



Kadar BOD Dan COD Air Lindi Dengan Perlakuan Fitoremediasi Tanaman Teratai (*Nymphaea Sp.*) Dan Apu-Apu (*Pistia Stratiotes L.*) (Studi Kasus TPA Jetis Purworejo)

Eni Muryani , Ika Wahyuning Widiarti

Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta

E-mail: eni.muryani@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Fitoremediasi merupakan salah satu alternatif untuk mengolah air lindi. Penelitian ini menggunakan air lindi dari Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Jetis di Kabupaten Purworejo. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis perubahan kadar BOD dan COD air lindi dengan fitoremediasi menggunakan tanaman teratai dan apu-apu serta melakukan pengamatan terhadap kondisi tanaman.

Metode penelitian dilakukan secara eksperimen laboratorium. Alat dan bahan yang digunakan adalah reaktor kapasitas 50 L, 455 L air lindi, 12 tanaman teratai, 120 tanaman apu-apu, 12 kg ijuk dan 120 kg kerikil. Ada 25 reaktor yang terdiri dari 1 reaktor kontrol, 12 reaktor untuk waktu tinggal 3 hari (H3), dan 12 reaktor untuk waktu tinggal 7 hari (H7). Masing-masing reaktor tersebut berisi air lindi sebanyak 15-20 L yang terdiri dari perlakuan tanaman saja (T atau A) dan tanaman dengan ijuk dan kerikil (TIK atau AIK). Tiap reaktor diukur kadar BOD dan COD dengan 3 ulangan. Kondisi tanaman diamati tiap hari. Perubahan kadar BOD dan COD tiap perlakuan disajikan dalam grafik dan dianalisis secara deskriptif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kadar BOD dan COD tiap perlakuan lebih rendah daripada kontrol, meskipun perbedaannya relatif kecil. Reaktor berkode AIK-H7 paling optimal dalam menurunkan kadar BOD, meskipun persentase penurunannya hanya 24,11%. Reaktor berkode TIK-H7 mampu menurunkan kadar COD menjadi 576 mg/L, persentase penurunan mencapai 23,6%. Kondisi tanaman pada hari ke-3 menunjukkan daun teratai sudah mulai ada yang busuk, sedangkan daun apu-apu sudah mulai kering dan menguning. Pada hari ke-7 seluruh tanaman mati. Fitoremediasi dengan variasi tanaman teratai, apu-apu, ijuk, dan kerikil dalam penelitian ini belum maksimal dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada air lindi TPA Jetis.

Kata kunci: air lindi; BOD-COD; fitoremediasi, teratai (*Nymphaea sp.*); apu-apu (*Pistia stratiotes L.*)

ABSTRACT

Phytoremediation is one of alternative methods to remove pollutant in leachate. Leachate from Jetis Landfill was applied in this research. The purposes of the study were to analysis the change of BOD and COD concentration using Nymphaea sp. and Pistia stratiotes L. and to observe plants condition.

The research was carried out by laboratory experiment. Tools and materials used in this research were reactors with 50 L capacity, 455 L of leachate, 12 pcs of Nymphaea sp., 120 pcs of Pistia stratiotes L., 12 kg of palm fiber, and 120 kg of gravel. There were 25 reactors consisted of 1 control reactor, 12 reactors with 3 day of resident time (H3) and 12 reactors with 7 days of resident time (H7). Each of reactors is filled with 15-20 L of leachate which consisted of only plant reactors (T or A) and palm fiber, gravel and plant reactors (TIK or AIK). Each reactor was tested the BOD and COD. Plant conditions were observed daily. Changes of BOD and COD levels for each treatment presented in graphs then analysed descriptively.

The results showed that BOD and COD levels of each reactor were lower than control. The difference was relatively small. The AIK-H7 reactor was the most optimum in reducing BOD levels, although the percentage of reduction only 24.11%. In TIK-H7, the COD level was 576 mg/L, the reduction percentage reached 23,6%. The plant observation, found on the 3rd day of treatment, the leaves of the Nymphaea sp. have begun to decay, while the leaves of the Pistia stratiotes L. have started to dry and turn yellow. On the 7th day the whole plant was died. Phytoremediation with Nymphaea sp. and Pistia stratiotes L. in this research was not maximum to remove BOD and COD in leachate of Jetis Landfill.

Keywords: BOD-COD; leachate; *Nymphaea sp.*; *Pistia stratiotes L.*; phytoremediation

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59 Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, mengemukakan bahwa Tempat Pemrosesan Akhir Sampah yang selanjutnya disingkat TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Cairan pekat dari tumpukan sampah di TPA dikenal dengan istilah *leachate* atau air lindi. TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Gunung Tumpeng atau yang lebih dikenal dengan TPA Jetis, Purworejo beroperasi dengan sistem *controlled landfill*. Tumpukan sampah organik yang ada di TPA Jetis akan terurai dan menghasilkan air lindi yang berbau busuk dan berpotensi mencemari tanah, airtanah, dan sungai di sekitarnya apabila tidak dikelola dengan baik. Selama ini air lindi TPA Jetis diolah menggunakan metode fisik dan biologi, dengan tiga kolam pengolahan yakni kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi. Metode ini dinilai masih belum optimal karena masih ada parameter yang belum memenuhi baku mutu, yakni BOD dengan nilai 208,68 mg/L dan COD dengan nilai 563,27 mg/L. Fitoremediasi dapat dijadikan alternatif pengolahan air lindi untuk membantu mengatasi belum optimalnya metode pengolahan air lindi di TPA Jetis.

