

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) MENGGUNAKAN TANAMAN  
KAYU APU (*Pistia stratiotes L.*) DAN PAPIRUS (*Cyperus papyrus L.*)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik (ST) pada program studi Teknik Lingkungan



**Disusun oleh:**

**AISYAH TAQIYYA CHOIRUNNISA**  
**NIM. H05216003**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
2020**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Aisyah Taqiyya Choirunnisa  
NIM : H05216003  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Angkatan : 2016

Menyatakan bahwa tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya berjudul "FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) MENGGUNAKAN TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes L.*) DAN POPYRUS (*Cyperus papyrus L.*)" Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan Tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Agustus 2020

Yang Menyatakan



(Aisyah Taqiyya Choirunnisa)

NIM. H05216003

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh:

NAMA : AISYAH TAQIYYA CHOIRUNNISA

NIM : H05216003

JUDUL : FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe)  
MENGUNAKAN TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes L.*) DAN  
PAPIRUS (*Cyperus papyrus L.*)”

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 24 Juli 2020

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ida Munfarida, M. Si. M. T.)  
NIP. 198411302015032001



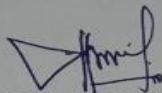
(Amrullah, M. Ag.)  
NIP. 19730903200641001

**PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR**

Tugas Akhir Aisyah Taqiyya Choirunnisa ini telah dipertahankan  
di depan tim penguji tugas akhir  
di Surabaya, 30 Juli 2020

Mengesahkan,  
Dewan Penguji

Dosen Penguji I



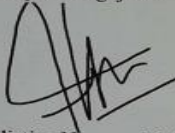
(Ida Munfarida, M. Si, M. T)  
NIP. 198411302015032001

Dosen Penguji II



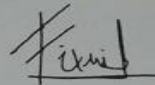
(Amrullah M. Ag)  
NIP. 19730903200641001

Doyen Penguji III



(Sulistiya Nengse, M. T)  
NUP. 201603320

Dosen Penguji IV



(Mei Lina Fitri K. M. Kes)  
NIP. 198805182014032002

Mengetahui

Plt. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Ampel Surabaya



(Fatimatur Rusydiyah, M. Ag)  
NIP. 197312272005012003

Dipindai dengan CamScanner





**KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
PERPUSTAKAAN**

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

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Aisyah Taqiyya Choirunnisa  
NIM : H05216003  
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ TEKNIK LINGKUNGAN  
E-mail address : aisyahqyc@gmail.com

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

Skripsi  Tesis  Desertasi  Lain-lain (.....)

yang berjudul :

**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI Fe MENGGUNAKAN TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes L.*) DAN PAPIRUS (*Cyperus Papyrus L.*)**

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

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

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 6 Agustus 2020

Penulis

(Aisyah Taqiyya Choirunnisa)

**ABSTRAK**  
**FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) MENGGUNAKAN**  
**TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes L.*) DAN PAPIRUS (*Cyperus papyrus***  
***L.*)**

Peningkatan produksi besi dan baja dapat mengakibatkan pencemaran logam Fe pada perairan. Logam Fe yang terdapat pada perairan bersifat toksik pada makhluk hidup. Untuk itu, diperlukan pengolahan terhadap limbah yang mengandung logam Fe. Pengolahan limbah logam Fe dapat menggunakan teknologi fitoremediasi dengan sistem *batch* menggunakan tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) dan Papyrus (*Cyperus papyrus L.*). Tujuan penelitian ini untuk menentukan nilai efisiensi removal logam Besi (Fe) pada tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) dan Papyrus (*Cyperus papyrus L.*), untuk menentukan perbedaan nilai konsentrasi yang signifikan dari keseluruhan variasi jumlah tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) dan Papyrus (*Cyperus papyrus L.*). Penelitian ini menggunakan 10 reaktor dengan variasi jumlah tanaman, yaitu 16 tanaman kayu apu, 12 tanaman kayu apu dan 4 tanaman papyrus, 8 tanaman kayu apu dan 8 tanaman papyrus, 4 tanaman kayu apu dan 12 tanaman papyrus, 16 tanaman papyrus. Perlakuan dilakukan secara *duplo*. Waktu uji logam berat Fe, yaitu 0,3,6, dan 9. Limbah logam berat Fe menggunakan limbah artifisial dengan konsentrasi  $H_0=15$  mg/L. Hasil penelitian menunjukkan Efisiensi yang tertinggi pada semua reaktor diperoleh pada hari 3 pengujian sampel dengan hasil  $K_1$  (16 tanaman kayu apu) sebesar 77,86%,  $KT_1$  (12 tanaman kayu apu dan 4 tanaman papyrus) sebesar 76,73 %,  $KT_2$  (8 tanaman kayu apu dan 8 tanaman papyrus) efisiensi tertinggi sebesar 80,64 %,  $KT_3$  (4 tanaman kayu apu dan 12 tanaman papyrus) sebesar 76,71 %, dan  $P_1$  (16 tanaman papyrus) menjadi variasi dengan efisiensi paling rendah yaitu sebesar 66,37 %.

***Kata kunci:*** Fitoremediasi, Kayu apu, Papyrus, Sistem Batch, Besi (Fe)





2.1.2	Karakteristik biologi.....	6
2.1.3	Karakteristik kimia.....	7
2.2	Besi (Fe) dalam Air Limbah.....	7
2.2.1	Pengertian Besi (Fe).....	7
2.2.2	Dampak Logam Berat Besi (Fe) Terhadap Ekosistem Perairan .....	8
2.2.3	Dampak Logam Berat Besi (Fe) dalam Air Terhadap Kesehatan.....	8
2.2.4	Dampak logam Berat Besi (Fe) Terhadap Lingkungan .....	9
2.3	Pengolahan Air Limbah.....	10
2.4	Fitoremediasi .....	11
2.4.1	Pengertian Fitoremediasi.....	11
2.4.2	Syarat Tanaman Fitoremediasi.....	11
2.4.3	Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi .....	12
2.4.4	Proses Fitoremediasi .....	14
2.5	Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes L.</i> ) .....	16
2.5.1	Klasifikasi Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes L.</i> ).....	17
2.5.2	Morfologi Kayu Apu ( <i>Pistia stratiotes L.</i> ).....	17
2.6	Papyrus ( <i>Cyperus papyrus L.</i> ).....	18
2.6.1	Klasifikasi Papyrus ( <i>Cyperus papyrus L.</i> ) .....	19
2.6.2	Morfologi Papyrus ( <i>Cyperus papyrus L.</i> ) .....	19
2.7	Proses Aklimatisasi .....	20
2.8	Macam-macam Reaktor.....	21
2.8.1	Reaktor Kontinyu .....	21
2.8.2	Reaktor Semi Batch.....	22



4.1	Tahap Aklimatisasi.....	52
4.2	Hasil Penelitian.....	56
4.3	Pengaruh pH dan Suhu Air.....	97
4.3.1	pH Air .....	97
4.3.2	Suhu Air .....	99
4.4	Efisiensi Removal Logam Berat Besi (Fe) oleh Tanaman Kayu apu ( <i>Pistia stratiotes L.</i> ) dan Papyrus ( <i>Cyperus papyrus L.</i> ).....	102
4.5	Analisa Perbedaan Variasi Jumlah Tanaman dan Kombinasi Tanaman terhadap Kemampuan Tanaman dalam Mengurangi Konsentrasi Besi (Fe) Terlarut.....	106
4.5.1	Uji Normalitas Shapiro-Wilk.....	106
4.5.2	Uji Homogenitas .....	107
4.5.3	Uji Friedman .....	109
BAB V	.....	111
PENUTUP	.....	111
5.1	Kesimpulan.....	111
5.2	Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA	.....	113





## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Daftar Penelitian Terdahulu yang Digunakan sebagai Rujukan dalam Penelitian Ini .....	29
<b>Tabel 3. 1</b> Rancangan Percobaan.....	44
<b>Tabel 4. 1</b> Kondisi Tanaman Kayu Apu dan Papyrus pada saat Aklimatisasi .....	53
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Analisa Uji Konsentrasi Fe pada Hari ke H-0, H-3, H-6, dan H-9..	57
<b>Tabel 4. 3</b> Kondisi Tanaman Kayu Apu dan Papyrus pada saat pengujian.....	59
<b>Tabel 4. 4</b> Hasil Pengukuran pH .....	97
<b>Tabel 4. 5</b> Hasil Pengukuran Suhu Air.....	100
<b>Tabel 4. 6</b> Efisiensi Removal Logam Berat Besi (Fe).....	103
<b>Tabel 4. 7</b> Hasil Uji Normalitas Shapiro Wilk .....	107
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil Uji Homogenitas .....	108
<b>Tabel 4. 9</b> Hasil Uji Friedman .....	109

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Industri merupakan tempat produksi untuk mengolah bahan mentah menjadi bahan baku atau bahan siap pakai guna memenuhi kebutuhan manusia. Keberadaan industri sangat dibutuhkan di zaman sekarang ini, tidak hanya untuk memenuhi tuntutan kebutuhan pokok tetapi juga tuntutan yang beragam (Ridwan, 2016). Dengan banyak berdirinya industri harus pula memperhatikan dampak-dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Jika tidak, hal ini dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan. Suatu industri harus memiliki pengolahan terhadap limbah yang dihasilkan, baik itu dari limbah padat, gas, dan cair. Limbah cair yang mengandung logam berat dapat mencemari lingkungan dan bersifat toksik terhadap makhluk hidup.

Air dapat tercemar oleh berbagai sumber pencemar, sumber utama dari pencemaran air adalah kebocoran bahan kimia organik dari penyimpanan bahan kimia dari bunker yang disimpan dalam tanah dan juga dari bak penampungan limbah industri yang ditampung diatas atau berdekatan dengan sumber air. Air yang tercemar Fe dengan konsentrasi tinggi dapat berdampak bagi lingkungan seperti endapan yang mengakibatkan gangguan teknis, gangguan fisik, dan gangguan kesehatan pada manusia (pengikisan dinding mukosa di perut, merusak membran sel, protein dan memutus rantai DNA) (Oktiana dkk., 2019).

Baku mutu air bersih menurut Peraturan Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416 Tahun 1990 menyebutkan baku mutu untuk parameter Fe adalah 1,0 mg/l, sehingga dapat dikatakan adanya beberapa kasus pencemaran Fe yang terjadi pada perairan Indonesia. Seperti yang terjadi pada air sumur daerah Porong Sidoarjo konsentrasi Fe 1,69-3,12 mg/l (Putri, 2016) dan penelitian yang dilakukan oleh Nilna Putri dkk., (2013) pada air sungai di



salah satu tanaman fitoremediator yang mempunyai kemampuan dalam menyerap limbah baik berupa zat organik, anorganik bahkan logam berat. Pada penelitian Matrosya, (2020) menyebutkan bahwa tanaman kayu apu mampu mereduksi Fe sebesar 66,75% dengan menggunakan 4 rumpun tanaman.

Papyrus (*Cyperus papyrus L.*) adalah jenis tanaman yang batang dan daunnya mencuat kepermukaan air. Tanaman papyrus sering dijumpai di daerah rawa-rawa. Pada penelitian Utassia dkk., (2016) menyebutkan hasil penurunan logam berat besi (Fe) menggunakan tanaman Papyrus sebesar 54,8% dengan menggunakan 1 rumpun tanaman yang terdiri dari 5 sampai 7 batang tanaman.

Berdasarkan hasil dari penelitian terdahulu, masing-masing tanaman Kayu apu dan Papyrus dapat menurunkan konsentrasi polutan logam berat Besi (Fe) dengan baik. Pemilihan kedua tanaman ini dimaksudkan pada jangkauan akar tanaman tersebut, sehingga tanaman dapat menurunkan konsentrasi Fe pada permukaan reaktor dan pada dasar reaktor. Pada penelitian ini, membandingkan efektifitas kombinasi kedua tanaman dengan satu tanaman dapat menurunkan konsentrasi logam berat Besi (Fe).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapa efisiensi removal logam berat Besi (Fe) pada metode fitoremediasi menggunakan kayu apu dan papyrus?
2. Berapa perbedaan nilai konsentrasi yang signifikan dari keseluruhan variasi jumlah tanaman?



3. Jumlah tanaman yang digunakan terdiri dari 16 buah tanaman kayu apu pada reaktor **K<sub>1</sub>**, 12 tanaman kayu apu dan 4 buah tanaman papyrus pada reaktor **KT<sub>1</sub>**, 8 buah tanaman kayu apu dan 8 buah tanaman papyrus pada reaktor **KT<sub>2</sub>**, 4 buah tanaman kayu apu dan 12 buah tanaman papyrus pada reaktor **KT<sub>3</sub>**, 16 buah tanaman papyrus pada reaktor **P<sub>1</sub>**.
4. Reaktor yang digunakan sejumlah 10 buah sebagai perlakuan menggunakan sistem batch dan memiliki panjang x lebar x tinggi 35cm x 17cm x 24cm
5. Pengukuran sampel dilakukan sebanyak 4 kali yaitu pada hari ke 0, 3, 6 dan 9 yang meliputi kadar besi (Fe) menggunakan metode ICP (*Inductively Coupled Plasma*), pH air, suhu air.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Air Limbah

Air limbah adalah air buangan yang berasal dari kegiatan manusia yang harus melalui pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang agar tidak pencemari lingkungan. Sebelum melakukan pengolahan air limbah harus mengetahui karakteristik dari air limbah tersebut sehingga dapat menentukan pengolahan yang tepat untuk digunakan. Menurut Siregar dalam Masnesia (2017) karakteristik air limbah adalah sebagai berikut:

##### 2.1.1 Karakteristik fisika

Karakteristik air limbah dapat dilihat secara fisika, seperti: temperatur, warna yang terdapat pada air limbah, bau, dan padatan yang tersuspensi pada air limbah. Masing-masing memiliki parameter yaitu, peranan yang dimiliki oleh temperatur sangat penting dalam pengolahan pengurangan kadar limbah namun ditinjau dari segi bau air limbah yaitu bersifat subjektif karena kepekaan indra penciuman orang berbeda-beda. Peranan warna air limbah dapat dinilai dari spektrum warna yang terjadi pada air limbah tersebut. Sedangkan padatan yang terdapat pada air limbah yaitu: *floating, settleable, suspended* atau *dissolved*.

##### 2.1.2 Karakteristik biologi

Karakteristik air limbah secara biologi yaitu, dapat ditemukannya mikroorganisme dalam jenis yang bervariasi hampir dalam semua bentuk pada air limbah. Biasanya merupakan sel tunggal yang bebas ataupun berkoloni dan mampu melakukan proses-proses kehidupan (tumbuh,

metabolisme, dan reproduksi). Mikroorganisme dibedakan menjadi tumbuhan atau hewan namun sulit untuk dibedakan, sehingga mikroorganisme dimasukkan ke dalam kategori *Protista*. Bakteri juga berperan dalam menentukan kualitas air limbah.

### **2.1.3 Karakteristik kimia**

Karakteristik air limbah secara kimia yaitu meliputi senyawa organik dan anorganik. Senyawa organik ialah suatu karbon yang dikombinasi dengan satu atau lebih elemen lain (O, N, P, H). Sedangkan senyawa anorganik ialah senyawa yang hanya terdiri dari berbagai elemen dan tidak adanya karbon yang terkandung. Karbon anorganik yang terkandung dalam limbah yaitu *sand*, *grit*, dan mineral-mineral, baik *suspended* atau terlarut. Elemen yang terkandung dalam jumlah besar akan bersifat racun tau toksik dan akan menghalangi proses biologi. Gas yang terdapat pada limbah cair biasanya berupa oksigen, nitrogen, karbondioksida, hidrogen sulfida, amoniak dan metana.

