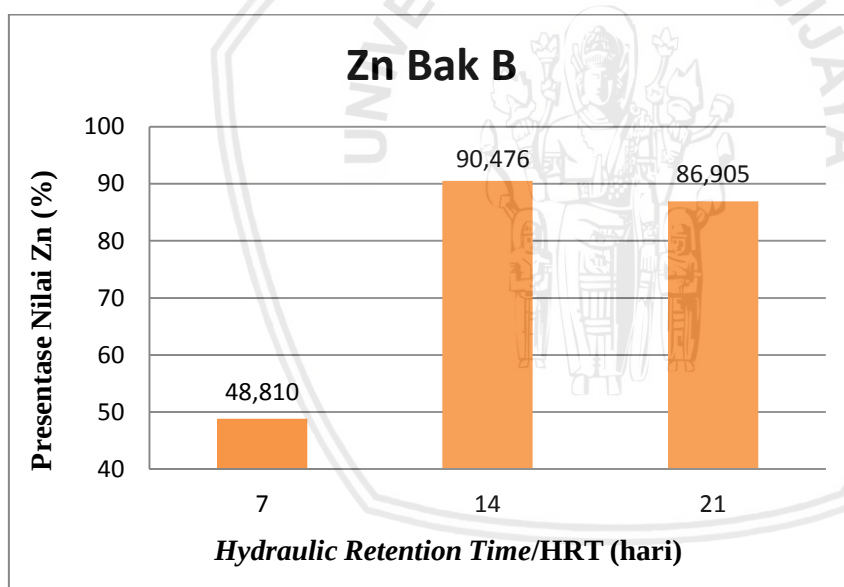
Tabel 4.10

Presentase Penurunan Zn Bak B

Pengambilan ke-	Nilai pH	Efisiensi (%)	Kelompok
0	0,420		
1	0,215	48,81	Cukup Efisien
2	0,040	90,48	Sangat Efisien
3	0,055	86,90	Sangat Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

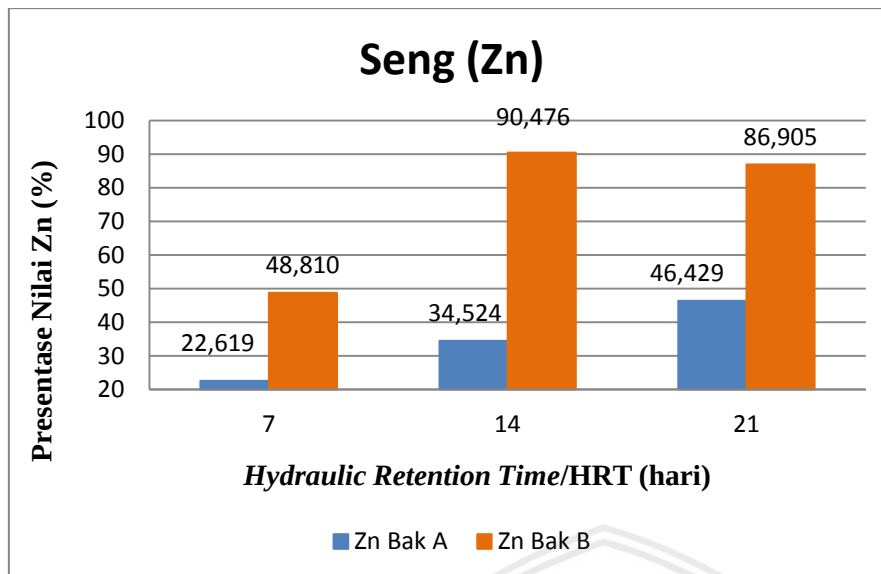
Dari tabel diatas didapatkan hasil bahwa secara keseluruhan Zn pada bak B Sangat Efisien untuk menurunkan kadar Zn dalam limbah. Hal ini bisa disebabkan karena jumlah tanaman sebagai media fitoremediasi jumlahnya sudah sesuai dengan kadar Zn dalam limbah sehingga proses adsorpsi pada bak B sudah maksimal.



Gambar 4.16 Grafik Presentase Penurunan Zn Bak B

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik presentase penurunan Zn diatas dapat dilihat bahwa presentase penurunan pH terbesar pada bak B yaitu pada pengambilan ke 2 atau pada waktu tinggal 14 hari. Presentase penurunan Zn yang terjadi sebesar 90,476 %. Sedangkan presentase penurunan Zn terendah yaitu pada pengambilan ke 1 atau pada waktu tinggal 7 hari yaitu sebesar 48,81 %.