Air lindi merupakan air dengan konsentrasi kandungan organik yang tinggi yang terbentuk dalam tumpukan sampah akibat adanya air hujan yang masuk ke dalam tumpukan sampah dan akibat proses dekomposisi sampah oleh mikroorganisme. Air lindi merupakan cairan yang sangat berbahaya karena selain kandungan organiknya tinggi, juga dapat mengandung unsur logam (seperti Zn, Hg). Jika tidak ditangani dengan baik, air lindi dapat masuk ke dalam tanah sekitar *landfill* kemudian dapat mencemari air tanah di sekitar TPA. Komposisi dan karakteristik lindi sangat bervariasi dari waktu ke waktu bergantung pada aktivitas secara fisik, kimia dan biologis yang terjadi dalam sampah. Dalam Soemirat (1996) disebutkan bahwa *leacheate* merupakan larutan yang terbentuk akibat adanya infiltrasi dan atau perkolasi dari limpasan air hujan yang mengenai tumpukan sampah yang telah membusuk. Kandungan air lindi berupa zat tersuspensi yang sangat halus dan di dalamnya banyak kandungan mikrobia patogen. Bahan-bahan terlarut dari sampah tersebut terekstraksi dan berbau. Kandungan BOD dalam air lindi dapat sangat tinggi, mencapai 3.500 mg/L, sehingga merupakan agen potensial bagi pencemaran air permukaan maupun airtanah. Cairan ini harus diolah dalam suatu unit pengolahan aerobik atau anaerobik sebelum dibuang ke lingkungan. Tingginya kadar COD dan ammonia pada air lindi (dapat mencapai ribuan mg/L), sehingga pengolahan air lindi harus dilakukan dengan baik (Machdar, 2008). Lindi timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk materi organik hasil proses dekomposisi secara biologi. Umumnya, lindi mempunyai COD dan BOD yang tinggi, TDS, TOC, senyawa nitrogen, dan berbagai jenis logam berat. *Landfill* yang modern pada bagian dasarnya diberi lapisan tanah yang relatif kedap air atau mempunyai permeabilitas yang sangat rendah seperti lempung dan sistem *underdrain* yang baik, tetapi potensi untuk mencemari airtanah tinggi. Di Indonesia, dimana rata-rata curah hujannya tinggi, maka potensi atau resiko pencemaran tanah dan airtanah akibat *landfill* akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan daerah curah hujan sedang atau rendah (Notodarmojo, 2005).

Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan menggunakan tumbuhan, baik berupa pohon, rumput-rumputan maupun tanaman air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi, atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Chaney *et al*, 1995 dalam Hidayati, 2005). Metode fitoremediasi adalah salah satu cara yang digunakan untuk pengolahan lindi yang memanfaatkan simbiosis mikroorganisme dalam tanah dan akar tanaman (Usman dan Santosa, 2014). Sistem kerjanya sebagai biofilter yang dapat mengurangi karbon organik, nitrogen, fosfor, logam berat, dan senyawa organik beracun dalam media air. Beberapa tanaman air terbukti mampu mengolah lindi, antara lain: *Phragmites mauritanus*, *Typha latifolia*, *Nymphaea spontanea*, *Cyperus papyrus*, *Typha angustifolia*, *Limnocharis flava*, *Eichornia crasipes*, *Pistia stratiotes*, *Cyperus haspan*, *Scripus sumatrensis*, *Scirpus mucronatus*, *Phragmites australis*, dan *Glyceria maxima* (Fajariyah dan Mangkoedihardjo, 2017). Berdasarkan pengamatan di sekitar lokasi penelitian, tanaman teratai (*Nymphaea* sp.) dan apu-apu (*Pistia stratiotes*) cukup mudah ditemukan, sehingga dapat dijadikan alternatif dalam pengolahan air lindi dengan metode fitoremediasi. Selain itu, penelitian yang membandingkan antara kedua tanaman tersebut untuk mengolah air lindi belum pernah dilakukan.