## **2.2 Besi (Fe) dalam Air Limbah**

### **2.2.1 Pengertian Besi (Fe)**

Besi adalah unsur kimia yang bersimbol Fe, merupakan unsur yang paling umum atau sering ditemui di bumi. Besi ditemukan dalam bentuk kation ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan juga ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Pada perairan alami dengan pH sekitar 7 dan kadar oksigen terlarut yang cukup, ion ferro bersifat mudah terlarut dan dioksidasi menjadi ion ferri. Pada oksidasi ini



terdapat pelepasan elektron, namun sebaliknya pada reduksi ion ferri menjadi ferro terjadi penangkapan elektron (Effendi dalam Rahmawati, 2018).

Meskipun unsur besi banyak terdapat di bumi, namun besi asli jarang ditemukan karena besi mudah teroksidasi (Sembel dalam Rahmawati, 2018).

### **2.2.2 Dampak Logam Berat Besi (Fe) Terhadap Ekosistem Perairan**

Dampak pencemaran akibat logam berat besi (Fe) adalah dikarenakan sifatnya yang tidak dapat terurai dan mudah diabsorpsi oleh biota laut sehingga terakumulasi dalam tubuh biota laut. Akumulasi tersebut dapat melalui 3 cara yaitu melalui permukaan tubuh, terserap insang, dan rantai makanan. Selain mengganggu ekosistem, unsur logam berat secara tidak langsung juga merusak perikanan dan kesehatan manusia (Susiati dkk., 2010).

### **2.2.3 Dampak Logam Berat Besi (Fe) dalam Air Terhadap Kesehatan**

Unsur besi merupakan unsur yang dibutuhkan tubuh untuk metabolisme. Kadar besi yang terdapat pada manusia umumnya sebesar 3- 5g. Sebanyak 2/3 bagian terikat oleh hemoglobin, 10% terikat oleh mioglobin dan enzim yang mengandung fedan sisanya terikat oleh protein ferritin dan hemosiderin (Widowati dalam Rahmawati, 2018).

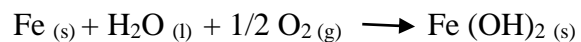
Unsur besi dibutuhkan oleh tubuh namun jika konsentrasi berlebih dari apa yang dibutuhkan oleh tubuh maka

akan menyebabkan masalah kesehatan (Effendi dalam Rahmawati, 2018).

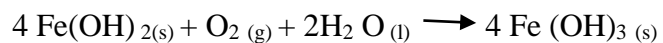
Konsumsi Fe berlebih dalam tubuh dapat menyebabkan kegagalan dalam metabolisme Besi atau yang disebut *hemocromatosis*. *Hemocromatosis* terjadi karena meningkatnya feritritin dan hemosiderin dalam sel parenkim hati. Hemosiderin yang meningkat akan masuk parenkim organ-organ lain seperti pancreas, otot jantung, dan ginjal sehingga dalam jangka panjang dapat mengendap dan merusak kinerja organ-organ tersebut (Widowati dalam Rahmawati, 2018).

#### **2.2.4 Dampak logam Berat Besi (Fe) Terhadap Lingkungan**

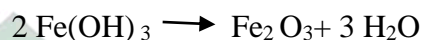
Dampak logam berat besi Fe terhadap lingkungan adalah kerusakan mesin atau alat karena terjadinya korosi. Korosi atau yang sering disebut pengkaratan, merupakan suatu peristiwa dimana kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan logam akibat terjadinya reaksi dengan lingkungan. Proses korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi secara simultan pada daerah anoda dan katoda yang membentuk serangkaian arus listrik tertutup (Haryono & Sugiarto, 2010). Berikut ini mekanisme reaksi korosi dapat ditulis sebagai berikut:



Ferro hidroksida  $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$  yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air atau udara dan menjadi ferri hidroksida  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$  sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah:



Ferri hidroksida yang terbentuk akan berubah menjadi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat Vogel dalam Haryono & Sugiarto, (2010). Berikut ini mekanisme reaksi dari karat:



### **2.3 Pengolahan Air Limbah**

Pada umumnya proses pengolahan air limbah terdiri dari 3 proses kombinasi yaitu proses secara fisika, kimia serta biologi. Seluruh proses pengolahan air limbah memiliki tujuan untuk menghilangkan kandungan padatan tersuspensi, koloid, bahan organik dan anorganik yang terlarut dalam air limbah. Berikut ini merupakan pengolahan air limbah secara fisika, kimia, dan biologi menurut Widjajanti (2009):

#### **1. Proses Fisika**

Proses secara fisika adalah proses pengolahan air limbah dengan cara menghilangkan pencemar secara fisika seperti sedimentasi, filtrasi. Pada proses fisika memiliki prinsip untuk menghilangkan padatan tersuspensi (TSS)

#### **2. Proses Kimia**

Proses secara kimia adalah proses pengolahan air limbah yang menggunakan penambahan zat-zat tertentu atau bahan kimia tertentu untuk mendestruksi pencemar.

### 3. Proses Biologi

Proses secara biologi adalah proses pengolahan air limbah dengan bantuan organisme. Prinsip dari pengolahan secara biologi yaitu secara aerob yang berarti melibatkan oksigen dan anaerob tidak melibatkan oksigen.

## 2.4 Fitoremediasi

### 2.4.1 Pengertian Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah salah satu bentuk upaya dalam meremediasi suatu tanah atau air yang tercemar polutan dengan menggunakan tanaman. Fitoremediasi dapat dilakukan secara *in-situ* maupun *ex-situ*. Polutan organik yang dapat diolah menggunakan fitoremediasi antara lain seperti hidrokarbon, kondensasi gas, *crude oil*, senyawa klor, pestisida, dan senyawa yang mudah meledak. Sedangkan polutan anorganik yang dapat diolah dengan fitoremediasi antara lain salinitas, logam berat, *metalloid* dan senyawa radioaktif (ITRC dalam Masnesia, 2017).

### 2.4.2 Syarat Tanaman Fitoremediasi

Menurut Mazumdar & Das (2014) tanaman yang dapat digunakan untuk fitoremediasi harus tahan terhadap logam berat, memiliki siklus hidup yang pendek, distribusi luas, memiliki biomasa tunas yang besar dan faktor translokasi  $>1$ .

Faktor biokonsentrasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi syarat tanaman yang mampu digunakan sebagai fitoremediasi. Zayed dalam (Rachmatiah & Nurfitri, 2010), menyebutkan bahwa sebuah tanaman akumulator logam berat yang baik harus memiliki kemampuan menyerap

logam berat ke dalam jaringannya dengan nilai BCF (*bioconcentration factor*) kurang lebih 1000.

Sedangkan menurut Morel, dkk dalam Nur, (2013) syarat tanaman dapat digunakan pada proses fitoremediasi yaitu tanaman cepat tumbuh, mampu mengkonsumsi air dalam jumlah banyak dalam waktu singkat, mampu meremediasi lebih dari satu polutan organik maupun anorganik, dan toleransi tinggi terhadap polutan.

### **2.4.3 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi**

Adapun beberapa kelebihan dari proses fitoremediasi:

1. Fitoremediasi merupakan teknologi yang inovatif, ekonomis dan relative aman terhadap lingkungan sehingga dapat menjadi solusi untuk menurunkan logam berat yang berada di lingkungan.
2. Penerapan fitoremediasi dapat dilakukan secara in-situ maupun ex-situ.
3. Dapat memonitor pertumbuhan tanaman.
4. Logam berharga dapat direklamasi dan di daur ulang melalui fitoremediasi.
5. Kemampuan dalam menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksisitasnya sehingga lebih bersahabat dengan lingkungan serta lebih ekonomis (Sipayung, 2015)

Adapun kekurangan dari proses fitoremediasi adalah:

1. Teknik ini memerlukan waktu yang lebih lama dan tergantung dengan iklim
2. Terdapat kemungkinan adanya kontaminan yang masuk ke dalam rantai makanan melalui hewan yang mengkonsumsi tanaman tersebut
3. Dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Sipayung, 2015).

Sedangkan menurut Galadima dkk., (2018) kelebihan dan kekurangan teknik fitoremediasi adalah sebagai berikut:

Kelebihan:

1. Tidak diharuskannya menggunakan peralatan yang mahal dalam penerapan fitoremediasi.
2. Dapat membatasi penyebaran kontaminan polutan ke lingkungan yang tidak terkena dampak kontaminan dengan menerapkan fitoremediasi secara in-situ.
3. Dapat diterapkan pada semua lingkungan yang terkontaminasi oleh polutan organik maupun anorganik.

Kekurangan:

1. Membutuhkan pembuangan yang tepat dari tanaman yang dipanen setelah perawatan fitoremediasi.
2. Keanekaragaman hayati dapat terpengaruhi apabila ditambahkannya spesies baru tanaman pada lingkungan tersebut.

3. Terbatasnya oleh tingkat kontaminan yang lebih rendah dan efisiensi tanaman dipengaruhi oleh suhu maupun kondisi iklim.

#### 2.4.4 Proses Fitoremediasi

Menurut A'yun (2015) fitoremediasi memiliki beberapa proses, berikut ini definisi dari tiap proses fitoremediasi:

- 1) Fitoekstaksi

Fitoekstaksi adalah proses penyerapan polutan oleh akar tanaman yang kemudian mengakumulasi polutan yang telah diserap pada bagian-bagian tanaman seperti akar, batang dan daun.

- 2) Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi adalah proses adsorpsi atau pengendapan polutan oleh akar tanaman supaya menempel pada akar agar diserap, diendapkan dan diakumulasi.

- 3) Fitodegradasi

Fitodegradasi adalah penguraian atau metabolisme zat-zat polutan pada limbah dengan memanfaatkan aktivitas mikroba dan enzim (dehalogenase dan oksigenasi) yang berada disekitar akar tanaman. Contohnya fungi atau jamur, ragi dan bakteri.

- 4) Fitostabilisasi

Fitostabilisasi adalah kemampuan tanaman dalam mengoksidasi suatu senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi logam berat di daerah akar







### 2.5.1 Klasifikasi Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

Tanaman kayu apu adalah satu-satunya anggota marga dari *Pistia*. Orang juga menyebut kayu apu sebagai apu-apu ataupun kapu-kapu. Berikut ini klasifikasi dari kayu apu:

- Kingdom : Plantae (tumbuhan)
- Subkingdom : Tracheobionta
- Superdivisi : Spermatophyta
- Divisi : Magnoliophyta
- Kelas : Liliopsida
- Subkelas : Araceae
- Ordo : Arales
- Family : Araceae
- Genus : *Pistia*
- Spesies : *Pistia stratiotes* L. (Surjowinoto

dalam Farihatin (2018))

### 2.5.2 Morfologi Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

Tanaman kayu apu biasanya memiliki tinggi 5-10 cm. Akarnya menggantung dalam air dan tidak memiliki batang. Berdaun tunggal berbentuk solet seperti bunga. Ujung daun membulat dan pangkal daun meruncing, tepi daun melekok dengan panjang 2-10 cm. Daun kayu apu berwarna hijau kebiruan, pertulangan sejajar, dan monokotil (Mamonto dalam Farihatin, 2018).

Berikut ini **Gambar 2.2** Morfologi *Pistia stratiotes L.*:



Tumbuhan *Pistia stratiotes L.*



Bagian daun



Bagian akar

**Gambar 2. 2** Morfologi Kayu apu (*Pistia stratiotes L.*)

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

## 2.6 Papyrus (*Cyperus papyrus L.*)

*Cyperus papyrus L.* merupakan spesies dominan tumbuh di daerah rawa-rawa di Afrika Timur dan Tengah. Pada zaman mesir kuno tanaman *Cyperus papyrus L.* dimanfaatkan untuk pembuatan kertas, dapat pula dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan perahu, obat, tali, kain, dan pembungkus *mummy*. *Cyperus papyrus L.* merupakan tumbuhan monokotil yang habitat alaminya terdapat pada pinggiran sungai, danau, dan rawa. Tanaman ini termasuk dalam family rumput (Sitoresmi & Purwanti, 2015).

### 2.6.1 Klasifikasi Papyrus (*Cyperus papyrus L.*)

Klasifikasi tanaman papyrus sebagai berikut:

- Kingdom : Plantae
- Super Divisi : Angiospermae
- Divisi : Monokotil
- Kelas : Commelinids
- Ordo : Poales
- Family : Cyperaceae
- Genus : *Cyperus*
- Spesies : *Cyperus papyrus L.* (Sitoresmi & Purwanti, 2015)

### 2.6.2 Morfologi Papyrus (*Cyperus papyrus L.*)

*Cyperus papyrus L.* memiliki batang yang berbentuk segitiga, dapat tumbuh tinggi hingga 3-5 meter di atas tanah dengan membutuhkan waktu 6-9 bulan untuk papyrus dewasa. Batangnya berstruktur lunak berwarna hijau dan dapat melakukan fotosintesis. Pada atas tanaman terdapat daun yang berbentuk mahkota atau dapat disebut *umbel* yang merupakan sumber utama fotosintesis. Rhizoma dan akarnya bergabung menjadi satu di dasar rawa. *Cyperus papyrus L.* dapat tumbuh pada iklim tropis dan sub-tropis (Mburu dalam Sitoresmi & Purwanti, 2015).

Berikut ini **Gambar 2.3** Morfologi *Cyperus papyrus L.*:



Tumbuhan *Cyperus papyrus L.*



Bagian akar

bagian batang

bagian daun

**Gambar 2. 3** Morfologi *Cyperus papyrus L.*

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

## 2.7 Proses Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah proses dari sebuah organisme agar dapat menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan secara tiba-tiba, umumnya seperti perubahan temperatur, kelembapan, dan makanan yang biasanya disebabkan oleh perubahan musim atau iklim. Aklimatisasi bertujuan untuk tanaman supaya mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan tumbuh sebelum mendapat perlakuan fitoremediasi (Cahyani dkk., 2016).

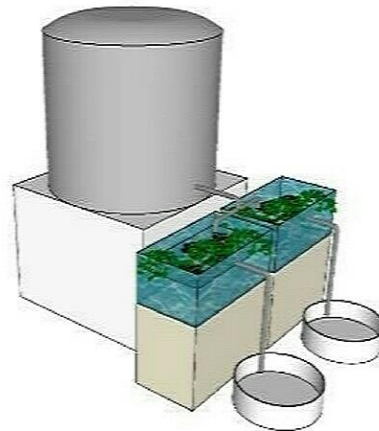
Sedangkan menurut Raissa & Tangahu (2017) tahap aklimatisasi tanaman adalah tahap tanaman agar dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan baru sebelum dilakukan uji fitoremediasi. Tahap aklimatisasi ini dilakukan selama 5 hari dengan ketentuan tanaman yang dipilih tidak mati dan tidak layu.

## 2.8 Macam-macam Reaktor

Reaktor kimia adalah tempat atau wadah untuk mereaksikan bahan-bahan kimia, sering pula disebut sebagai tempat untuk mengkonversi bahan baku menjadi sebuah produk. Berikut ini merupakan macam-macam reaktor kimia:

### 2.8.1 Reaktor Kontinyu

Proses kontinyu adalah proses reaktan yang dimasukkan kedalam reaktor yang mana pengambilan produk atau produk sampingan diambil ketika proses masih berlangsung secara berkelanjutan.

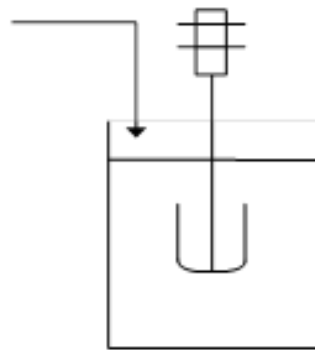


**Gambar 2. 4** Reaktor Kontinyu

(Sumber: Nurfitriana, 2019)

### 2.8.2 Reaktor Semi Batch

Proses semi batch adalah proses yang *input* dan *output*nya dilakukan secara berkelanjutan. Dikatakan reaktor semi *batch* dikarenakan adanya penambahan atau beberapa produk dapat ditarik sebagai hasil reaksi secara berkala.