Gambar 4.17 Grafik Presentase Penurunan Zn

Sumber Gambar: Olahan Peneliti, 2018

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa bak B lebih efektif dalam menurunkan kadar logam dalam limbah dibandingkan bak A. Hal ini dikarenakan pada bak B jumlah tanaman yang digunakan adalah 100 batang bambu air, sehingga penyerapan yang dilakukan oleh tanaman lebih maksimal dibandingkan dengan dengan bak A yang memiliki lebih sedikit tanaman bambu air yaitu 60 batang tanaman bambu air.

Tabel 4.11

Rekapitulasi Efisiensi Bak A dan Bak B

No	Parameter	Hari Ke-	Efisiensi	
			Bak A	Bak B
1	Zn	7	Kurang Efisien	Cukup Efisien
		14	Kurang Efisien	Sangat Efisien
		21	Cukup Efisien	Sangat Efisien
2	pH	7	Tidak Efisien	Tidak Efisien
		14	Tidak Efisien	Tidak Efisien
		21	Tidak Efisien	Tidak Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa Efisiensi pH pada kedua bak tidak efisien, sedangkan efisiensi Seng (Zn) pada bak A cukup efisien pada hari ke 21 dan pada bak B hari ke 14 dan 21 sangat efisien. Jadi bak B lebih efisien daripada bak A dalam menurunkan kadar logam. Untuk pH pada kedua bak sama-sama tidak efektif dalam proses penurunan pH.

4.7. Analisa Akar dan Batang pada Tanaman Bambu Air

Pada penelitian yang dilakukan oleh Moh. Mishbahul Anam MS, Evi Kurniati, dan Bambang Suharto pada tahun 2013 menjelaskan bahwa dengan tanaman bambu air mampu mereduksi logam Pb (timbal) yang terkandung dalam air limbah lindi. untuk membuktikan dan menganalisis hal tersebut, maka dilakukan analisis batang dan akar pada tanaman bambu air sebelum penelitian dan sesudah penelitian. metode yang digunakan dalam pengujian akar dan batang ini adalah *X-ray Fluorescence* (XRF).

Spektrometer X-Ray Fluorescence (XRF) adalah sebuah instrumen yang digunakan untuk menganalisa unsur mulai Na (natrium) sampai U (uranium). Selain itu analisisnya lebih cepat dan membutuhkan jumlah sampel yang sedikit. Analisa ini dilakukan dilaboratorium Sentral dan Mineral Maju Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang pada tanggal 19 Nopember 2018. Berikut hasil analisisnya:

Tabel 4.12

Hasil Analisis XRF pada Akar dan Batang Bambu Air Sebelum Ada Perlakuan dengan Air Limbah

Compound	Cone (%)	Methods	Keterangan
Si	54,2	XRF	Silikon
Ca	24,8		Kalsium
K	9,09		Kalium
Fe	5,05		Besi
P	3,8		Fosfor
Mn	1,3		Mangan
Ba	0,8		Barium
Ti	0,31		Titanium
Cu	0,23		Tembaga
Cr	0,22		Krom
Yb	0,2		Interbium
Ni	0,1		Nikel

Sumber: Hasil Pengujian XRF(2018)

Dari hasil uji XRF tanaman bambu air sebelum perlakuan, tanaman mengandung silikat yang tinggi, terbukti dari hasil uji XRF kadar silikat dalam tanaman tersebut paling besar diantara kandungan lainnya yaitu 54,2%. Pada hasil tersebut tanaman bambu air tidak ditemukan adanya kandungan Pb dan Zn, hal ini sesuai karena tanaman belum tersentuh dengan limbah sama sekali

Tabel 4.13

Hasil Analisis XRF pada Akar dan Batang Bambu Air Setelah Ada Perlakuan dengan Air Limbah di Bak A

Compound	Cone (%)	Methods	Keterangan
Fe	28,6	XRF	Besi
Ca	25,8		Kalsium
Si	19		Silikon
K	12,8		Kalium
P	4,9		Fosfor
Pb	2,4		Timbal
Mn	1,3		Mangan
Zn	1,3		Seng
Ti	0,95		Titanium
Ba	0,6		Barium
Cu	0,39		Tembaga
As	0,36		Arsen
Cr	0,34		Krom
Ni	0,29		Nikel
Yb	0,2		Ytterbium
V	0,2		Vanadium
Eu	0,2		Europium
Re	0,1		Rhenium