Hasil penelitian Dewi dan Rahmawati (2015) dengan menggunakan limbah cair domestik menunjukkan bahwa tanaman teratai (*Nymphaea* sp.) dapat menurunkan kandungan pencemar dalam air limbah dengan waktu tinggal sampai dengan 7 hari. Tanaman teratai (*Nymphaea* sp.) berperan sebagai biofilter limbah cair dimana tempat terjadinya proses penyaringan dan penyerapan oleh akar dan batang tanaman air, serta proses pertukaran dan penyerapan ion tanaman air. Dalam penelitian ini didapatkan hasil pH 7,1: efisiensi BOD 86,7%, COD 84,2%, KMnO_4 86,9%, Amoniak 43,5%, TSS 70,7%. Pada hasil penelitian Nindra dan Hartini (2015) didapatkan bahwa kadar BOD limbah cair industri tahu yang semula bernilai 1280 mg/L mampu diturunkan menjadi 745,72 mg/L pada hari ke-6 dan menjadi 57,42 mg/L pada hari ke-12 dengan tanaman teratai. Dalam penelitian Padmaningrum, dkk (2014) memperlihatkan tanaman teratai mampu menurunkan kadar BOD dan COD limbah laundry dalam waktu tinggal 7 hari. Kadar BOD awal 43,2 mg/L turun menjadi 7,566 pada hari ke-7. Kadar COD turun dari 1682,66 mg/L menjadi 750,948 mg/L setelah 7 hari. Penelitian

Sembiring dan Muntalif (2011) menunjukkan bahwa tanaman *Cyperus papyrus* dengan media *reaktor wetland* yang menggunakan ijuk, kerikil, dan tanah dapat menurunkan kadar BOD, COD NTK, TP dan TSS air lindi hingga lebih dari 90% dalam waktu 4 hari.

Apu-apu atau dikenal juga dengan sebutan kayu apu (*Pistia stratiotes*) adalah satu-satunya marga Pistia (Safitri, 2009). Apu-apu sebagai tumbuhan air memiliki potensi dalam menurunkan kadar pencemar air dengan kadar organik tinggi. Umumnya, tanaman apu dijumpai pada perairan tenang seperti kolam, danau, dan sawah. Tumbuhan ini dapat dijadikan sebagai fitoremediator bagi berbagai jenis limbah seperti limbah batik, limbah tahu, bahkan limbah dengan kandungan logam berat (Irwanto dan Barorah, 2017). Tanaman apu-apu dapat menurunkan parameter suhu sebesar 16,9%, sulfat sebesar 43,1% dan fosfat sebesar 41,9% dalam limbah detergen (Hermawati dkk, 2005). Kesimpulan penelitian Sari dan Sari (2018) menyebutkan bahwa media penyaring dan tanaman apu-apu dapat mempengaruhi parameter kekeruhan, TSS, pH, dan DO pada air lindi. Perlakuan paling efektif dalam menurunkan polutan dalam air lindi dalam percobaan tersebut adalah dengan media penyaring PMK (Podzolik Merah Kuning), zeolit, dan tanaman apu-apu.

Parameter yang digunakan untuk mengukur kadar bahan pencemar antara lain BOD, COD, TSS, MPN Coliform dan sebagainya (Agnes dan Azizah, 2005). Parameter baku air lindi terdiri atas pH, BOD, COD, TSS, N-total, Merkuri, dan Kadmium (Permen LHK No.59/2016). Secara fisik, air lindi dari TPA Jetis terlihat keruh, berwarna coklat kehitaman. Dalam penelitian ini, parameter yang dibahas adalah BOD dan COD karena dianggap sebagai parameter kunci dalam upaya pengolahan air lindi. BOD (*biochemical oxygen demand*) adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai bahan organik dalam kondisi aerobik. COD (*chemical oxygen demand*) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik secara kimia yang terkandung dalam air.

Berdasarkan penelaahan hasil-hasil penelitian terdahulu, maka dalam penelitian ini diuji coba dua jenis tanaman yakni teratai (*Nymphaea* sp.) dan apu-apu (*Pistia stratiotes* L.) sebagai tanaman air untuk memperbaiki kualitas air lindi dari TPA Jetis. Apabila berhasil, harapannya dapat diterapkan pada TPA Jetis Purworejo, sehingga dapat mewujudkan cita-cita TPA tersebut untuk menjadi TPA dengan konsep ekologis. Bercermin dari penelitian Sembiring dan Muntalif (2011), dalam penelitian fitoremediasi ini juga digunakan media ijuk dan kerikil yang dikombinasi dengan tanaman teratai dan tanaman apu-apu, dengan harapan dapat menurunkan kadar BOD dan COD dalam air lindi TPA Jetis dalam waktu kurang dari 7 hari (1 minggu).

1.2. Tujuan

Berbagai penelitian terdahulu yang terurai dalam latar belakang tersebut maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis perubahan kadar BOD air lindi dengan perlakuan tanaman teratai (*Nymphaea* sp.) dan apu-apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam waktu 3 hari dan 7 hari;
2. Menganalisis perubahan kadar COD air lindi dengan perlakuan tanaman teratai (*Nymphaea* sp.) dan apu-apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam waktu 3 hari dan 7 hari;
3. Mengamati kondisi tanaman teratai (*Nymphaea* sp.) dan apu-apu (*Pistia stratiotes* L.) selama percobaan.