**Gambar 2. 5** Reaktor Semi Batch

(Sumber: Feriyanto, 2012)

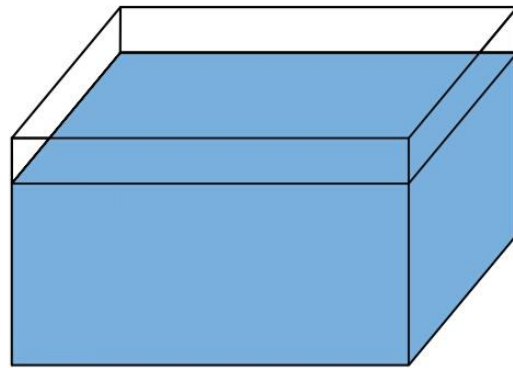
### 2.8.3 Reaktor Batch

Reaktor sistem *batch* adalah proses untuk memasukkan reaktan kedalam sebuah reaktor pada awal proses hingga akhir proses tanpa diberi penambahan perlakuan apapun. Dengan aturan reaktan yang dimasukkan pada reaktor tidak mengalami perubahan. Pada dasarnya sistem *batch* memiliki pola kerja yang sederhana seperti pada sistem reaktan yang dibuat tergenang pada perlakuan, dengan asumsi selama waktu pengujian tersebut reaktan akan berproses terhadap tanaman dan media secara fitoremediasi (Anam dkk., 2013).

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Artiyani (2011) mengingat percobaan yang dilakukan menggunakan



sistem *batch*, maka pada bak reaktor tidak ada penambahan nutrisi baru yang dapat mempengaruhi kehidupan mikroorganisme sehingga pada pertengahan waktu penelitian pertumbuhan mikroorganisme telah mencapai titik optimal terhadap ketersediaan nutrisi. Sehingga kondisi ini menyebabkan terjadinya keseimbangan antara pertumbuhan dan kematian mikroorganisme atau biasa disebut sebagai *stationary phase*.



**Gambar 2. 6** Reaktor Batch

(Sumber: Hasil Analisa, 2020)

### **2.9 ICP (*Inductively Coupled Plasma*)**

*Inductively Coupled Plasma* (ICP) adalah teknik analisis yang digunakan untuk mendeteksi *trace metals*. Prinsip utama ICP dalam menentukan elemen adalah atomisasi elemen sehingga memancarkan cahaya gelombang tertentu yang kemudian dapat diukur (Jovita, 2018).



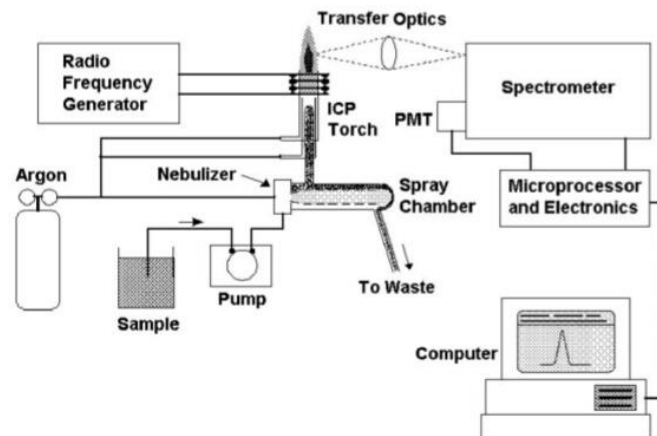
### 2.9.1 Prinsip Kerja dan Komponen ICP-OES

Perangkat keras utama pada ICP-OES adalah plasma, dengan bantuan gas akan mengatomisasi elemen dari energy ground state ke ekstasi state dengan memancarkan energi sinar UV.

ICP-OES terdiri dari komponen sebagai berikut:

1. *Sampel introduction system (nebulizer)*
2. *ICP torch*
3. *High frequency generator*
4. *Transfer optics and spectrometer*
5. *Computer interface*

Sampel yang akan dianalisis harus berwujud cair, sehingga untuk sampel yang berwujud padat diperlukan preparasi sampel dengan menggunakan proses *digestion* dan pada umumnya dengan *acid digestion*. Larutan sampel dihisap dan dialirkan melalui *capillary tube* ke *nebulizer*. *Nebulizer* merubah larutan sampel kebentuk aerosol dan kemudian diinjeksikan oleh ICP. Pada temperatur plasma, sampel akan teratomisasi dan tereksitasi. Atom yang telah tereksitasi akan kembali ke keadaan awal (*ground state*) sambil memancarkan sinar radiasi. Sinar radiasi ini didispersi oleh komponen optik. Sinar yang terdispersi, secara berurutan muncul pada masing-masing panjang gelombang unsur dan dirubah menjadi bentuk sinyal listrik yang besarnya sebanding dengan sinar yang dipancarkan oleh besarnya konsentrasi unsur. Kemudian sinyal ini diproses oleh system pengolah data (Jovita, 2018).



**Gambar 2. 7 ICP OES**

(Sumber: Jovita, 2018)

### 2.9.2 Kelebihan dan Kekurangan ICP-OES

Adapun kelebihan dari ICP-OES

1. Kemampuan mengidentifikasi dan mengukur semua elemen yang diukur secara bersamaan.
2. ICP-OES cocok untuk mengukur semua konsentrasi elemen dari *ultratrace* sampai ke tingkat komponen utama, batas deteksi pada umumnya rendah untuk sebagian elemen dengan rentang dari 1-100 mg/L.
3. Pembacaan ICP-OES terhadap berbagai elemen dapat dilakukan dalam waktu singkat yaitu dengan durasi 30 detik dan hanya menggunakan sampel kurang lebih 5 ml (Jovita, 2018).





Artinya: “Jika kiamat telah tiba, dan di antara salah seorang di antara kalian ada tanah lapang, dan ia mampu bertindak untuk menanaminya, maka tanamilah, sebab dia akan mendapatkan pahala dengan tindakannya itu.” (HR. Ahmad)

Berdasarkan hadist tersebut manusia yang menanam tanaman sebagai bentuk dari pelestarian alam dan juga upaya remediasi suatu tanah atau air yang tercemar dianggap sebagai ibadah dan mendapatkan pahala di akhirat.

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ذَٰلِكَ ظَنُّ  
الَّذِينَ كَفَرُوا فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ ﴿٢٧﴾

Artinya: “Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka”. (QS. Shaad: 27)

Ayat tersebut menjelaskan bahwasanya Allah tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada diantara keduanya dengan batil (tafsir Jalalain). Segala sesuatu yang telah diciptakan Allah memiliki manfaat yang dapat digunakan oleh manusia. Seperti halnya tanaman yang memiliki banyak manfaat dan dapat digunakan sebagai upaya dalam meremediasi suatu tanah atau air yang tercemar polutan.



NO.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil penelitian
			Cu yang tertinggal setelah perlakuan fitoremediasi oleh kombinasi kedua tumbuhan tidak berkurang secara signifikan. Namun, faktor transfer yang terbesar terdapat dari kombinasi B, sebesar 10,2 L/kg.
2.	Wa Ode Mahyatun, Lawalenna Samang dan Achmad Zubair (2016) "Fitoremediasi logam cd menggunakan kombinasi eceng gondok dan kayu apu dengan aliran kontinyu"	Untuk menganalisa besarnya penurunan konsentrasi Cd dalam air limbah setelah perlakuan fitoremediasi dengan aliran kontinyu serta menentukan kombinasi yang paling efektif dari tanaman eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )	Fitoremediasi dengan menggunakan kombinasi eceng gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) dan kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) cenderung mampu menurunkan konsentrasi Cd dalam air limbah dimana kombinasi KT1 (75EG: 25 KA) merupakan kombinasi dengan penurunan konsentrasi tertinggi yaitu konsentrasi Cd yang tertinggal setelah perlakuan fitoremediasi adalah sebesar 0,630 ppm (87,40%) untuk konsentasi awal 5 ppm sedangkan untuk konsentrasi awal 10 ppm yaitu sebesar 3,230 ppm (67,70%).
3.	Gea Ghiovani Raissa dan Bieby Voijant Tangahu	Untuk menentukan kemampuan	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tumbuhan Kayu apu mampu menyisihkan

NO.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil penelitian
	(2017) "Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> )"	tumbuhan Kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) dalam menurunkan kandungan organik dalam limbah laundry dan menentukan kerapatan yang optimum pada tumbuhan Kayu apu ( <i>Pistia stratiotes</i> ) terhadap penurunan limbah laundry	BOD sebesar 98% atau setara dengan 6 mg/L, COD sebesar 96% atau setara dengan 17 mg/L, fosfat sebesar 99% atau setara dengan 0,07 mg/L pada kerapatan 35 mg/cm <sup>2</sup> . Dalam penelitian ini kerapatan tumbuhan yang digunakan yaitu 14 mg/cm <sup>2</sup> , 25 mg/cm <sup>2</sup> , 35 mg/cm <sup>2</sup> . Dari hasil penelitian didapat, tumbuhan Kayu apu dengan kerapatan 35 mg/cm <sup>2</sup> memiliki efisiensi removal yang tertinggi.
4.	Febri Fitriana (2019) "Fitoremediasi air tercemar timbal (pb) menggunakan tanaman apu-apu ( <i>pistia stratiotes</i> ) dengan sistem kontinyu"	Untuk mengetahui tingkat efisiensi penyerapan logam berat timbal pada tanaman apuapu ( <i>Pistia Stratiotes</i> ) dan jumlah tanaman yang efisien untuk menurunkan konsentrasi limbah timbal dalam air tercemar	Variasi jumlah tanaman, yaitu 3 (tiga) dan 5 (lima) tanaman. Waktu tinggal limbah, yaitu 4, 8, dan 12 hari. Limbah timbal yang digunakan yaitu limbah timbal artifisial dengan konsentrasi 5 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan tanaman apu-apu mampu meremoval limbah timbal dengan baik. Jumlah 5 (lima) tanaman lebih efisien digunakan pada proses fitoremediasi karena mampu meremoval limbah timbal sebesar 88.3% dibandingkan dengan 3 (tiga) tanaman yang hanya mampu meremoval limbah sebesar



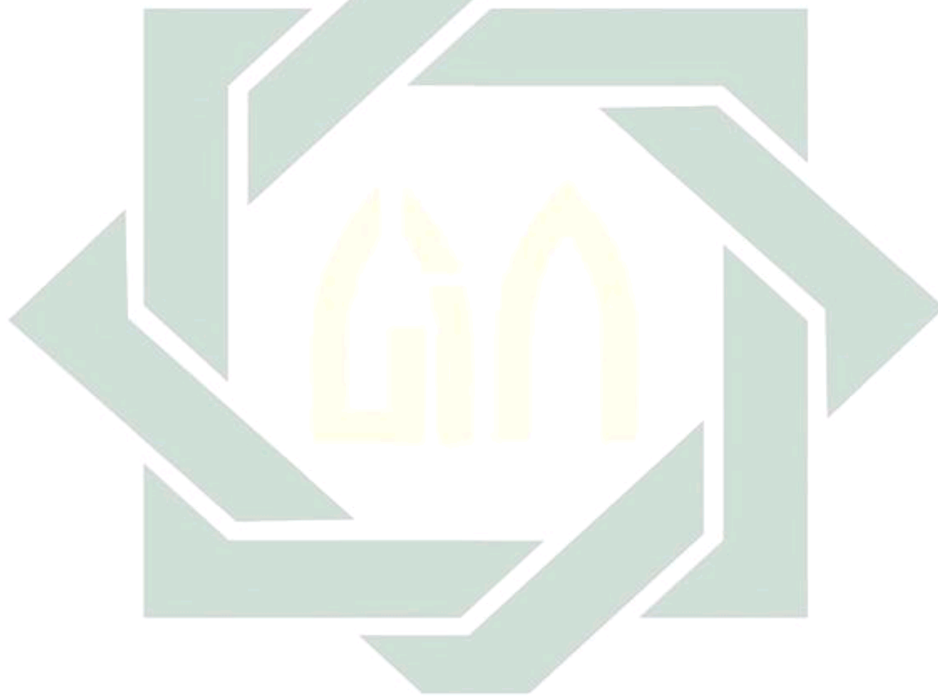
NO.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil penelitian
			75.9%. Terdapat perbedaan efisiensi penyerapan limbah karena tanaman apu-apu merupakan tanaman hiperakumulator yang mampu menyerap limbah logam berat timbal pada air tercemar
5.	Firdha Catur Yuniasari, Tri Budi Prayogo, dan Prasetyo Rubiantoro (2015) “Studi efektivitas fitoremediasi tanaman papyrus 32aying guna mereduksi logam besi dan mangan pada air limbah pabrik kulit”	Untuk mengetahui efektivitas tanaman Papyrus Payung dalam mereduksi logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada sampel air limbah pabrik kulit sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 82/2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Kelas I.	Hasil pengujian laboratorium di analisa menggunakan Uji Z dan Uji T. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa tanaman Papyrus Payung efektif mereduksi logam Fe maupun Mn. Untuk logam Fe sudah memenuhi batas ijin yaitu 0,3 mg/L dalam waktu 10 hari pada penggunaan lima rumpun tanaman. Untuk logam Mn, nilai reduksi dilihat dari perbandingan akumulasi kandungan Mn di lumut dan di tanaman pada bak percobaan lima di akhir penelitian meskipun nilai akhir belum memenuhi batas ijin 0,1 mg/L.
6.	Putri windriya sito resmi (2015) “Pemanfaatan Constructed Wetland dengan tanaman papirus ( <i>Cyperus papyrus L.</i> ) untuk	Untuk mengetahui kemampuan papyrus dalam meremoval surfaktan limbah laundry	Reaktor SSF dan SF menghasilkan efisiensi removal rata-rata 84,87% dan 79,69% dengan HRT 3 hari. Reaktor dengan HRT 6 hari menghasilkan removal sebesar 89,59% dengan aliran SSF dan

NO.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil penelitian
	pengolahan surfaktan dalam air limbah laundry”		82,45% dengan aliran SF.
7.	Mardalena, M. Faizal, A. Napoleo (2018) “The Absorption of Iron (Fe) and Manganese (Mn) from Coal Mining Wastewater with Phytoremediation Technique Using Floating Fern ( <i>Salvinia natans</i> ), Water Lettuce ( <i>Pistia stratiotes</i> ) and Water Hyacinth ( <i>Eichornia crassipes</i> )”	Untuk mengamati pengaruh waktu pada penyerapan Fe dan Mn pada spesies tanaman yang digunakan sebagai agen fitoremediasi	Penyerapan tertinggi selama 30 hari untuk parameter mangan adalah eceng gondok dan paling banyak menyerap Fe adalah <i>Floating Fern</i> atau ( <i>Salvinia natans</i> ). Di sisi lain, berdasarkan pengukuran kandungan logam eceng gondok adalah tanaman yang paling efektif menyerap Fe.
8.	Septiana Suryani dan Yusmidiarti, Jubaidi (2013) “Efektivitas Tumbuhan Eceng gondok sebagai fitoremediasi dalam menurunkan besi (Fe), timah hitam	Untuk mengetahui perbedaan penurunan kadar besi, timbal, dan managn pada <i>leacheate</i> menggunakan tanaman eceng	Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan yang terlihat pada <i>leacheate</i> menggunakan eceng gondok pada penurunan kadar Fe,Pb, Mn,