Sumber: Hasil Pengujian XRF(2018)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa tanaman bambu air pada bak A mampu menyerap kandungan Pb sebesar 2,4% dan Zn sebesar 1,3%. Tanaman bambu air mampu menyerap kandungan Pb lebih besar dari Zn. Sedangkan kandungan lain seperti silikat turun 54,2% menjadi 19% dan Ca meningkat dari 24,8% menjadi 25,8 %. Selain itu setelah adanya perlakuan ditemukan kandungan Fe yang sangat tinggi pada tanaman sebesar 28,6 %. Setelah adanya perlakuan muncul kandungan As sebesar 0,36 %, Eu sebesar 0,2 %, V sebesar 0,2 %, dan Re sebesar 0,1% yang sebelumnya pada tanaman sebelum perlakuan kandungan tersebut tidak ada.

Tabel 4.14

Hasil Analisis XRF pada Akar dan Batang Bambu Air Setelah Ada Perlakuan dengan Air Limbah di Bak B

Compound	Cone (%)	Methods	Keterangan
Si	27,6		Silikon
Ca	15,8		Kalsium
K	6,22		Kalium
Al	5,2		Aluminium
Fe	3,6		Besi
P	2,9		Fosfor
Mn	1,6		Mangan
Ti	1,2		Titanium
Pb	1,1	XRF	Timbal
Zn	0,83		Seng
Eu	0,5		Europium
Re	0,3		Renium
Cu	0,27		Tembaga
Yb	0,2		Iterbium
Cr	0,14		Krom
Ni	0,1		Nikel
V	0,1		Vanadium

Sumber: Hasil Pengujian XRF(2018)

Setelah adanya perlakuan pada tanaman di bak B, kadar pb mampu diserap oleh bambu air sebesar 1,1 % dan Zn sebesar 0,83 %. Penyerapan logam oleh tanaman pada bak B lebih besar daripada bak A. Pada bak A kandungan Pb dapat terserap 2,4% sedangkan pada bak B 1,1 %. Pada bak A kandungan Zn yang mampu diserap oleh tanaman bambu air sebesar 1,3% sedangkan pada bak B tanaman hanya mampu menyerap 0,83%. Selain itu pada tanaman pada bak B setelah perlakuan muncul kandungan Al sebesar 5,2 % yang sebelumnya pada tanaman awal dan tanaman di bak A tidak ada kandungan Al.

Dari Tabel 4.13 dan 4.14 dapat dilihat bahwa kandungan logam yang diserap oleh tanaman pada bak A lebih besar daripada dengan bak B. Hal ini dikarenakan pada bak A jumlah tanaman bambu air sebesar 60 batang sehingga setiap tanaman bambu air dapat menyerap logam Zn lebih besar dibandingkan dengan bak yang berisi 100 batang tanaman.

4.8. Uji Statistik (Uji T)

Analisa uji statistik yang digunakan pada penelitian kali ini adalah uji T yang dikenal untuk menguji bagaimana pengaruh nilai signifikan masing-masing variabel bebasnya secara sendiri-sendiri terhadap variabel terikatnya (nilai standar). Perlu dipastikan tentang keandalan data sebelum dilakukan perhitungan dan analisis, untuk itu dilakukan pengujian-pengujian secara statistik. Pengujian dilakukan untuk memastikan ketepatannya agar hasil perhitungan itu dapat digunakan untuk proses lebih lanjut.

Pengujian statistik lebih ditujukan untuk menguji parameter-parameternya antara lain dapat dilakukan dengan membandingkan rerata, variansi, korelasi dan sebagainya. Sedangkan pada pengujian suatu fungsi, diuji keandalan parameter yang membentuk fungsi tersebut. Uji T ini bertujuan untuk mengetahui apakah dua sampel berasal dari populasi yang sama

.Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan t hitung dengan t tabel. Uji T termasuk jenis uji sampel kecil. Ukuran sampel kecil <30. Adapun hasil uji T untuk analisa logam seng (Zn) di bak A terhadap bak B adalah:

Hipotesa: H_0 : Sampel di bak A dan B berasal dari populasi yang sama

H_1 : Sampel di bak A dan B tidak berasal dari populasi yang sama

Tabel 4.15.