II. METODE

2.1. Alat dan Bahan

Bahan utama dari percobaan fitoremediasi dalam penelitian ini menggunakan air lindi yang diambil dari saluran inlet TPA Jetis. TPA ini terletak pada perbatasan antara Desa Jetis Kecamatan Loano dan Desa Pakem, Kecamatan Gebang, Purworejo, Jawa Tengah. Air lindi yang diambil sebanyak 13 jerigen, masing-masing 35 liter, sehingga total air lindi yang digunakan sebanyak 455 liter. Tanaman yang dipakai adalah teratai (*Nymphaea* sp.) umur 6 bulan dengan jumlah daun 6-8 helai. Total tanaman teratai yang digunakan sebanyak 12 kuntum. Total tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) yang digunakan sebanyak 120 kuntum, umur lebih kurang 3 bulan. Reaktor yang digunakan untuk percobaan berupa baskom besar dengan ukuran diameter 50 cm dan tinggi 30 cm, sebanyak 25 buah. Satu reaktor untuk kontrol, 12 reaktor untuk waktu tinggal 3 hari (H3), dan 12 reaktor untuk waktu tinggal 7 hari (H7). Masing-masing reaktor tersebut berisi air lindi sebanyak 15-20 L yang terdiri dari perlakuan tanaman saja (T atau A) dan tanaman dengan ijuk dan kerikil (TIK atau AIK). Pada tiap reaktor diberi lubang dan klem untuk pengambilan sampel air lindi. Alat dan bahan lainnya yang dipakai yaitu: ijuk, kerikil, termometer, pH indikator, gayung, ember 10 L, timbangan, masker, sarung tangan, botol BOD 300 mL, dan botol sampel plastik 500 mL. Rangkuman alat dan bahan yang digunakan tersaji pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Alat dan Bahan yang Digunakan pada Penelitian

Alat/Bahan	Jumlah/Volume/Ukuran	Keterangan/Fungsi
Jerigen biru, tebal	13 buah, kapasitas @ 35 L	Menampung lindi
Baskom besar, tebal, warna hitam dengan klem	25 buah @ d: 50 cm; t: 30cm	Sebagai reaktor/wadah percobaan: 1 untuk kontrol, 12 untuk teratai, 12 untuk apu-apu
Baskom besar biasa	12 buah @ d: 50 cm; t: 30cm	Wadah untuk aklimatisasi
Air Lindi	±455 L @ reaktor 15-20 L	Objek penelitian
Tanaman teratai (<i>Nymphaea</i> sp.)	12 kuntum @ kuntum umur 6 bulan, berdaun 6-8 helai, diameter daun 10-15 cm	Tanaman sebagai variasi percobaan. Tiap reaktor berkode T dan TIK berisi 1 kuntum teratai
Tanaman apu-apu (<i>Pistia stratiotes</i> L.)	120 kuntum @ umur 3 bulan, diameter per kuntum 10-15 cm	Tanaman sebagai variasi percobaan. Tiap reaktor berkode A dan AIK berisi 10 kuntum apu-apu
Ijuk	12 kg, 1 kg per reaktor dengan kode TIK dan AIK	Media filter, sebagai variasi percobaan
Kerikil	120 kg, 10 kg per reaktor dengan kode TIK dan AIK	Media filter, sebagai variasi percobaan
Termometer raksa	1 buah	Mengukur suhu harian airlindi selama percobaan
pH indikator “merck”	1 kotak	Mengukur pH harian airlindi selama percobaan
Ember	Minimal 2 buah @ 15-20 L	Mengukur volume lindi yang dituang ke reaktor, menimbang kerikil
Gayung dan Corong	@ 1 buah	Mengambil lindi dari inlet ke jerigen
Timbangan gantung	1 buah	Menimbang kerikil
Timbangan buah/daging	1 buah	Menimbang ijuk
Masker	secukupnya	Sebagai alat pelindung wajah peneliti
Sarung tangan karet	secukupnya	Sebagai alat pelindung tangan peneliti
Botol sampel BOD	25 buah @ 300 mL	Wadah sampel air lindi yang akan dianalisis parameter BOD-nya
Botol sampel plastik	25 buah @ 500 mL	Wadah sampel air lindi yang akan dianalisis parameter COD-nya