NO.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil penelitian
	(Pb), mangan (Mn) pada <i>leachaete</i> ”	gondok	<p>Pretest: kadar Fe: 6,30 mg/l, post test: 0,25 mg/l</p> <p>Kadar Pb pretest: 2,90 mg/l, post test: 0,25 mg/l</p> <p>Mn pretest: 2,68 mg/l, post test: 0,08 mg/l. dapat disimpulkan bahwa eceng gondok mampu menurunkan kadar Fe, Pb, Mn.</p>
9.	<p>Maria Amanda Matrosya (2020) “Perbandingan efektivitas fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>) dan eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) dalam mereduksi besi (Fe) dan mangan (Mn) serta meningkatkan nilai derajat keasaman (pH) pada limbah logam balai labkesda prov. Banten”</p>	<p>Untuk mengetahui akumulasi dan persen penyerapan optimum pada tanaman eceng gondok dan kayu apu taaman yang efektif dalam menurunkan kadar Fe dan Mn</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi 4 rumpun tanaman terhadap waktu tinggal 28 hari menurunkan Fe sebesar 5,1479 mg/l dengan akumulasi tanaman sebesar 2,2526 mg/l. Mn sebesar 2,7229 mg/l dengan akumulasi tanaman 2,5811 mg/l</p>
10.	<p>Gemechu Kassayea, Nigus Gabbiyea and Agegnehu Alemub</p>	<p>Untuk mengetahui efisiensi removal kromiun pada</p>	<p>Hasil penelitian menyebutkan bahwa efisiensi removal <i>Polygonum coccineum</i> relative</p>

NO.	Penulis dan Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil penelitian
	(2017) “Phytoremediation of chromium from tannery wastewater using local plant species”	limbah penyamakan konsentrasi 0,1, 0,5, dan 1 mg/l dengan menggunakan tanaman rawa-rawa seperti <i>Polygonum coccineum</i> , <i>Brachiara mutica</i> , <i>Cyperus papyrus L.</i> .	rendah dibandingkan dengan tanaman <i>Brachiara mutica</i> , <i>Cyperus papyrus L.</i> . Pada tanaman <i>Cyperus papyrus L.</i> relatif lebih tinggi (masing-masing 1,260, 83,08% dan 1,715, 73,77%). Temuan ini menunjukkan bahwa semua tanaman rawa yang diuji dapat digunakan untuk fitoremediasi Cr.
11.	Septy Audiyanti, Zahidah Hasan, Herman Hamdani, dan Heti Herawati (2019) “Efektivitas Eceng gondok ( <i>Eichornia crassipes</i> ) dan Kayu apu ( <i>Pistia stratiotes L.</i> ) sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Sungai Citarum”.	Untuk mendapat jenis tumbuhan air yang memiliki daya serap lebih baik diantara eceng gondok dan kayu apu sebagai agen fitoremediasi terhadap limbah sungai Citarum.	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan kayu apu lebih efektif menurunkan bahan organik dengan nilai akhir berkisar antara 6,45 mg/L hingga 11,35 mg/L (36,41%- 63,87%). Kelangsungan tanaman uji kayu apu memiliki prosentase lebih besar berkisar antara 52% sampai 88%.
12.	Cloudia Fichta Utassia, Tri Budi Prayogo, Prasetyo Rubiantoro (2016) “Pemanfaatan Zeolit Alam dan Tanaman Papyrus payung Guna	Untuk mengetahui efektifitas rancangan percobaan dari kombinasi kedua metode dalam menurunkan	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari kombinasi tersebut telah menghasilkan buangan yang telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan, yaitu nilai kandungan Fe dibawah 0,3

<b>NO.</b>	<b>Penulis dan Judul Penelitian</b>	<b>Tujuan Penelitian</b>	<b>Hasil penelitian</b>
	Menurunkan Kadar Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Limbah Kulit di Sukun Malang”.	kadar logam besi dan mangan pada air limbah pabrik kulit di Sukun Malang.	mg/L dalam waktu 120 jam.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

##### 1. Waktu

Penyusunan proposal dilakukan pada bulan Januari-Februari 2020. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei-Juni 2020 yang meliputi lima hari proses aklimatisasi tanaman dan Sembilan hari proses fitoremediasi. Waktu penelitian dapat dilihat pada

##### LAMPIRAN I

##### 2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Integrasi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya dan *greenhouse*, sedangkan untuk pengujian Besi (Fe) dilakukan di laboratorium PDAM Surya Sembada Surabaya.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat serta bahan sebagai berikut:

##### 1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Reaktor sebanyak 10 buah berukuran panjang 35 cm x lebar 17 cm x tinggi 24 cm
- 31 botol kaca ukuran 100 ml
- ICP (*Inductively Coupled Plasma*)
- Termometer
- pH meter
- Neraca analitik.

## **2. Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Tanaman Kayu apu
2. Tanaman Papyrus
3. Sampel air limbah artifisial  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 15 ppm.

### **3.3 Variabel penelitian**

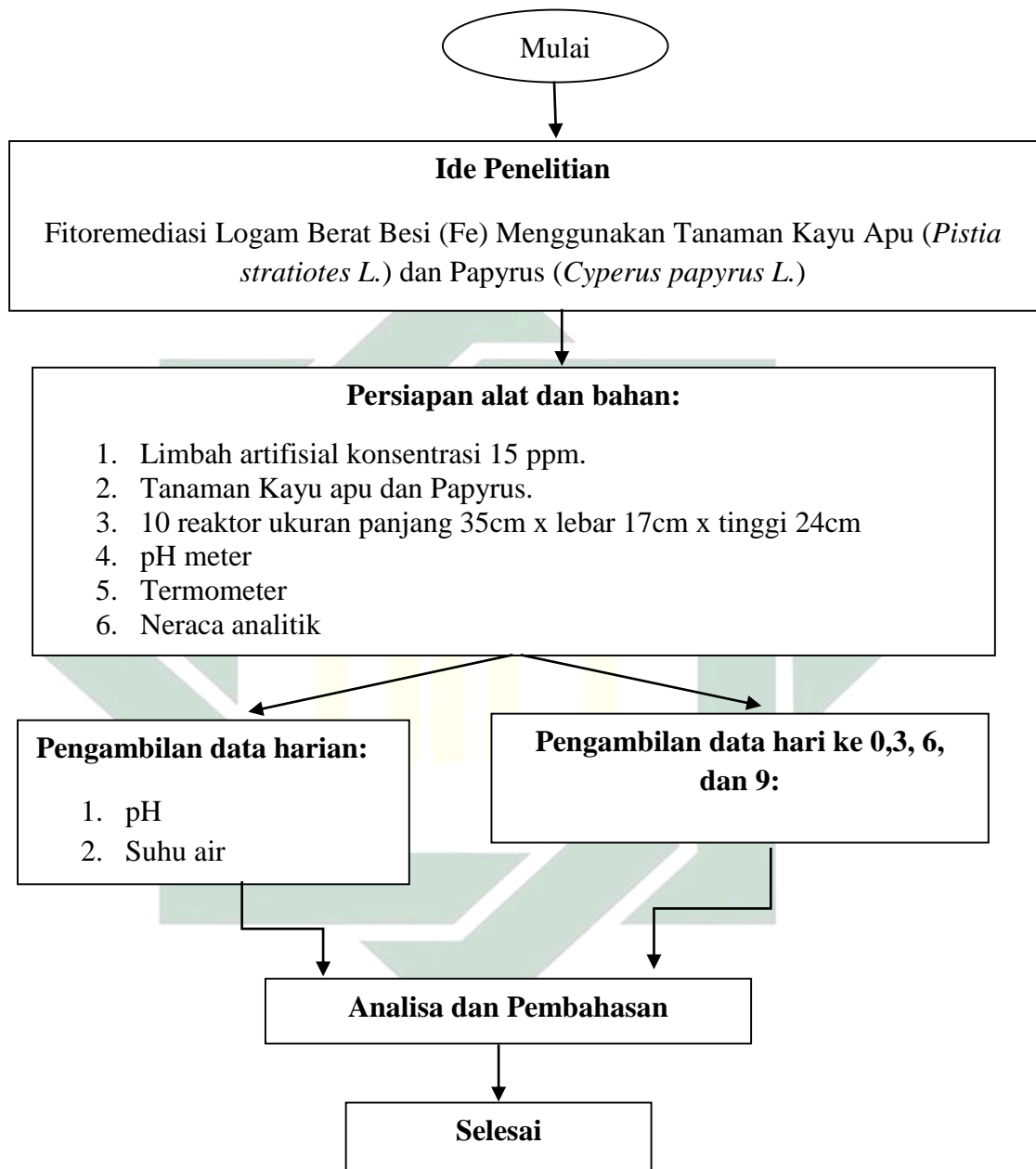
Pada penelitian ini memiliki 2 variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat:

1. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu jumlah tanaman kayu apu dan papyrus.
2. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu, konsentrasi Besi (Fe) yang terlarut.

### **3.4 Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian merupakan sebuah acuan atau skema yang sistematis/berurutan dalam penelitian. Tahapan penelitian ini dibuat agar hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan dan ruang penelitian. Tahapan penelitian terdiri atas beberapa urutan pekerjaan yaitu persiapan, pelaksanaan, dan penyusunan laporan penelitian. Tahapan penelitian dapat dilihat pada

**Gambar 3.1**



**Gambar 3. 1** Diagram Tahapan Penelitian



Pada tahapan penelitian **Gambar 3.1** dapat dijabarkan sebagai berikut:

### 3.4.1 Larutan Limbah Artifisial

Pada ke 10 reaktor masing-masing berisikan sampel air limbah artifisial  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 15 ppm. Pemberian konsentrasi 15 ppm didasari oleh baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri. Pembuatan air limbah artifisial logam berat Fe adalah dengan melarutkan serbuk  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan aquades. Pembuatan air limbah Fe artifisial ini didasarkan pada perhitungan molaritas dan konsentrasi yang diinginkan. Berikut ini perhitungan pembuatan air limbah artifisial Fe:

Diketahui:

$$\text{Ar. Fe} = 56$$

$$\text{Mr. FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 278$$

$$\text{Volume} = 500 \text{ ml}$$

$$\text{Kemurnian} = 99\%$$

$$m = \frac{n}{v}$$

$$m = \frac{gr}{\text{Ar. Fe} \cdot L}$$

$$m = \frac{gr}{56 L}$$

$$\frac{gr}{L} = 0,0178 m$$

Jadi untuk larutan Fe yang akan dibuat molaritasnya 0,0178 m

$$m = \frac{gr}{\text{Mr. FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1000}{ml}$$

$$\begin{aligned}
0,0178 \text{ m} &= \frac{\text{gr}}{278} \times \frac{1000}{500} \\
\text{gr} &= \frac{0,017 \times 278}{2} \\
&= 2,5 \text{ gram} = \frac{2,5 \text{ g}}{0,99} \\
&= 2,5 \text{ gram FeSO}_4\text{7H}_2\text{O}
\end{aligned}$$

Jadi jumlah serbuk FeSO<sub>4</sub>7H<sub>2</sub>O yang dibutuhkan sebesar 2,5 gr untuk dilarutkan dalam 500ml aquades.

Kemudian larutan induk diencerkan lagi dengan aquades untuk membuat larutan air limbah 10 mg/L.

$$\begin{aligned}
C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\
1000 &= \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot V_1 = 15 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 9000 \text{ ml} \\
V_1 &= \left( 15 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 9000 \text{ ml} \right) : 1000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 135 \text{ ml}
\end{aligned}$$

Jadi dari larutan induk sebanyak 500 ml, limbah artifisial Fe 15 mg/l dibutuhkan sebanyak 135 ml. Jumlah limbah yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah 9 liter.

### 3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam persiapan alat dan bahan ini menggunakan 10 buah reaktor dengan panjang 35 cm, lebar 17 cm, dan tinggi 24 cm. Kemudian menyiapkan Tanaman Kayu apu dan Papyrus, serta air limbah artifisial sebanyak 9 liter pada setiap reaktor, alat untuk

pengujian pH meter, dan termometer untuk pengukuran pH air dan suhu air.

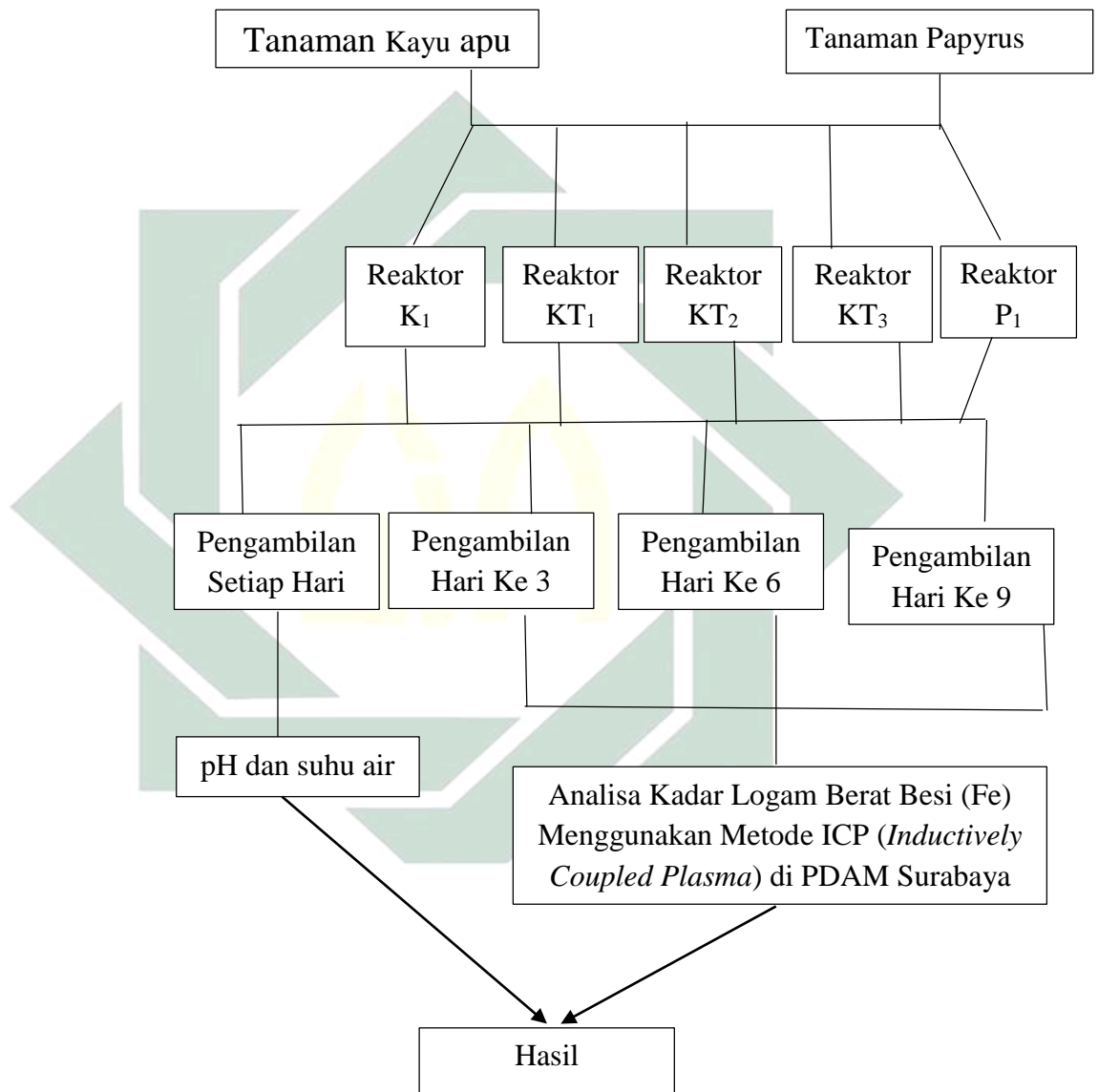
### 3.4.3 Proses Aklimatisasi

Tanaman kayu apu dan papyrus yang digunakan dalam proses fitoremediasi tidak berasal dari benih, melainkan tumbuhan yang sudah tumbuh sebelumnya. Tanaman kayu apu yang digunakan memiliki ciri fisik daun berwarna hijau dengan lebar daun rata-rata 3-4 cm. Sedangkan tanaman papyrus yang digunakan memiliki ciri fisik ketinggian *rata-rata 30-35 cm*.