Uji Keceragaman Data Zn di Bak A

Kelompok Data A		
No	Hari ke-	Konsentrasi (mg/L)
1	0	0,42
2	7	0,325
3	14	0,275
4	21	0,225
Jumlah		1,245
Rerata		0,311
Sd		0,083
n		4

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.16

Uji Keceragaman Data Zn di Bak B

Kelompok Data A		
No	Hari ke-	Konsentrasi (mg/L)
1	0	0,42
2	7	0,215
3	14	0,04
4	21	0,055
Jumlah		0,73
Rerata		0,183
Sd		0,177
n		4

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \sqrt{\frac{(NA-1)SdA^2 + (NB-1)SdB^2}{NA+NB-2}} \\
 &= \sqrt{\frac{(4-1)0,083^2 + (4-1)0,177^2}{4+4-2}} \\
 &= 0,138
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{hitung}} &= \frac{|\mu_A - \mu_B|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}}} \\
 &= \frac{|0,311 - 0,183|}{0,138 \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{4}}} \\
 &= 1,317
 \end{aligned}$$

Keterangan:

μ_A = rerata data A

μ_B = rerata data B

S_A = simpangan baku data A

S_B = simpangan baku data B

N_A = ukuran data B

N_B = ukuran data A

$V = n_1 + n_2 - 2 = 4 + 4 - 2 = 6$

Dilihat pada tabel t untuk uji T dengan $V = 6$ dan $\alpha = 5\%$ maka akan digunakan kolom $t_{0,95}$.

$T_{\text{tabel}} = 1,94$ ← derajat kepercayaan 5%

$T_{\text{hitung}} < T_{\text{tabel}}$, maka H_0 diterima. Jadi data sampel A dan data sampel bak B berasal dari populasi yang sama.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun bak A dan bak B memiliki jumlah tanaman bambu air yang berbeda, yaitu 60 pada bak A dan 100 pada bak B, keduanya mampu menurunkan kadar Zn pada limbah.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan .

Mengacu pada beberapa hal yang telah dirumuskan, maka dilakukan penelitian dan analisa rancangan percobaan yang membahas manfaat tanaman bambu air dan zeolit alam untuk menurunkan kadar logam Pb dan Zn dengan limbah sintetis. Dari hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Model rancangan percobaan menggunakan air limbah sintetis yang mengandung kadar Pb dan Zn sebesar 0,42 ppm. Pada pengujian sampel awal limbah kadar Pb yang harusnya 0,42 ppm tidak terbaca. Hal tersebut dikarenakan kemungkinan adanya pengendapan pada logam Pb, sehingga dalam penelitian ini kandungan Pb diabaikan. Dalam penelitian ini media fitoremediasi adalah tanaman bambu air. Tanaman bambu air dikombinasikan dengan zeolit alam sebagai media saringan pasir lambat. Penelitian pada rancangan percobaan ini terdiri dari 2 bak, yaitu bak A dan bak C. Pada bak A jumlah tanaman bambu air 60 batang sedangkan pada bak B 100 batang. Kedua bak memiliki ketinggian zeolit 15 cm.
2. Waktu pengoperasian rancangan percobaan ini adalah selama 21 hari. Dengan pengambilan sampel dilakukan setiap 7 hari yaitu pada hari ke 7, 14 dan 21. Waktu optimal untuk menurunkan kadar Zn pada bak A dan B berbeda. Pada hari ke 7 kadar Zn pada bak A sebesar 0,325 sedangkan pada bak B sebesar 0,215. Pada hari ke 14 kadar Zn pada bak A sebesar 0,275 sedangkan pada bak B sebesar 0,040. Sedangkan pada hari terakhir perlakuan yaitu pada hari ke 21 kadar Zn pada bak A sebesar 0,225 sedangkan pada bak B sebesar 0,055. Hal ini menunjukkan bahwa selama perlakuan selama 21 hari bak A mampu menurunkan kadar Zn tetapi penurunan yang terjadi masih belum bisa sesuai standar baku mutu. Sedangkan bak B mampu menurunkan kadar Zn sesuai dengan standar baku mutu kualitas air.
3. Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, rancangan percobaan dengan menggunakan 100 tanaman pada bak B lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan 60 tanaman bambu air pada bak A. Berikut hasil prosentasi penurunan Zn pada setiap bak:
 - Pada hari ke 7 bak A mampu menurunkan kadar Zn hingga 22,62 %, sedangkan pada bak B mampu menurunkan kadar Zn hingga 48,81 %