2.2. Cara Kerja

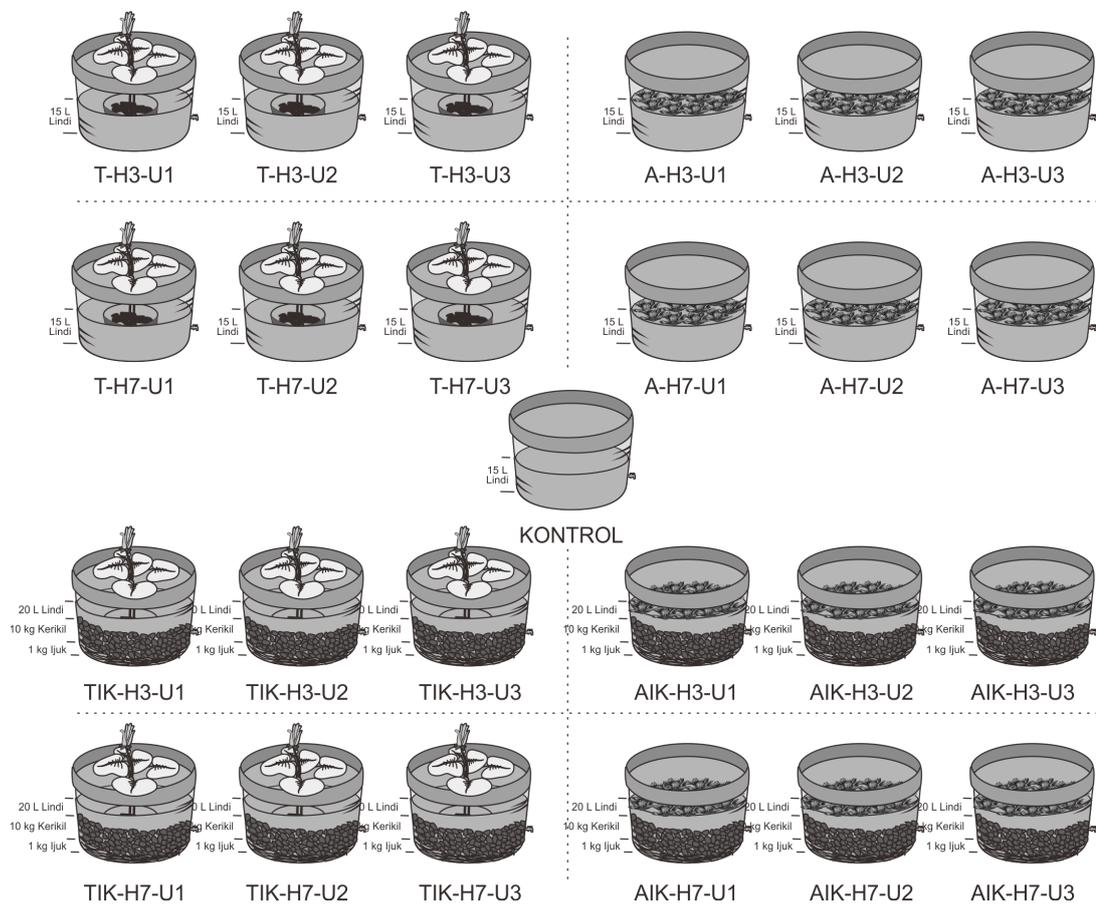
Reaktor percobaan terdiri dari 5 kelompok sebagai variabel terikat dengan kode: K (reaktor kontrol hanya diberi air lindi); T-H3 dan T-H7 (perlakuan dengan teratai, waktu tinggal 3 dan 7 hari); A-H3 dan A-H7 (perlakuan dengan apu-apu, waktu tinggal 3 dan 7 hari); TIK-H3 dan TIK-H7 (perlakuan dengan teratai+ijuk+kerikil, waktu tinggal 3 dan 7 hari); AIK-H3 dan AIK-H7 (perlakuan dengan apu-apu+ijuk+kerikil, waktu tinggal 3 dan 7 hari). Tiap reaktor diisi dengan air lindi sebanyak 15-20 liter. Reaktor-reaktor tersebut diletakkan di tempat terbuka, terpapar sinar matahari. Ijuk yang digunakan 1 kg di bagian dasar reaktor dan di atasnya diletakkan kerikil sebanyak 10 kg untuk tiap reaktor yang berkode AIK dan TIK. Ijuk berfungsi sebagai penyaring atau filtrasi padatan tersuspensi pada lindi (Sembiring dan Muntalif, 2011). Kerikil berfungsi untuk menghindari penyumbatan pada pipa outlet (Metcalf and Eddy, 1991). Tanaman teratai yang digunakan pada tiap reaktor dengan kode T dan TIK sebanyak 1 kuntum berumur kurang lebih 6 bulan, sedangkan tanaman apu-apu yang digunakan pada tiap reaktor berkode A dan AIK sebanyak 10 kuntum umur 3 bulan. Air lindi dimasukkan ke reaktor dan didiamkan sesuai dengan variasi waktu tinggal yaitu 3 hari dan 7 hari. Masing-masing kelompok reaktor dibuat 3 ulangan, kecuali reaktor kontrol hanya 1 saja. Ulangan disimbolkan dengan U1, U2, dan U3. Kelompok dan variasi perlakuan rancangan percobaan disajikan pada **Tabel 2**.