Aklimatisasi tanaman dilakukan agar tanaman kayu apu dan papyrus dapat menyesuaikan diri dengan kondisi sebelum dilakukannya perlakuan. Aklimatisasi dilakukan selama 5 hari dengan pemilihan tanaman yang digunakan tidak layu dan berdaun hijau (Raissa & Tangahu, 2017).

### 3.4.4 Kerangka Penelitian

Berikut ini merupakan Gambar 3.2 Kerangka Penelitian:



**Gambar 3. 2** Kerangka Penelitian



No.	Reaktor	Hari			
		H <sub>0</sub> (mg/L)	H <sub>3</sub> (mg/L)	H <sub>6</sub> (mg/L)	H <sub>9</sub> (mg/L)
8.	<b>R2 KT<sub>2</sub></b>	R2 KT <sub>2</sub>	R2 KT <sub>2</sub>	R2 KT <sub>2</sub>	R2 KT <sub>2</sub>
9.	<b>R2 KT<sub>3</sub></b>	R2 KT <sub>3</sub>	R2 KT <sub>3</sub>	R2 KT <sub>3</sub>	R2 KT <sub>3</sub>
10.	<b>R2 P<sub>1</sub></b>	R2 P <sub>1</sub>	R2 P <sub>1</sub>	R2 P <sub>1</sub>	R2 P <sub>1</sub>

**Keterangan:**

**H<sub>0</sub>** : Hari pembuatan limbah artifisial

**H<sub>3</sub>** : Hari ke 3 perlakuan

**H<sub>6</sub>** : Hari ke 6 perlakuan

**H<sub>9</sub>** : Hari ke 9 perlakuan

**K<sub>1</sub>** : 16 tanaman kayu apu

**KT<sub>1</sub>** : 12 tanaman kayu apu dan 4 tanaman papyrus

**KT<sub>2</sub>** : 8 tanaman kayu apu dan 8 tanaman papyrus

**KT<sub>3</sub>** : 4 tanaman kayu apu dan 12 tanaman papyrus

**P<sub>1</sub>** : 16 tanaman papyrus

**R<sub>1</sub>** : Reaktor 1









daun yang berwarna hijau lebar daun 3-4 cm karena dalam penelitian yang dilakukan (Nurfitriana, 2019) tanaman dengan ciri fisik tersebut telah mampu meremoval Pb 75,9%, sedangkan ciri fisik tanaman papyrus batang yang tegak dengan ketinggian *rata-rata* 30 cm – 35 cm karena pada penelitian (Sitoresmi & Purwanti, 2015) ciri fisik tanaman papyrus tersebut telah mampu meremoval rata-rata 84,87% air limbah *laundry*. Berat 100 gram pada tiap reactor didasari oleh penelitian yang dilakukan (Agusetyadevy dkk., 2010). Pada proses fitoremediasi ini menggunakan sistem *batch*.

#### **3.4.7 Pengambilan Data**

Proses pengambilan data pada penelitian ini terbagi menjadi 2 yaitu:

##### **1. Pengambilan data harian**

Pengambilan data harian pada penelitian ini meliputi pengukuran suhu dan pengukuran pH.

##### **2. Pengambilan data pada hari 0,3,6,9.**

Pengambilan sampel air limbah artifisial dilakukan selama 3 hari sekali pada h-0, h-3, h-6, h-9. Pada pengujian ini dapat mempermudah analisis data karena dapat melihat perubahan sampel (Agusetyadevy dkk., 2010). Sampel air limbah artifisial diambil sebanyak 100 ml pada tiap reaktor untuk kemudian diujikan kandungan Besi (Fe) terlarut dalam air sampel

menggunakan metode ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

### 3.5 Analisis Data

Analisis kadar logam berat Besi (Fe) yang tertinggal pada air setelah proses fitoremediasi menggunakan metode ICP (*Inductively Coupled Plasma*) di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Selanjutnya dilakukan uji efisiensi penurunan kadar logam berat Besi (Fe) menggunakan rumus berikut:

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

Keterangan:

Ef : efisiensi variasi tanaman

Co : konsentrasi awal sampel

Ct : konsentrasi akhir sampel

Selanjutnya dilakukan analisa efisiensi penurunan kadar logam berat Fe dengan analisa statistik parametrik menggunakan *two way* anova. Sebelum menggunakan uji anova dilakukannya uji normalitas dan dilanjutkan dengan uji homogenitas, apabila data tersebut normal dan homogen maka dilanjutkan dengan uji *two way* anova. Namun apabila hasil data uji tidak homogen maka akan dilakuakn transformasi data dan apabila hasil masih menunjukkan tidak homogeny maka menggunakan uji *friedman* guna mengetahui perbedaan setiap perlakuan.



## **BAB IV**



### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Tahap Aklimatisasi**

Aklimatisasi tanaman adalah proses dari sebuah organisme agar dapat menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan secara tiba-tiba, umumnya seperti perubahan temperatur, kelembapan, dan makanan yang biasanya disebabkan oleh perubahan musim atau iklim. Aklimatisasi bertujuan untuk tanaman supaya mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan tumbuh sebelum mendapat perlakuan fitoremediasi (Cahyani dkk., 2016). Tanaman diaklimatisasi dengan cara dimasukkan pada bak reaktor yang telah diisi air. Sebelum aklimatisasi tanaman, dilakukannya pemilihan tanaman terlebih dahulu dengan ciri fisik yang telah ditentukan kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel seperti lumut atau tanah. Setelah itu tanaman dimasukkan kedalam reaktor berisi air PDAM dan diaklimatisasi selama 5 hari. Umumnya aklimatisasi tanaman dilakukan selama 7 hari namun menurut Oktavia & Dewanti (2016) aklimatisasi tanaman dalam waktu 5 hari dianggap telah dapat menyesuaikan tanaman terhadap lingkungan baru. Minimal waktu dalam melakukan aklimatisasi yaitu 3 hari, kurang dari hari tersebut dianggap terlalu singkat pada tanaman untuk menyesuaikan pada kondisi lingkungan. Kondisi tanaman pada saat berlangsungnya aklimatisasi dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

**Tabel 4. 1** Kondisi Tanaman Kayu Apu dan Papyrus pada saat Aklimatisasi

Waktu Aklimatisasi (Hari)	Keadaan Tanaman pada saat Aklimatisasi	Dokumentasi
1	<p>Hari pertama aklimatisasi tanaman kayu apu daun berwarna hijau muda segar, akar panjang berwarna putih dan coklat. Sedangkan untuk tanaman papyrus daun berwarna hijau tua dengan akar berwarna coklat.</p>	

Waktu Aklimatisasi (Hari)	Keadaan Tanaman pada saat Aklimatisasi	Dokumentasi
2	<p>Hari kedua aklimatisasi tanaman kayu apu masih berwarna hijau muda dengan akar berwarna putih dan coklat. Sedangkan pada tanaman papyrus juga masih berdaun hijau tua dengan akar berwarna coklat.</p>	
3	<p>Hari ketiga aklimatisasi tanaman kayu apu masih tetap tidak ada perubahan fisik begitu pula dengan tanaman papyrus</p>	



Waktu Aklimatisasi (Hari)	Keadaan Tanaman pada saat Aklimatisasi	Dokumentasi
4	<p>Hari keempat aklimatisasi tanaman kayu apu masih tetap tidak ada perubahan fisik, namun terjadi perubahan fisik pada tanaman papyrus yaitu munculnya akar-akar baru berwarna putih.</p>	
5	<p>Hari kelima aklimatisasi kayu apu tetap tidak ada perubahan seperti pada hari pertama aklimatisasi, sedangkan untuk papyrus hanya terjadi perubahan pada tumbuhnya akar-akar baru.</p>	

Sumber: Hasil Analisa, 2020

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa pada proses aklimatisasi selama lima hari pertumbuhan tanaman tidak mengalami perubahan secara signifikan.



Menurut Yuliani, (2013) hal ini dipengaruhi oleh faktor ruang tumbuh tanaman yang relatif sempit sehingga memperlambat pertumbuhan tanaman.

#### **4.2 Hasil Penelitian**

Penelitian fitoremediasi logam berat Besi (Fe) menggunakan tanaman kayu apu dan papyrus dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan logam berat Fe pada kedua tanaman tersebut. Penelitian ini dilakukan selama 9 hari dengan pengujian logam Fe pada hari ke H-0, H-3, H-6, dan H-9. Laju penyerapan logam berat Fe dapat diketahui dari lamanya waktu pemaparan tanaman dengan logam berat Fe selama waktu penelitian. Perubahan fisik tanaman dapat dilihat pada Tabel 4.3.





Tanaman uji kayu apu pada semua reaktor mengalami perubahan fisik yang ditandai dengan menguningnya daun dan menghitamnya ujung-ujung akar hingga kerontokan, sedangkan pada tanaman papyrus tidak mengalami perubahan yang terlihat secara signifikan. Diameter tanaman kayu apu mengalami penyusutan hal ini dikarenakan terjadinya pelapukan pada daun bagian bawah. Rontoknya akar dan menguningnya daun diduga karena tanaman mengalami klorosis dan nekrosis akibat dari proses fitoremediasi logam Fe (Jamil dkk., 2016), namun pada akhir penelitian daun berangsur-angsur menjadi hijau kembali yang artinya tanaman kembali meningkatkan klorofil.

Penelitian ini dilakukan dengan pengukuran setiap hari suhu air dan pH air, dimana suhu air menunjukkan rata-rata 27° C - 28° C dan pH berkisar antara 4,1-5,4 keadaan asam. Menurut Nurfitri & Rachmatiah, (2010) kondisi optimum bagi tanaman uji fitoremediasi dengan kisaran suhu air 17° C - 30° C dan pH air dengan kisaran 6,5-7, yang artinya pada penelitian ini suhu air telah memenuhi kondisi optimum bagi tanaman namun untuk pH air tidak











**Tabel 4. 3** Kondisi Tanaman Kayu Apu dan Papyrus pada saat pengujian





Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
1	<b>R1 K<sub>1</sub></b>	<p>Pada hari pertama pengujian daun kayu apu menguning, pada ujung-ujung akar menghitam dan ada beberapa akar mengalami kerontokan.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.6 dimana pada h0 pembuatan limbah artifisial pH menunjukkan angka 5,4 keadaan asam karena pembuatan limbah artifisial menggunakan serbuk FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O dan suhu menunjukkan suhu 28° C.</p>		<b>R2 K<sub>1</sub></b>	<p>Pada hari pertama pengujian daun kayu apu menguning dan pada bagian ujung-ujung akar menghitam bahkan beberapa mengalami kerontokan.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.6 dimana pada h0 pembuatan limbah artifisial pH menunjukkan angka 5,4 keadaan asam karena pembuatan limbah artifisial menggunakan serbuk FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O dan suhu menunjukkan angka 28° C.</p>	
1.	<b>R1 KT<sub>1</sub></b>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada bagian daun paling bawah lebih menguning daripada daun bagian atas, pada bagian ujung akar menghitam dengan beberapa ada yang rontok.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.6 dengan suhu 28° C.</p>		<b>R2 KT<sub>1</sub></b>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari pertama pengujian bagian daun paling bawah lebih menguning daripada daun bagian atas dan ujung-ujung akar masih tetap menghitam.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, bagian akar tanaman berwarna coklat kemerahan.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan</p>	





Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					angka 4.5 dengan suhu 28° C.	
1	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada bagian daun paling bawah lebih menguning daripada daun bagian atas, pada bagian ujung akar menghitam dengan beberapa ada yang rontok.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan dan munculnya akar baru berwarna putih.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.5 dengan suhu 28° C.</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada bagian daun paling bawah lebih menguning daripada daun bagian atas, pada bagian ujung akar menghitam.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan dan munculnya akar baru berwarna putih.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.5 dengan suhu 28° C.</p>	
1	R1 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada bagian daun paling bawah lebih menguning daripada daun bagian atas, pada bagian ujung akar menghitam dengan beberapa ada yang rontok.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan dan</p>		R2 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada bagian daun paling bawah lebih menguning daripada daun bagian atas, pada bagian ujung akar menghitam dengan beberapa ada yang rontok.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun berwarna hijau tua segar</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
		munculnya akar baru berwarna putih.  Pengujian pH air menunjukkan angka 4.5 dengan suhu 28° C.			dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan dan munculnya akar baru berwarna putih.  Pengujian pH air menunjukkan angka 4.5 dengan suhu 28° C.	
1	<b>R1 KT<sub>3</sub></b>	Tanaman kayu apu:  Pada bagian daun paling bawah lebih menguning daripada daun bagian atas, pada bagian ujung akar menghitam dengan beberapa ada yang rontok.  Tanaman papyrus:  Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan dan munculnya akar baru berwarna putih.  Pengujian pH air menunjukkan angka 4.5 dengan suhu 28° C.		<b>R2 KT<sub>3</sub></b>	Tanaman kayu apu:  Pada bagian daun paling bawah lebih menguning daripada daun bagian atas, pada bagian ujung akar menghitam dengan beberapa ada yang rontok.  Tanaman papyrus:  Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan dan munculnya akar baru berwarna putih.  Pengujian pH air menunjukkan angka 4.5 dengan suhu 28° C.	







Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
1	R1 P <sub>1</sub>	<p>Pada hari pertama pengujian daun dan batang masih tampak segar berwarna hijau tua, akar tua berwarna coklat kemerahan sedangkan akar muda berwarna putih.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.6 dengan suhu 28° C.</p>		R2 P <sub>1</sub>	<p>Pada hari pertama pengujian daun dan batang masih tampak segar berwarna hijau tua, akar tua berwarna coklat kemerahan sedangkan akar muda berwarna putih.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.6 dengan suhu 28° C.</p>	
2	R1 K <sub>1</sub>	<p>Pada hari kedua pengujian tanaman kayu apu terlihat masih sama dengan pengujian hari pertama tidak ada perubahan.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.3. Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman tanaman (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p>		R2 K <sub>1</sub>	<p>Pada hari pertama pengujian daun dan batang masih tampak segar berwarna hijau tua, akar tua berwarna coklat kemerahan sedangkan akar muda berwarna putih.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.4 dengan suhu 28° C.</p>	

Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
		suhu 28° C.				
2	R1 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kedua tanaman kayu apu terlihat sama tidak ada perubahan fisik dari hari pertama.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.4 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman tanaman (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 28° C.</p>		R2 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kedua tanaman kayu apu terlihat sama tidak ada perubahan fisik dari hari pertama.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun berwarna hijau tua segar dengan batang terlihat kaku, akar tanaman berwarna coklat kemerahan.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.3. Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman tanaman (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok</p>	







Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.  suhu 28° C.	
2	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kedua tanaman kayu apu terlihat sama tidak ada perubahan fisik dari hari pertama.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Tidak mengalami perubahan dari hari pertama pengujian hingga hari kedua.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.3. Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman tanaman (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 28° C.</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kedua tanaman kayu apu terlihat sama, tidak ada perubahan fisik dari hari pertama.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Tidak mengalami perubahan dari hari pertama pengujian hingga hari kedua.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.3 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman tanaman (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.  suhu 28° C.	
2	R1 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kedua tanaman kayu apu terlihat sama tidak ada perubahan fisik dari hari pertama.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Tidak mengalami perubahan dari hari pertama pengujian hingga hari kedua.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan yaitu 4.3. Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 28° C.</p>		R2 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kedua tanaman kayu apu terlihat sama tidak ada perubahan fisik dari hari pertama.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Tidak mengalami perubahan dari hari pertama pengujian hingga hari kedua.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan yaitu 4.3. Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang</p>	

Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.  Suhu 28° C.	
2	R1 P1	<p>Pada hari kedua pengujian daun dan batang terlihat masih sama dengan pengujian hari pertama tidak ada perubahan, akar tua berwarna coklat kemerahan sedangkan akar muda berwarna putih.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.4, Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 28° C.</p>		R2 P1	<p>Pada hari kedua pengujian daun dan batang terlihat masih sama dengan pengujian hari pertama tidak ada perubahan, akar tua berwarna coklat kemerahan sedangkan akar muda berwarna putih.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.4 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam (Rahadian dkk., 2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman</p>	

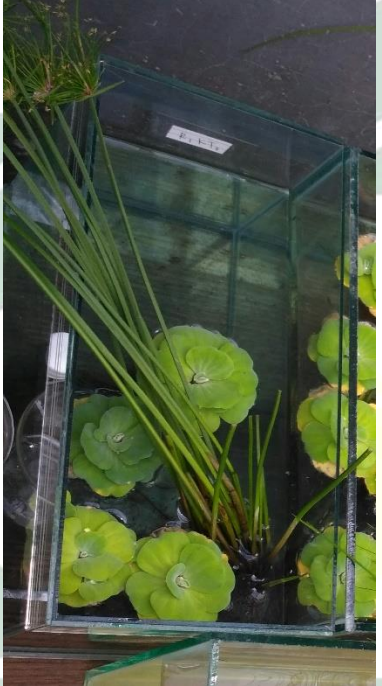




Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.  Suhu 28° C.	
3	R1 K <sub>1</sub>	Pada hari ketiga bagian pinggiran daun paling bawah yang menyentuh permukaan air mengering dan bagian akar tidak terlihat penambahan kerontokan.  Pengujian pH air menunjukkan angka 4.3 sama dengan hari kedua dan suhu 27° C.		R2 K <sub>1</sub>	Pada hari ketiga bagian pinggiran daun paling bawah yang menyentuh permukaan air mengering dan bagian akar tidak terlihat penambahan kerontokan.  Pengujian pH air menunjukkan angka 4.3 dan suhu 27° C.	

Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
3	R1 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketiga daun beberapa tanaman kayu apu pada bagian pinggir paling bawah mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketiga daun dan batang tanaman papyrus tidak mengalami perubahan namun pada akar baru yang berwarna putih terlihat semakin panjang.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.2 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam (Rahadian dkk., 2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketiga daun beberapa tanaman kayu apu pada bagian pinggir paling bawah mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketiga daun dan batang tanaman papyrus tidak mengalami perubahan namun pada akar baru yang berwarna putih terlihat semakin panjang.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.3 dengan suhu 27° C.</p>	




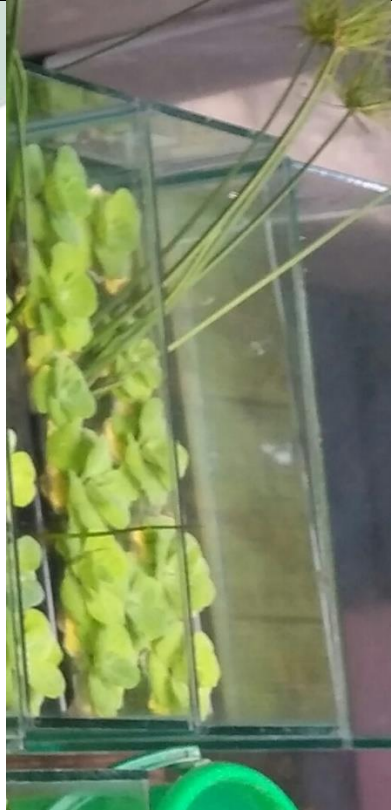
Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
3	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketiga daun beberapa tanaman kayu apu pada bagian pinggir paling bawah mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketiga daun dan batang tanaman papyrus tidak mengalami perubahan namun pada akar baru yang berwarna putih terlihat semakin panjang.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.1 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam (Rahadian dkk., 2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketiga daun beberapa tanaman kayu apu pada bagian pinggir paling bawah mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketiga daun dan batang tanaman papyrus tidak mengalami perubahan namun pada akar baru yang berwarna putih terlihat semakin panjang.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.2 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses</p>	







Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					oksidasi pembentukan asam sulfat.  Suhu 27° C.	
3	R1 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketiga daun beberapa tanaman kayu apu pada bagian pinggir paling bawah mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketiga daun dan batang tanaman papyrus tidak mengalami perubahan namun pada akar baru yang berwarna putih terlihat semakin panjang.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.3 dengan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketiga daun beberapa tanaman kayu apu pada bagian pinggir paling bawah mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketiga daun dan batang tanaman papyrus tidak mengalami perubahan namun pada akar baru yang berwarna putih terlihat semakin panjang.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.2 dengan suhu 27° C.</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
3	R1 P <sub>1</sub>	<p>Pada pengujian hari ketiga masih tetap terlihat sama pada daun dan batang, namun bagian akar baru terlihat semakin banyak.</p> <p>Pengujian pH air mengalami peurunan, menunjukkan angka 4.3 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 27° C.</p>		R2 P <sub>1</sub>	<p>Pada pengujian hari ketiga masih tetap terlihat sama pada daun dan batang, namun bagian akar baru terlihat semakin banyak.</p> <p>Pengujian pH air mengalami peurunan, menunjukkan angka 4.2 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 27° C.</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
4	R1 K <sub>1</sub>	<p>Pengujian hari keempat pada bagian daun bawah berangsur-angsur semakin mengering.</p> <p>pH air menunjukkan angka tetap 4.3 dengan suhu 27° C.</p>		R2 K <sub>1</sub>	<p>Pengujian hari keempat pada bagian daun bawah berangsur-angsur semakin mengering.</p> <p>pH air menunjukkan angka 4.2 dengan suhu 27° C.</p>	
4	R1 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keempat daun beberapa tanaman kayu apu pada bagian bawah semakin mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keempat bagian daun dan batang tanaman papyrus terlihat masih segar.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.2 dengan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keempat daun beberapa tanaman kayu apu pada bagian bawah semakin mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keempat bagian ujung daun sedikit mengering dan batang tanaman papyrus terlihat masih segar.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.3 dengan suhu 27° C.</p>	







Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
4	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keempat daun tanaman kayu apu pada bagian bawah semakin mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keempat bagian daun dan batang tanaman papyrus papyrus terlihat tetap segar.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.1 dengan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keempat daun tanaman kayu apu pada bagian bawah semakin mengering.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keempat bagian ujung daun sedikit mengering dan batang tanaman papyrus papyrus terlihat masih segar.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.2 dengan suhu 27° C.</p>	
4	R1 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keempat tidak terlihat perbedaan dari hari ketiga pengujian.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keempat bagian daun dan batang tanaman papyrus papyrus terlihat tetap segar.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan penurunan dengan angka tetap 4.1 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena</p>		R2 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keempat tidak terlihat perbedaan dari hari ketiga pengujian.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keempat bagian ujung daun sedikit mengering dan batang tanaman papyrus papyrus terlihat masih segar.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.2 dan suhu 27°</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
		terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari & Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion $H^+$ yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.  Suhu 27° C.			C.	
4	<b>R1 P<sub>1</sub></b>	Pada pengujian hari keempat masih tetap terlihat sama dengan pengujian hari ketiga.  Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.3 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari & Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion $H^+$ yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.  Suhu 27° C.		<b>R2 P<sub>1</sub></b>	Pada pengujian hari keempat masih tetap terlihat sama dengan pengujian hari ketiga.  Pengujian pH air menunjukkan angka 4.2 dengan suhu 27° C.	







Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
5	R1 K <sub>1</sub>	<p>Pengujian hari kelima pada bagian daun yang mengering mengalami pelapukan.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.4. Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>Suhu 28° C.</p>		R2 K <sub>1</sub>	<p>Pengujian hari kelima pada bagian daun yang mengering mengalami pelapukan.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.3. Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>Suhu 28° C.</p>	

Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
5	R1 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kelima daun tanaman kayu apu yang mengering mulai mengalami pelapukan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari kelima tanaman papyrus tetap terlihat sama.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.2 dengan suhu 28° C.</p>		R2 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kelima daun tanaman kayu apu yang mengering mulai mengalami pelapukan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari kelima tanaman papyrus tetap terlihat sama yaitu bagian ujung daun sedikit mengering.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.2 dengan suhu 28° C.</p>	
5	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kelima daun tanaman kayu mulai mengalami pelapukan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari kelima bagian ujung daun dan batang tanaman papyrus terlihat masih segar.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan kenaikan yaitu 4.2. Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari kelima daun tanaman kayu mulai mengalami pelapukan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari kelima bagian ujung daun sedikit mengering dan batang tanaman papyrus terlihat masih segar.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap yaitu 4.2 dengan suhu 28° C.</p>	







Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
		OH <sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H <sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).  Suhu 28° C.				
5	R1 KT <sub>3</sub>	Tanaman kayu apu:  Pada hari kelima daun bagian bawah mengalami pelapukan.  Tanaman papyrus:  Pada hari kelima tidak terlihat adanya perbedaan daun batang masih tetap segar.  Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.1 dan suhu 28° C.		R2 KT <sub>3</sub>	Tanaman kayu apu:  Pada hari kelima daun bagian bawah mengalami pelapukan.  Tanaman papyrus:  Pada hari kelima tidak terlihat adanya perbedaan daun batang masih tetap segar hanya bagian ujung daun yang sedikit mengering.  Pengujian pH air menunjukkan penurunan 4.1 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari & Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H <sup>+</sup> yang	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.  Suhu 28° C.	
5	R1 P <sub>1</sub>	<p>Pada hari kelima tidak terlihat adanya perbedaan daun batang masih tetap segar daun dan akar juga semakin panjang.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.1 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>Suhu 27° C.</p>		R2 P <sub>1</sub>	<p>Pada hari kelima tidak terlihat adanya perbedaan daun batang masih tetap segar hanya bagian ujung daun yang sedikit mengering dan akar juga semakin panjang.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.0. Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses</p>	

Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					oksidasi pembentukan asam sulfat.  Suhu 27° C.	
6	R1 K <sub>1</sub>	<p>Pengujian hari keenam pada bagian daun yang mengalami pelapukan telah digantikan oleh daun bagian atas.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.7 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam (Rahadian dkk., 2017).</p> <p>Suhu 27° C.</p>		R2 K <sub>1</sub>	<p>Pengujian hari keenam pada bagian daun yang mengalami pelapukan telah digantikan oleh daun bagian atas.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.7 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>Suhu 27° C.</p>	









Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
6	R1 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keenam terlihat sama dengan hari kelima daun tanaman kayu mengalami pelapukan sehingga digantikan oleh daun bagian atas.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keenam tanaman papyrus masih tetap terlihat sama yaitu daun dan batang masih segar.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.5 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>Suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keenam terlihat sama dengan hari kelima daun tanaman kayu mengalami pelapukan sehingga digantikan oleh daun bagian atas.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keenam tanaman papyrus masih tetap terlihat sama yaitu bagian ujung daun sedikit mengering.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.6 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>Suhu 27° C.</p>	

Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
6	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keenam terlihat sama dengan hari kelima daun tanaman kayu mengalami pelapukan sehingga digantikan oleh daun bagian atas.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keenam tanaman papyrus masih tetap terlihat sama seperti hari kelima.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.5. Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keenam terlihat sama dengan hari kelima daun tanaman kayu mengalami pelapukan sehingga digantikan oleh daun bagian atas.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari keenam tanaman papyrus masih tetap terlihat sama seperti hari kelima.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.5. Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>Suhu 27° C.</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
6	R1 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keenam terlihat sama dengan hari kelima daun tanaman kayu mengalami pelapukan sehingga digantikan oleh daun bagian atas.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.4 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari keenam terlihat sama dengan hari kelima daun tanaman kayu mengalami pelapukan sehingga digantikan oleh daun bagian atas.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.5 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>suhu 27° C.</p>	







Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
6	R1 P <sub>1</sub>	<p>Terlihat tidak ada perubahan pada tanaman papyrus, hanya bertambahnya akar baru dan sedikit mengeringnya bagian ujung daun.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.4 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>suhu 27° C.</p>		R2 P <sub>1</sub>	<p>Terlihat tidak ada perubahan pada tanaman papyrus, hanya bertambahnya akar baru dan sedikit mengeringnya bagian ujung daun.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.4 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>suhu 27° C.</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
7	R1 K <sub>1</sub>	<p>Pada pengujian hari ketujuh daun kayu apu terlihat semakin hijau dari hari sebelumnya</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.7 dan suhu 27° C.</p>		R2 K <sub>1</sub>	<p>Pada pengujian hari ketujuh daun kayu apu terlihat semakin hijau dari hari sebelumnya</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.7 dan suhu 27° C.</p>	
7	R1 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketujuh terlihat sama dengan hari keenam.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketujuh tanaman papyrus masih tetap terlihat sama dari hari sebelumnya</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.6 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk.,</p>		R2 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketujuh terlihat sama dengan hari keenam.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketujuh tanaman papyrus masih tetap terlihat sama dari hari sebelumnya</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.7 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke</p>	





Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
		(2017). suhu 27° C.			dalam air juga mengambil ion H <sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017). suhu 27° C.	
7	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu: Pada hari ketujuh terlihat sama kayu apu terlihat mulai sedikit menghijau.</p> <p>Tanaman papyrus: Pada hari ketujuh tanaman papyrus masih tetap terlihat sama dari hari sebelumnya.</p> <p>Tanaman papyrus: pH air mengalami kenaikan menjadi 4.6 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017). suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu: Pada hari ketujuh terlihat sama kayu apu terlihat mulai sedikit menghijau.</p> <p>Tanaman papyrus: Pada hari ketujuh tanaman papyrus masih tetap terlihat sama dari hari sebelumnya.</p> <p>Tanaman papyrus: pH air mengalami kenaikan menjadi 4.6 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017). suhu 27° C.</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
7	R1 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketujuh terlihat tanaman kayu apu sedikit menghihiau dari hari sebelumnya</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketujuh tanaman papyrus masih tetap terlihat sama dari hari sebelumnya</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.4 dan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Pada hari ketujuh terlihat tanaman kayu apu sedikit menghihiau dari hari sebelumnya</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari ketujuh tanaman papyrus masih tetap terlihat sama dari hari sebelumnya</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.5 dan suhu 27° C.</p>	
7	R1 P <sub>1</sub>	<p>Tanaman papyrus masih terlihat sama seperti hari sebelumnya</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.4 dan suhu 27° C.</p>		R2 P <sub>1</sub>	<p>Tanaman papyrus masih terlihat sama seperti hari sebelumnya</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan penurunan menjadi 4.3 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017)</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					<p>proses penurunan pH dapat terjadi karena ion <math>H^+</math> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.</p> <p>suhu <math>27^{\circ} C</math>.</p>	
8	R1 K <sub>1</sub>	<p>Pada bagian akar terlihat bagian yang menghitam semakin lebar namun daun kayu apu semakin terlihat hijau.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.9 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan <math>CO_2</math> dan melepas ion <math>OH^-</math> ke dalam air juga mengambil ion <math>H^+</math> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>suhu <math>27^{\circ} C</math>.</p>		R2 K <sub>1</sub>	<p>Pada bagian akar terlihat bagian yang menghitam semakin lebar namun daun kayu apu semakin terlihat hijau.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.8 Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan <math>CO_2</math> dan melepas ion <math>OH^-</math> ke dalam air juga mengambil ion <math>H^+</math> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>suhu <math>27^{\circ} C</math>.</p>	





Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
8	R1 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Daun terlihat semakin hijau dari hari-hari sebelumnya dan tidak ada perubahan pada bagian akar masih tetap terlihat menghitam pada bagian ujung-ujungnya.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun yang mengering terlihat sedikit kering, namun pada bagian batang masih terlihat hijau tua segar dan kaku.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.6 dan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Daun terlihat semakin hijau dari hari-hari sebelumnya dan tidak ada perubahan pada bagian akar masih tetap terlihat menghitam pada bagian ujung-ujungnya.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Daun yang mengering terlihat semakin kering sedikit demi sedikit, namun pada bagian batang masih terlihat hijau tua segar dan kaku.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan kenaikan menjadi 5.0. Hal ini disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan melepas ion OH<sup>-</sup> ke dalam air juga mengambil ion H<sup>+</sup> Efendi dalam Rahadian dkk., (2017).</p> <p>suhu 27° C.</p>	





Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
8	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Daun terlihat makin segar dari hari sebelumnya dan bagian akar masih terlihat sama tetap menghitam pada bagian ujung-ujungnya.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Tanaman papyrus pada pengujian hari kedelapan masih terlihat sama saja dengan hari sebelumnya.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.6 dan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Daun terlihat makin segar dari hari sebelumnya dan bagian akar masih terlihat sama tetap menghitam pada bagian ujung-ujungnya.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Tanaman papyrus pada pengujian hari kedelapan masih terlihat sama saja dengan hari sebelumnya.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan 4.7 dan suhu 27° C.</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
8	R1 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Daun berangsur –angsur menjadi segar, namun akar masih tetap terlihat menghitap pada bagian ujung-ujungnya tetapi tidak mengalami kerontokan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Tanaman papyrus pada pengujian hari kedelapan masih terlihat sama saja dengan hari sebelumnya.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.5 dengan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Daun berangsur –angsur menjadi segar, namun akar masih tetap terlihat menghitap pada bagian ujung-ujungnya tetapi tidak mengalami kerontokan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Tanaman papyrus pada pengujian hari kedelapan masih terlihat sama saja dengan hari sebelumnya.</p> <p>pH air mengalami kenaikan menjadi 4.6 dengan suhu 27° C.</p>	




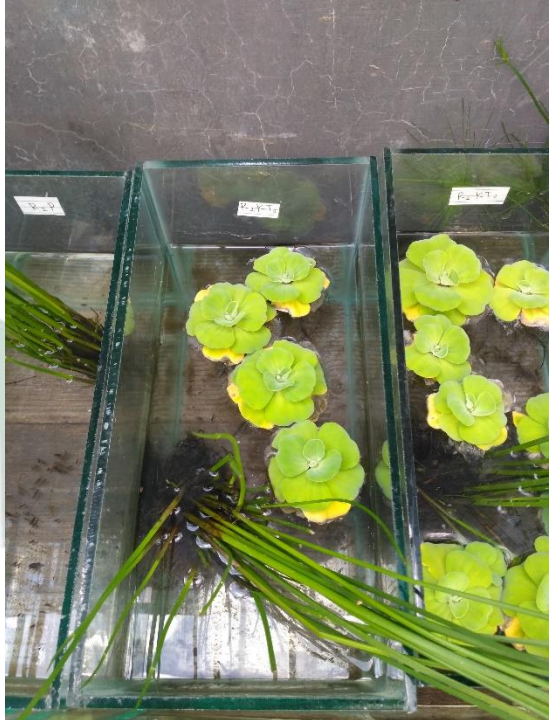
Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
8	R1 P <sub>1</sub>	<p>Tanaman papyrus pada pengujian hari kedelapan masih terlihat sama saja dengan hari sebelumnya.</p> <p>Pengujian pH air mengalami peurunan, menunjukkan angka 4.3 dengan suhu 27° C.</p>		R2 P <sub>1</sub>	<p>Tanaman papyrus pada pengujian hari kedelapan masih terlihat sama saja dengan hari sebelumnya.</p> <p>Pengujian pH air mengalami peurunan, menunjukkan angka 4.3 dengan suhu 27° C.</p>	
9	R1 K <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tidak mengalami perubahan masih sama dengan hari kedelapan.</p> <p>Pengujian pH air mengalami peurunan, menunjukkan angka 4.8 dengan suhu 27° C.</p>		R2 K <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tidak mengalami perubahan masih sama dengan hari kedelapan.</p> <p>Pengujian pH air mengalami kenaikan, menunjukkan angka 4.8 dengan suhu 27° C.</p>	





Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
9	R1 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Tanaman kayu apu pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tidak mengalami perubahan masih sama dengan hari kedelapan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari terakhir pengujian tidak terdapat perubahan secara signifikan hanya bagian ujung daun tanaman papyrus yang sedikit mengering.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.6 dan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>1</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Tanaman kayu apu pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tidak mengalami perubahan masih sama dengan hari kedelapan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari terakhir pengujian tidak terdapat perubahan secara signifikan hanya bagian ujung daun tanaman papyrus yang mengering.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan 4.9 dan suhu 27° C.</p>	

Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
9	R1 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Tanaman kayu apu pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tidak mengalami perubahan masih sama dengan hari kedelapan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari terakhir pengujian tidak terdapat perubahan secara signifikan hanya bagian ujung daun tanaman papyrus yang sedikit mengering.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.6 dan suhu 27° C.</p>		R2 KT <sub>2</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Tanaman kayu apu pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tidak mengalami perubahan masih sama dengan hari kedelapan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari terakhir pengujian tidak terdapat perubahan secara signifikan hanya bagian ujung daun tanaman papyrus yang mengering.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan penurunan menjadi 4.6 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok</p>	



Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
					dan proses oksidasi pembentukan asam sulfat.  Suhu 27° C.	
9	R1 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Tanaman kayu apu pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tidak mengalami perubahan masih sama dengan hari kedelapan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari terakhir pengujian tidak terdapat perubahan secara signifikan hanya bagian ujung daun tanaman papyrus yang mengering.</p> <p>Pengujian pH air mengalami penurunan, menunjukkan angka 4.4 Hal ini disebabkan oleh sisa polutan yang terdapat pada air diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan lain karena terjadinya pembusukan bagian tanaman oleh kerja mikroba (Widowati dalam Sari &amp; Sari, 2018). Menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H<sup>+</sup> yang meningkat oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok dan proses</p>		R2 KT <sub>3</sub>	<p>Tanaman kayu apu:</p> <p>Tanaman kayu apu pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tidak mengalami perubahan masih sama dengan hari kedelapan.</p> <p>Tanaman papyrus:</p> <p>Pada hari terakhir pengujian tidak terdapat perubahan secara signifikan hanya bagian ujung daun tanaman papyrus yang mengering.</p> <p>Pengujian pH air menunjukkan angka 4.6 dengan suhu 27° C.</p>	

Waktu (Hari)	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi	Reaktor	Keadaan Tanaman pada saat pengujian	Dokumentasi
		oksidasi pembentukan asam sulfat. Suhu 27° C.				
9	R1 P <sub>1</sub>	Pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tanaman papyrus tidak mengalami perubahan batang masih kaku berwarna hijau tua segar. Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.3 dan suhu 27° C.		R2 P <sub>1</sub>	Pada pengujian hari terakhir hari kesembilan tanaman papyrus tidak mengalami perubahan batang masih kaku berwarna hijau tua segar. Pengujian pH air menunjukkan angka tetap 4.3 dan suhu 27° C.	

Sumber: Hasil Analisa, 2020







Berdasarkan Tabel 4.4 dapat menunjukkan bahwa selama proses fitoremediasi pH air pada hari pertama menurun namun pada hari kelima sampai kesembilan berangsur-angsur mengalami kenaikan, hal ini diduga karena konsentrasi logam berat Fe yang terlarut juga berangsur-angsur menurun sehingga lama kontak waktu juga mempengaruhi keadaan pH air. pH pada air limbah yang mengandung logam Fe bermacam-macam, ada yang dalam keadaan pH asam, normal dan basa, namun umumnya air limbah yang berasal dari kegiatan industri pertambangan pH air limbah dalam keadaan asam yaitu antara 4,0- 5,7, sedangkan untuk pH air limbah pada industri batik keadaan normal yaitu 6,0 dan pH air limbah elektroplating menunjukkan pH dalam keadaan basa yaitu antara 7,0-8,0. Senyawa Fe yang membentuk asam biasanya berupa  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , sedangkan senyawa Fe yang membentuk basa adalah oksidasi logam yang bereaksi dengan air sehingga menghasilkan basa seperti  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  dan senyawa Fe yang membentuk normal atau netral adalah oksidasi basa yang bereaksi dengan larutan asam sehingga menghasilkan garam dan air seperti  $2 \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ .

Pada penelitian ini pH air limbah artifisial dalam keadaan asam yaitu 5,4 dimana uji fitoremediasi nilai pH secara tidak langsung mempengaruhi pertumbuhan tanaman, sebab pada nilai pH yang kurang dari 4 sebagian jenis tanaman air (agen fitoremediasi) dapat mengalami kematian karena tidak dapat beradaptasi dengan pH yang terlalu rendah (Kadaria, 2017).

Menurut Spellman dalam Rahadian dkk., (2017) pH yang baik untuk tanaman adalah pH berkisar antara 6-8 namun, pada penelitian ini pH berkisar antara 4-5 yang artinya pH dalam kondisi yang tidak baik bagi kehidupan tanaman. Dapat dilihat dari mekanisme toleransi tanaman yang memungkinkan untuk tanaman papyrus dapat bertahan pada pH dibawah 4 karena pada reaktor R<sub>2</sub> P<sub>1</sub> pada hari kelima pH air menunjukkan 4 namun tanaman papyrus tidak mengalami perubahan fisik, sedangkan untuk tanaman kayu apu menunjukkan perubahan fisik seperti kerontokan akar yang menyebabkan terjadinya pembusukan. Dimana menurut Widowati dalam Rahadian dkk., (2017) pembusukan tanaman dapat menyebabkan pH air menurun karena meningkatkan ion H<sup>+</sup>.

Dari hasil pengukuran nilai pH yang didapatkan pada penelitian ini, tanaman kayu apu dan papyrus masih dapat tumbuh dan bertahan hidup hingga hari akhir pengujian fitoremediasi. Hal tersebut membuktikan bahwa dengan pH berkisar 4,0-5,7 masih dapat ditoleransi oleh tanaman kayu apu dan papyrus.

#### **4.3.2 Suhu Air**

Suhu merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap aktivitas biota atau mikroorganisme yang ada didalam air. Suhu juga dapat mempengaruhi kadar oksigen didalam air. Nilai suhu dapat diukur menggunakan alat termometer, pengukuran suhu pada penelitian ini dilakukan setiap hari selama proses fitoremediasi berlangsung. Adapun nilai suhu yang

didapatkan selama proses penelitian disajikan pada Tabel 4.5 Berikut ini:

**Tabel 4. 5** Hasil Pengukuran Suhu Air

<b>Hari ke-</b>	<b>Suhu Air dalam Reaktor</b>
H-0	30°C
H-1	28°C
H-2	28°C
H-3	27°C
H-4	27°C
H-5	28°C
H-6	27°C
H-7	27°C
H-8	27°C
H-9	27°C

Sumber: Hasil Analisa, 2020

Pada gambar 4.1 suhu air selama penelitian berlangsung yaitu 27°C dan mengalami kenaikan hanya pada hari kelima menjadi 28°C, dimana hari yang lainnya tetap pada suhu 27°C. Suhu air dalam reaktor dipengaruhi oleh suhu dalam *greenhouse* dan paparan sinar matahari. Suhu dapat dikatakan mempengaruhi pertumbuhan tanaman karena menurut Sitoresmi & Purwanti, (2015) suhu dapat mempengaruhi reaksi penguapan, dimana setiap kenaikan suhu 10°C dapat menaikkan reaksi penguapan (evaporasi air limbah) 2 sampai 3 kali lebih





#### **4.4 Efisiensi Removal Logam Berat Besi (Fe) oleh Tanaman Kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) dan Papyrus (*Cyperus papyrus L.*).**

Proses fitoremediasi pada penelitian ini dilakukan secara batch menggunakan dua variasi kombinasi jumlah tanaman kayu apu dan papyrus serta variasi waktu pengambilan sampel sehingga dapat memanfaatkan semaksimal mungkin kemampuan tanaman kayu apu dan papyrus dalam menyerap logam berat terlarut pada limbah artifisial. Pada dasarnya setiap tanaman memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap kandungan logam berat Fe. Kemampuan tanaman kayu apu dan papyrus dalam mengakumulasi logam berat dapat dilihat dari menurunnya konsentrasi logam berat Fe yang terlarut pada air.

Tanaman kayu apu dan papyrus melakukan mekanisme fitoremediasi secara rhizofiltrasi dan fitoekstraksi. Fitoekstraksi adalah proses tanaman menarik logam berat disekitarnya sehingga terakumulasi disekitar akar tanaman yang kemudian akan ditranslokasikan ke organ lain tanaman. Mekanisme secara rhizofiltrasi yang terjadi pada tanaman uji adalah proses pengendapan logam berat yang dilakukan oleh akar yang kemudian didistribusikan ke seluruh bagian tanaman (Raras & Yusuf, 2015). Tanaman kayu apu dan papyrus dapat meremediasi air tercemar logam Fe dengan konsentrasi sebesar 15ppm hingga mencapai baku mutu PERGUB JATIM No 72 Tahun 2013. Tanaman kayu apu dan papyrus terbukti dapat menurunkan konsentrasi logam berat Fe dengan baik hal ini dapat dibuktikan pada besarnya Efisiensi removal dari tanaman kayu apu dan papyrus yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini:

**Tabel 4. 6 Efisiensi Removal Logam Berat Besi (Fe)**

Reaktor	Efisiensi Removal Logam Berat Fe (%) / Hari						
	Hari ke 0 (mg/L)	Hari ke 3		Hari ke 6		Hari ke 9	
		Nilai penurunan (mg/L)	Efisiensi penurunan (%)	Nilai penurunan (mg/L)	Efisiensi penurunan (%)	Nilai penurunan (mg/L)	Efisiensi penurunan (%)
K <sub>1</sub>	15,17	3,3585	77,86 %	1,208	64,03 %	0,5645	53,26 %
KT <sub>1</sub>	15,17	3,5295	76,73 %	1,4398	59,21 %	0,6535	54,61 %
KT <sub>2</sub>	15,17	2,9355	80,64 %	1,0503	64,22 %	0,389	62,96 %
KT <sub>3</sub>	15,17	3,533	76,71 %	2,5325	28,31 %	1,5585	38,46 %
P <sub>1</sub>	15,17	5,1005	66,37 %	3,5585	30,23 %	3,235	9,09 %

Hasil Analisa, 2020

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat kemampuan tanaman kayu apu dan papyrus dalam menyerap logam berat Fe sebesar 15 ppm selama sembilan hari. Nilai efisiensi removal pada reaktor K<sub>1</sub> (16 kayu apu) pada hari ketiga sebesar 77,86%, pada hari keenam sebesar 64,03%, dan pada hari kesembilan sebesar 53,26%. Nilai efisiensi pada reaktor KT<sub>1</sub> (kombinasi 12 kayu apu dan 4 tanaman papyrus) hari ketiga sebesar 76,73%, pada hari keenam sebesar 59,21%, dan pada hari kesembilan sebesar 54,61%. Nilai efisiensi pada reaktor KT<sub>2</sub> (kombinasi 8 buah tanaman kayu apu dan 8 buah tanaman papyrus) hari ketiga sebesar 80,64%, pada hari keenam sebesar 64,22 %, dan pada hari kesembilan sebesar 62,96 %. Nilai efisiensi pada reaktor KT<sub>3</sub> (kombinasi 4 tanaman kayu apu dan 12 tanaman papyrus) hari ketiga sebesar 76,71 %, pada hari keenam sebesar 28,31 %, dan pada hari kesembilan sebesar 38,46 %. Nilai efisiensi pada reaktor P<sub>1</sub> (16 buah tanaman papyrus) hari ketiga sebesar 66,37 %, pada hari keenam sebesar 30,23 %, dan pada hari kesembilan sebesar 9,09 %. Kombinasi tanaman KT3 (tanaman kayu apu berjumlah 8 buah dan tanaman papyrus berjumlah 8 buah) menjadi variasi

yang menghasilkan nilai penurunan paling tinggi atau efisiensi removal paling banyak dari pada variasi jumlah tanaman yang lain pada hari uji ke 3, ke 6 hingga ke 9. Pada hari keenam nilai penurunan konsentrasi Fe pada semua reaktor uji telah mencapai baku mutu PERGUB Jatim yaitu sebesar 5 mg/L. Variasi jumlah tanaman yang menghasilkan nilai penurunan paling kecil terjadi pada variasi P1 dengan efisiensi removal pada hari ke 9 hanya sebesar 9,09 %. Penurunan efisiensi removal tanaman berkaitan dengan titik jenuh tanaman, dimana tanaman mampu menyerap logam berat Fe dengan maksimal pada hari ketiga. Setelah itu tanaman mengalami penurunan efisiensi removal.