- Pada hari ke 14 bak A mampu menurunkan kadar Zn hingga 34,52 %, sedangkan pada bak B mampu menurunkan kadar Zn hingga 90,48 %
 - Pada hari terakhir yaitu pada perlakuan ke 21 hari bak A mampu menurunkan kadar Zn hingga 46,43 %, sedangkan pada bak B mampu menurunkan kadar Zn hingga 86,90 %
4. Berdasarkan hasil analisa uji XRF tanaman bambu air setelah adanya perlakuan adalah pada bak A dengan tanaman bambu air berjumlah 60 batang mampu menyerap kadar Pb sebesar 2,4% dan Zn sebesar 1,3 %. sedangkan pada bak B dengan tanaman berjumlah 100 batang mampu menyerap kadar Pb sebesar 1,1 % dan Zn sebesar 0,83 %.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan tentang “Studi Efektifitas Fitoremediasi Tanaman Bambu Air dan Zeolit Guna Mereduksi Logam Timbal (Pb) dan Seng (Zn)”, ada beberapa saran yang dapat peneliti berikan, antara lain:

1. Proses pembuatan sampel awal limbah sintetis perlu di perhatikan lebih lanjut agar kadar limbah awal yang terukur sama dengan perhitungan limbah sintetis.
2. Tempat pelaksanaan penelitian yang digunakan harusnya tempat terbuka namun terlindung dari hujan. Agar air dari luar atau bahkan material lainnya tidak masuk ke dalam bak penelitian.
3. Dilakukan pengujian parameter lain untuk menjelaskan lebih luas kemampuan kombinasi dari metode fitoremediasi dan saringan pasir lambat dalam menurunkan kadar polutan lainnya.
4. Pengolahan kombinasi metode fitoremediasi dan saringan pasir lambat yang dirancang bentuk simulasi skala laboratorium, perlu dikaji lebih lanjut jika diterapkan dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyono & Sumardiono. (2013). *Teknik Pengolahan Air*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Catur Y, Firdha. (2014). Studi Efektifitas Fitoremediasi Tanaman Papyrus payung Guna Mereduksi Logam Besi dan Mangan pada Air Limbah Pabrik Kulit. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Chandra, Budiman. (2007). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Penerbit buku Kedokteran EGC.
- Faridah, I. (2007). Uji Kemampuan Tanaman Apu-Apu (*Pestisia Sratites*) Dalam Mengurangi Kadar Logam Besi (Fe) dan Logam Seng (Zn) Pada Air Limbah Buatan. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ficha Utassia, Cloudia. (2016). Pemanfatan Zeolit Alam dan Tanaman Papirus Payung Guna Menurunkan Kadar Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Limbah Kulit di Sukun Malang. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Fitria, Siti Nurmaida. (2015). Pengukuran Efektifitas Tanaman Kangkung Air (*Ipoea aquatica*Forsk), Genjer (*Limnocharis flava*) dan Seledri (*Apium graveolens*) Untuk Pengurangan Kadar Logam Berat (Pb dan Cr) Serta Radionuklida Deng. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ginting, P. (2007). *Sistem Pengolahan Lingkungan dan Limbah Industri*. Bandung: Yrama Widya.
- Irhamni, S. Pandia, E. Purba & W. Hasan (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air Dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Universitas Serambi Mekkah*. 77-79
- Kriswarini R, Anggraini D & Djamaludin A. (2010). Validasi Metode XRF (X-ray Fluorescence) Secara Tunggal dan Simultan Untuk Analisis Unsur Mg, Mn dan Fe dalam Paduan Aluminium dalam *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir ke IV*. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN). Banten, 18 November 2010
- Montarchih, Lily & Widandi Soetopo. (2013). *Statistika Terapan untuk Teknik Pengairan*. Malang: CV Citra Malang.
- Peraturan Pemerintahn Republik Indonesia (2001). *Peraturan Pemerintahn Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta: Peraturan Pemerintahn Republik Indonesi

- Priliyanthi, Putu Winny Ratu. 2015. *Kandungan Logam Berat Zn Pada Sedimen Dan Akar Avicennia Alba Dengan Kedalaman Berbeda di Muara Sungai Porong, Sidoarjo*. Jurnal Fakultas Perikanan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Said, Nusa I. 2017. *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Suharto. 2011. *Limbah Kimia dalam pencemaran Udara dan Air*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Wakhwakhi, Salmana. 2015. *Kajian Avicennia Alba sebagai Agen Fitoremediasi Upaya Mengurangi Konsentrasi Logam Berat Pb di Ekosistem Mangrove Kelurahan Wonorejo, Kota Surabaya*. Jurnal Fakultas Perikanan. Malang: Universitas