Penelitian diawali dengan proses aklimatisasi tanaman teratai dan apu-apu selama 1 minggu. Aklimatisasi dilakukan dengan meletakkan tanaman tersebut pada baskom-baskom berisi air sumur di lokasi percobaan. Tujuan proses aklimatisasi agar tanaman dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru. Pengkondisian dilakukan selama satu minggu dengan asumsi tanaman telah dianggap mampu beradaptasi dengan lingkungan barunya. Sementara itu, 25 buah reaktor disiapkan dengan susunan dan kode seperti pada **Gambar 1**. Setelah 1 minggu aklimatisasi, tanaman dipindahkan pada reaktor yang telah diberi media dan air lindi, sesuai dengan kode yang telah ditentukan. Pengukuran kadar BOD dan COD pada tiap reaktor dilakukan pada hari ke-3 dan hari ke-7. Selain itu juga dilakukan pengukuran suhu dan pH harian air lindi serta pengamatan terhadap kondisi tanaman setiap hari selama 7 hari. Hasil perubahan kadar BOD dan COD tiap perlakuan disajikan dalam grafik dan dianalisis secara deskriptif. Parameter uji fokus pada

kadar BOD dan COD sebagai variabel bebas. Uji BOD dan COD dilakukan di laboratorium Balai PIPBPJK (Pengujian, Informasi Permukiman dan Bangunan dan Pengembangan Jasa Konstruksi) Yogyakarta.

Tabel 2. Variasi Rancangan Percobaan Fitoremediasi Air Lindi

Kelompok Reaktor	Volume Lindi, Jumlah dan Jenis Tanaman, Media	Waktu Tenggat (hari)	Ulangan (kali)	Kode Sampel
1	15 L air lindi saja, sebagai Kontrol	3 dan 7	1	K-H3; K-H7
2	15 L air lindi + 1 kuntum teratai	3	3	T-H3-U1;T-H3-U2;T-H3-U3
		7	3	T-H7-U1;T-H7-U2;T-H7-U3
3	10 kg kerikil + 1 kg ijuk + 20 L air lindi + 1 kuntum teratai	3	3	TIK-H3-U1;TIK-H3-U2;TIK-H3-U3
		7	3	TIK-H7-U1;TIK-H7-U2;TIK-H7-U3
4	15 L air lindi + 10 kuntum apu	3	3	A-H3-U1;A-H3-U2;A-H3-U3
		7	3	A-H7-U1;A-H7-U2;A-H7-U3
5	10 kg kerikil + 1 kg ijuk + 20 L air lindi + 10 kuntum apu	3	3	AIK-H3-U1;AIK-H3-U2;AIK-H3-U3
		7	3	AIK-H7-U1;AIK-H7-U2;AIK-H7-U3

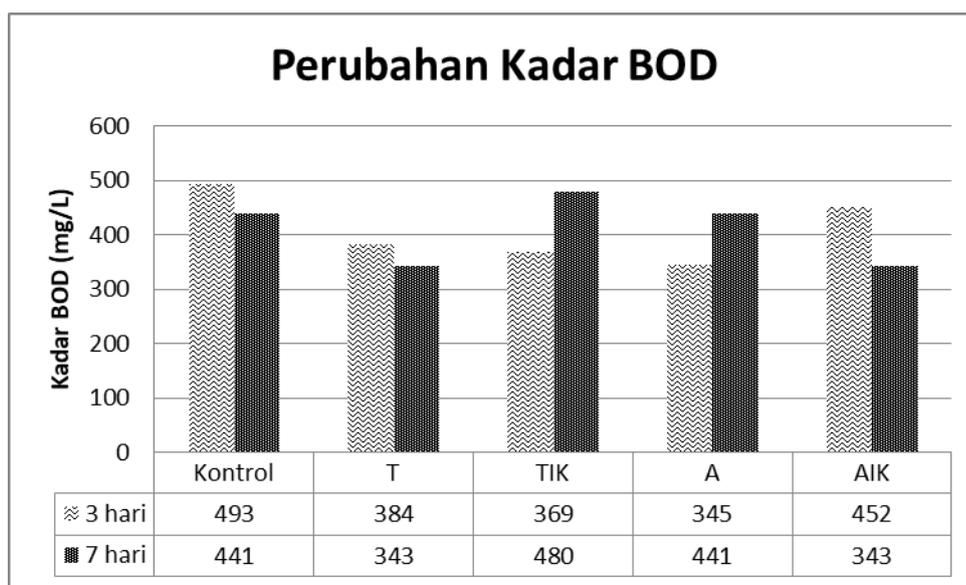


Gambar 1. Sketsa Peletakan Reaktor saat Percobaan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perubahan Kadar BOD

BOD (*biochemical oxygen demand*) menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air. Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut. Jika konsumsi oksigen tinggi yang ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut, maka berarti kandungan bahan-bahan buangan yang membutuhkan oksigen tinggi (Budiman, 2005). Berikut merupakan grafik yang menunjukkan perubahan kadar BOD pada berbagai perlakuan pada air lindi TPA Jetis.