Menurut Mangkoediharjo & Samudro (2010) nilai efisiensi semakin menurun seiring dengan bertambahnya hari pemaparan logam berat. Hal ini terkait dengan kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat dan memanfaatkannya untuk pertumbuhan. Logam berat yang diberikan dapat membantu mempercepat pertumbuhan tanaman namun pada dosis tertentu dapat menghambat pertumbuhan tanaman bahkan dapat menyebabkan kematian pada tanaman karena sebagai bentuk respon negatif tanaman.

Besi (Fe) merupakan mikro esensial yang dapat diserap tanaman dalam bentuk khelat (ikatan logam dengan bahan organik), sehingga pupuk Fe dibuat dalam bentuk khelat. Fe dalam tanaman sekitar 80% terdapat pada bagian kloroplas atau sitoplasma. Fungsi Fe untuk tanaman antara sebagai penyusun klorofil, protein, enzim, dan berperan dalam perkembangan kloroplas. Fungsi lain Fe untuk tanaman yaitu sebagai pelaksana pemindahan elektron pada proses metabolisme. Mikro esensial yang dibutuhkan tanaman relatif dalam jumlah kecil (beberapa ppm dari berat kering tanaman). Meskipun mikro esensial yang dibutuhkan tanaman sangat sedikit akan tetapi peran dan fungsinya sangat penting dan tidak dapat digantikan oleh unsur lain (Jovita, 2018).



Besarnya efisiensi removal pada pengolahan air limbah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jenis tanaman dan sistem pengolahan yang dilakukan. Pada penelitian ini menggunakan dua jenis tanaman sehingga mempengaruhi efisiensi removal, hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Haryanti & Budianta, (2013) menyebutkan bahwa setiap tanaman memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menyerap logam berat. Sesuai dengan hasil uji konsentrasi logam berat Fe pada reaktor uji K<sub>1</sub> (16 tanaman kayu apu) dan P<sub>1</sub> (16 tanaman papyrus), menjadikan kemampuan tanaman kayu apu dalam menyerap logam berat Fe lebih baik dibandingkan dengan tanaman papyrus. Namun pada kombinasi tanaman KT<sub>2</sub> (8 tanaman kayu apu dan 8 tanaman papyrus) membuktikan bahwa kombinasi tanaman tersebut lebih baik dalam menyerap logam berat Fe daripada menggunakan satu jenis tanaman.

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) menurut Agustina, (2006) dapat dibagi menjadi tiga proses dimana tiga proses tersebut termasuk pada mekanisme fitoremediasi rhizofiltrasi dan fitoekstraksi. Penyerapan logam oleh akar tanaman, setelah logam dibawa masuk kedalam akar selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut (*xylem* dan *floem*) ke bagian tumbuhan lain agar meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat (berbagai molekul khelat yang berfungsi untuk mengikat logam dihasilkan oleh tanaman). Lokasi logam pada tumbuhan untuk mencegah keracunan logam terhadap sel tumbuhan, tumbuhan memiliki toleransi detoksifikasi seperti menimbun logam pada bagian tanaman tertentu yang kemudian jika telah mengalami kejenuhan akan membusuk.

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat Fe yang terjadi pada tanaman papyrus menurut Sitoresmi & Purwanti, (2015) yaitu tanaman akan menstabilkan polutan yang ada dalam perairan dengan menggunakan bantuan

mikroorganisme yang terdapat pada sekitar akar sehingga menjadi tidak berbahaya yang selanjutnya akan diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan melalui jaringan pengangkut (*xylem* dan *floem*) kemudian akan dikumpulkan dan disimpan pada bagian batang dan daun papyrus untuk diuapkan menjadi unsur yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Proses mekanisme fitoremediasi dari tanaman papyrus termasuk dalam mekanisme fitoekstraksi dan fitovolatilisasi.

#### **4.5 Analisa Perbedaan Variasi Jumlah Tanaman dan Kombinasi Tanaman terhadap Kemampuan Tanaman dalam Mengurangi Konsentrasi Besi (Fe) Terlarut**

Setelah dilakukannya penelitian, maka selanjutnya data hasil penelitian ditranslasikan menggunakan analisa statistik parametrik uji *twoway* anova, sebelum menggunakan *twoway* anova dilakukan uji normalitas *Shapiro wilk*. Berikut ini hasil uji statistik:

##### **4.5.1 Uji Normalitas Shapiro-Wilk**

Uji normalitas ini merupakan uji pendahuluan yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah data yang digunakan pada penelitian ini normal atau tidak. Pengambilan keputusan uji normalitas menurut Santoso, (2018) yaitu:

1. Jika nilai signifikan atau nilai probabilitas < 0.05, maka distribusi data dianggap tidak normal.
2. Jika nilai signifikan atau nilai probabilitas > 0.05, maka distribusi data dianggap normal.

Adapun hasil uji normalitas *Shapiro wilk* pada data penelitian ini disajikan pada Tabel berikut ini:

**Tabel 4. 7** Hasil Uji Normalitas Shapiro Wilk

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	statistik	df	Sig	Statistic	df	Sig
Standardized Residual for Nilai	117	30	.200	.933	30	.059
*. This is a lower bound of the true significance						
a. Lilliefors Significance Correction						

Sumber: Hasil Analisa Statistik, 2020

Dari Tabel 4.6 hasil uji normalitas *Shapiro wilk* tersebut menunjukkan nilai signifikan atau nilai probabilitas variabel menunjukkan  $> 0.05$  yang artinya bahwa variabel data penelitian ini berdistribusi normal, sehingga dapat dilanjutkan dengan uji homogenitas.

#### 4.5.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan bertujuan untuk mengetahui apakah data penelitian ini homogen atau tidak. Adapun pengambilan keputusan dalam uji homogenitas sama dengan pengambilan keputusan dalam uji normalitas, yaitu:

1. Jika nilai signifikan atau nilai probabilitas  $< 0.05$ , maka distribusi data dianggap tidak normal.

2. Jika nilai signifikansi atau nilai probabilitas > 0.05, maka distribusi data dianggap normal.

Berikut ini Tabel 4.7 hasil uji homogenitas:

**Tabel 4. 8** Hasil Uji Homogenitas

Levene's Test of Equality of Error Variances <sup>a,b</sup>					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Nilai	Based on Mean	8483098307225664000 000000000000.000	14	15	.000
	Based on Median	8483098307225664000 000000000000.000	14	15	.000
	Based on Median and with adjusted df	8483098307225664000 000000000000.000	14	3.700	.000
	Based on trimmed mean	3424853353848871000 000000000000.000	14	15	.000
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variabel is equal across groups. <sup>a,b</sup>					
a. Dependent variable: nilai					
b. Design: Intercept + hari + variasi * hari					

Sumber: Hasil Analisa Statistik, 2020

Dari Tabel 4.7 tersebut menunjukkan nilai signifikan atau nilai probabilitas variabel menunjukkan < 0.05 yang artinya bahwa variabel data penelitian ini berdistribusi tidak homogen, sehingga dapat digantikan menggunakan uji *Friedman*.











## DAFTAR PUSTAKA

- Agusetyadevy, I., Sumiyati, S., & Sutrisno, E. (2010). *Fitoremediasi Limbah Yang Mengandung Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr)*. 8.
- Agustina, N. (2006). *Fitoremediasi Logam Berat Khrom (Cr) Oleh Tanaman Air Kiapu (Pistia Stratiotes)*.
- Ali, A. (2015). *Bioteknologi Bioremediasi Krom Toksik Berbasis Enzimatis*.
- Anam, M. M., Kurniati, E., & Suharto, B. (2013). *Penurunan Kandungan Logam Pb Dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (Equisetum Hyemale) Dan Zeolit*. 1(2), 17.
- Artiyani, A. (2011). *Penurunan Kadar N-Total Dan P-Total Pada Limbah Cair Tahu Dengan Metode Fitoremediasi Aliran Batch Dan Kontinyu Menggunakan Tanaman Hydrilla Verticillata*. 6.
- Audiyanti, S., Hasan, Z., & Hamdani, H. (2019). *The Effectiveness Of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) And Water Lettuce (Pistia Stratiotes) As Agent Of Phytoremediation Citarum River Waste*. 1, 6.
- Cahyani, M., Andarani, P., & Zaman, B. (2016). *Penurunan Konsentrasi Nikel (Ni) Total Dan Cod Menggunakan Tumbuhan Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Pada Limbah Cair Elektroplating*.
- Dewi, N. (2015). *Uji Antagonis Bakteri Rizosfer Pisang Terhadap Cendawan Patogen Rhizoctonia Solani*.
- Fachrurozi, M., Utami, L. B., & Suryani, D. (2014). *Pengaruh Variasi Biomassa Pistia Stratiotes L. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, Dan TSS Limbah Cair Tahu Di Dusun Klero Sleman Yogyakarta*. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Journal Of Public Health)*, 4(1).
- <https://doi.org/10.12928/Kemas.V4i1.1100>

- Farihatin, N. (2018). *Pengembangan Petunjuk Praktikum Struktur Anatomi Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Yang Terinduksi Limbah Cair Tapioka Materi Jaringan Tumbuhan Kelas Xi Ma Salafiyah.*
- Fitriana, A. N. (2018). *Efektifitas Penggunaan Jenis Tanaman ((Kayu Apu (Pistia Stratiotes), Melati Air (Echinodorus Palaefolius)) Dan Lama Kontak Terhadap Kadar Fosfat Pada Limbah Cair Laundry.*
- Galadima, I., Mohammed, S., Abubakar, A., & Abdulkarim, A. A. (2018). *Phytoremediation: A Preeminent Alternative Method For Bioremoval Of Heavy Metals From Environment.*
- Hapsari, S., Zaman, B., & Andarani, P. (2016). *Dalam Menyisihkan Kromium Total (Cr-T) Dan Cod Limbah Elektroplating.* 5(4), 9.
- Haryanti, D., & Budianta, D. (2013). *Potensi Beberapa Jenis Tanaman Hias Sebagai Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Dalam Tanah.* 2, 7.
- Haryono, G., & Sugiarto, B. (2010). *Ekstrak Bahan Alam Sebagai Inhibitor Korosi.* 6.
- Indah, L. S., Hendrarto, B., & Soedarsono, P. (2014). *(Skala Laboratorium).* 3, 6.
- Jamil, A., Darundiati, Y. H., & Dewanti, N. A. Y. (2016). *Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak Dan Jumlah Tanaman.* *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4, 8.
- Jovita, D. (2018). *Lahan Pertanian Dengan Metode Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrofotometry (Icp-Oes).* 68.
- Kassayea, G., Gabbiyea, N., & Alemub, A. (2017). *Phytoremediation Of Chromium From Tannery Wastewater Using Local Plant Species.*
- Lembaga Bahtsul Masail (Lbm) Pbnu, Lembaga Penanggulangan Bencana Dan Peribahan Iklim (Lpbi) Pbnu, & Siroj, Ma, Prof. Dr. K. S. A. (T.T.). *Fiqih Penanggulangan Sampah Plastik.*
- Lestari, F. C. (2009). *Uji Bredenkamp, Hildebrand, Kubinger Dan Friedman.* 9(2), 8.
- Mahyatun, W. O., Samang, L., & Zubair, A. (2016). *Fitoremediasi Logam Cd Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok Dan Kayu Apu Dengan Aliran Kontinyu.*



- Mangkoediharjo, S., & Samudro, G. (2010). *Fitoteknologi Terapan* (Edisi Pertama). Graha Ilmu.
- Mardalena, & Napoleo, F. A. (2018). *The Absorption Of Iron (Fe) And Manganese (Mn) From Coal Mining Wastewater With Phytoremediation Technique Using Floating Fern (Salvinia Natans), Water Lettuce (Pistia Stratiotes) And Water Hyacinth (Eichornia Crassipes)*.
- Martin, A. N. (2019). *Fakultas Pertanian Universitas Lampung Bandar Lampung 2019*. 48.
- Masnesia, A. (2017). *Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Metode Presipitasi Dan Fitoremediasi*.
- Matrosya, M. A. (2020). *Perbandingan Efektivitas Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes) Dan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dalam Mereduksi Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Serta Meningkatkan Nilai Derajat Keasaman (Ph) Pada Limbah Logam Balai Labkesda Prov. Banten*.
- Mazumdar, K., & Das, S. (2014). *Phytoremediation Of Pb, Zn, Fe, And Mg With 25 Wetland Plant Species From A Paper Mill Contaminated Site In North East India*.
- Mirawati, B., -, M., & Sedijani, P. (2016). Efektifitas Beberapa Tanaman Hias Dalam Menyerap Timbal (Pb) Di Udara. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 2(1). <https://doi.org/10.29303/jppipa.v2i1.32>
- Nilna Putri, A. D., Utomo, Y., & K. Kusumaningrum, I. (2013). *Analisis Kandungan Besi Di Badan Air Dan Sedimen Sungai Surabaya*.
- Novita, E., Hermawan, A. A. G., & Wahyuningsih, S. (2019). Komparasi Proses Fitoremediasi Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Tiga Jenis Tanaman Air. *Jurnal Agroteknologi*, 13(01), 16. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v13i01.8000>
- Nur, F. (2013). Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1), 74–83. <https://doi.org/10.24252/bio.v1i1.450>

- Nurfitri, A., & Rachmatiah, I. S. (2010). *Pengaruh Kerapatan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Terhadap Serapan Logam Cu Pada Air. Jurnal Teknik Lingkungan.*
- Nurfitriana, F. (2019). *Fitoremediasi Air Tercemar Timbal (Pb) Menggun Akan Tanaman Apu-Apu (Pistia Stratiotes) Dengan Sistem Kontinyu.*
- Oktavia, Z., & Dewanti, N. A. Y. (2016). Pengaruh Variasi Lama Kontak Fitoremediasi Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) Terhadap Kadar Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair Home Industry Batik “X” Magelang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4, 9.
- Oktiana, B., Sanjoko, H., & Choirul, A. (2019). *Sachet Kulit Pisang Sebagai Media Penurunan Kandungan Besi (Fe) Air Sumur Gali Dusun Tempursari.*
- Putri, T. A. (2016). *Kandungan Besi (Fe) Pada Air Sumur Dan Gangguan Kesehatan Masyarakat Di Sepanjang Sungai Porong Desa Tambak Kalisogo Kecamatan Jabon Sidoarjo.*
- Qurrotu A’yun, D. (2015). *Penurunan Konsentrasi Ammonium (Nh4+) Pada Limbah Laundry Dengan Tumbuhan Cattail (Typha Angustifolia) Dan Kayu Apu (Pistia Stratiotes).*
- Rachmatiah, I., & Nurfitri, A. (2010). *Pengaruh Kerapatan Tanaman Kayu Apu Terhadap Serapan Logam Cu Pada Air.*
- Rahadian, R., Sutrisno, E., & Sumiyati, S. (2017). *Efisiensi Penurunan Cod Dan Tss Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu.* 6(3), 8.
- Rahmawati, A. N. (2018). *Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Singkong Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dalam Air.* 66.
- Raissa, D. G., & Voijant Tangahu, B. (2017). *Fitoremediasi Air Yang Tercemar Limbah Laundry Dengan Menggunakan Kayu Apu (Pistia Stratiotes).* 6(2), 5.
- Raras, D. P., & Yusuf, B. (2015). *Analisis Kandungan Ion Logam Berat (Fe, Cd, Cu Dan Pb) Pada Tanaman Apu-Apu (Pistia Stratiotes L) Dengan Menggunakan Variasi Waktu.* 4.