Gambar 2. Grafik Perubahan Kadar BOD pada berbagai perlakuan air lindi TPA Jetis (Sumber: hasil uji lab dan analisis peneliti, 2018)

Pada **Gambar 2** dapat dilihat bahwa pada saat hari ke-3, terdapat selisih kadar BOD pada reaktor yang diberi perlakuan dibandingkan dengan kontrol. Kadar BOD setiap perlakuan di hari ke-3 lebih rendah daripada kontrol. BOD pada reaktor kontrol pada hari ke-3 perlakuan (K-H3) menunjukkan nilai sebesar 493 mg/L. Dengan perlakuan tanaman teratai saja selama 3 hari (T-H3), kadar BOD menjadi 384 mg/L, sedangkan dengan tanaman teratai yang diberi media ijuk dan kerikil setelah 3 hari (TIK-H3) kadar BOD lebih rendah lagi, yakni 369 mg/L. Reaktor air lindi yang diberi tanaman apu-apu dalam waktu 3 hari (A-H3) menunjukkan hasil paling bagus di antara lainnya, kadar BOD-nya paling rendah, yakni 345 mg/L. Penambahan media ijuk dan kerikil pada reaktor tanaman apu-apu setelah 3 hari perlakuan (AIK-H3) hanya sedikit menunjukkan penurunan kadar BOD, yakni menjadi 452 mg/L. Pada hari ke-3 semua variasi perlakuan fitoremediasi belum menurunkan kadar BOD hingga di bawah baku mutu. Baku mutu lindi berdasarkan Lampiran I Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/ Menlhk/ Setjen/ kum.1/7/2016 tentang baku mutu lindi bagi usaha dan/ atau kegiatan pemrosesan akhir sampah untuk BOD adalah 150 mg/L.

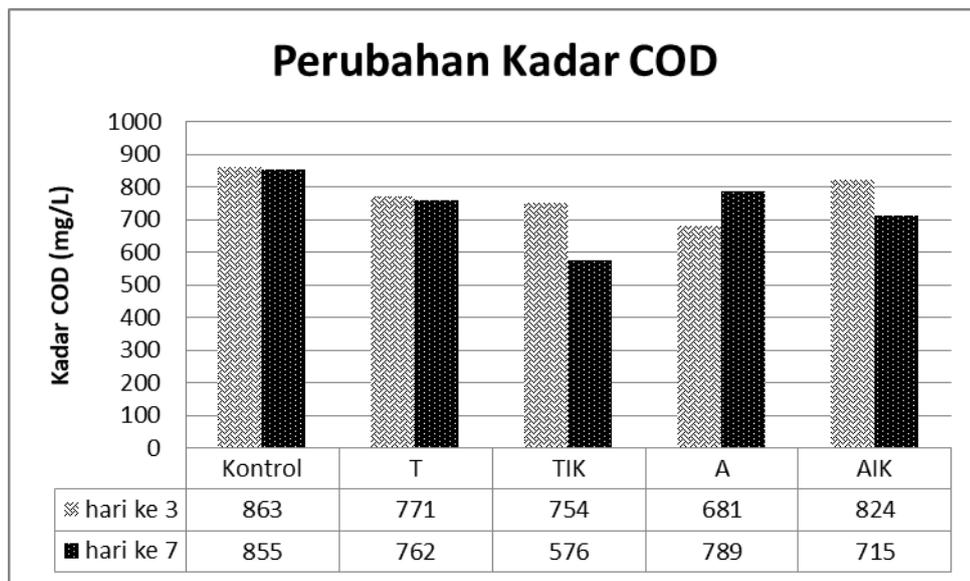
Nilai BOD reaktor kontrol hari ke-7 (K-H7) mengalami penurunan menjadi 441 mg/L. Hal ini menunjukkan terjadi degradasi alami di dalam air lindi meskipun tanpa perlakuan apapun. Pada reaktor yang berisi tanaman teratai saja pada hari ke-7 (T-H7) juga terjadi penurunan kadar BOD menjadi 343 mg/L. Hasil yang tidak diharapkan terjadi pada reaktor dengan 7 hari perlakuan teratai, ijuk, dan kerikil (TIK-H7). Kadar BOD menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor kontrol hari ke-7 (K-H7) maupun dibandingkan dengan perlakuan tanaman teratai yang diberi media ijuk dan kerikil setelah 3 hari (TIK-H3). Kadar BOD hari ke-7 dengan perlakuan teratai, ijuk, dan kerikil (TIK-H7) menjadi 480 mg/L. Hal yang sama terjadi pada reaktor yang berisi air lindi dan tanaman apu-apu dengan waktu tinggal 7 hari (A-H7). Pada reaktor ini kadar BOD rata-rata dari 3 ulangan menjadi 441 mg/L. Kadar ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kadar BOD pada hari ke-3 dengan perlakuan yang sama. Hal ini terjadi karena adanya proses mikrobiologis penguraian limbah organik yang biasanya meningkatkan fluktuasi DO, BOD, dan COD (Kelly, 1997). Kadar BOD pada reaktor dengan perlakuan apu-apu 7 hari (A-H7) nilainya sama dengan kadar BOD kontrol hari ke-7 (K-H7). Penambahan media ijuk dan kerikil pada reaktor tanaman apu-apu hari ke-7 (AIK-H7) menunjukkan penurunan kadar BOD yang cukup besar, yakni menjadi 343 mg/L, dibandingkan dengan kadar BOD hari ke-3 pada perlakuan yang sama (AIK-H3). Kadar BOD rata-rata pada reaktor dengan kode AIK-H7 nilainya sama dengan kadar BOD pada reaktor dengan kode T-H7. Pada hari ke-7, kadar BOD di semua perlakuan masih di melebihi baku mutu.

Dilihat dari sisi perubahan kadar BOD, maka perlakuan air lindi dengan tanaman teratai hari ke-7 (T-H7) dan dengan perlakuan tanaman apu-apu-ijuk-kerikil pada hari ke-7 (AIK-H7) paling optimal dalam menurunkan kadar BOD di percobaan ini, meskipun persentase penurunannya dibanding kondisi hari ke-3 hanya berkisar 10,67 - 24,11%. Pada penelitian terdahulu dengan menggunakan air limbah domestik, tanaman teratai mampu menurunkan kadar BOD dengan efektifitas mencapai 86,7% pada hari ke-7 (Dewi dan Rahmawati, 2015). Perbedaan ini terjadi karena karakteristik air lindi berbeda dengan air limbah domestik. Kadar BOD awal dari sampel limbah domestik pada penelitian tersebut tergolong rendah, yakni hanya 73 mg/L, dapat turun mencapai 9,7 mg/L dengan perlakuan tanaman teratai selama 7 hari.

Terdapat respon fisiologis daun, tangkai, dan akar tanaman teratai maupun tanaman apu-apu terhadap air lindi. Respon ini mempengaruhi besarnya transpirasi dan besarnya penyerapan polutan yang terdapat pada air lindi. Batang, cabang, dan daun tanaman akuatik yang berada di dalam genangan air akan memperluas area mikroorganisme melekat. Di bagian bawah permukaan, akar tanaman mengeluarkan oksigen sehingga akan terbentuk zona akar dan zona oksigen, sehingga terjadi absorpsi berbagai parameter limbah antara lain BOD dan COD (Dewi dan Rahmawati 2015). Tanaman teratai (*Nymphaea* sp.) maupun apu-apu (*Pistia stratiotes* L.) berperan sebagai biofilter limbah cair. Terjadi proses penyerapan oleh akar dan batang tanaman, proses pertukaran dan proses penyerapan ion tanaman air. Akar tanaman apu-apu mengambang di permukaan, sedangkan akar tanaman teratai menancap ke dasar sedimen. Penambahan media ijuk dan kerikil pada reaktor tanaman apu-apu membantu proses filtrasi dan sedimentasi lebih optimal sehingga kadar BOD turun lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan lain.

3.2. Perubahan Kadar COD

COD (*chemical oxygen demand*) menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air lindi dapat teroksidasi melalui reaksi kimia, baik bahan yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi. **Gambar 3** di bawah ini menunjukkan grafik perubahan kadar COD pada berbagai perlakuan air lindi TPA Jetis.



Gambar 3. Grafik Perubahan Kadar COD pada berbagai perlakuan air lindi TPA Jetis (Sumber: hasil uji lab dan analisis peneliti, 2018)

Nilai COD pada reaktor kontrol di hari ke-3 (K-H3) perlakuan menunjukkan nilai sebesar 863 mg/L. Dengan perlakuan tanaman teratai saja, kadar COD menjadi 771 mg/L, sedangkan dengan perlakuan tanaman teratai yang diberi media ijuk dan kerikil 3 hari (TIK-H3) kadar COD sedikit lebih rendah lagi, yakni 754 mg/L. Reaktor air lindi yang diberi tanaman apu-apu pada hari ke-3 (AIK-H3) menunjukkan hasil paling bagus di antara perlakuan lainnya pada hari yang sama, kadar COD mencapai 681 mg/L. Penambahan media ijuk dan kerikil pada reaktor tanaman apu-apu setelah 3 hari perlakuan (AIK-H3) hanya sedikit menunjukkan penurunan kadar COD dibandingkan kontrol, yakni 824 mg/L. Penurunan kadar COD terjadi karena adanya kerja akar dari tanaman, aktivitas mikrobia sekitar akar, dan kerja filtrasi dari ijuk dan kerikil (Dewi dan Rahmawati, 2015; Metting, 1996; Sembiring dan Muntalif, 2011).

Grafik perubahan kadar COD yang ditunjukkan pada **Gambar 3** memperlihatkan bahwa pada hari ke-7 di setiap perlakuan, terjadi penurunan kadar COD, kecuali reaktor dengan perlakuan tanaman apu-apu 7 hari (A-H7). Pada

percobaan hari ke-7, nilai COD reaktor kontrol (K-H7) mengalami penurunan menjadi 855 mg/L. Hal ini menunjukkan terjadi reaksi alami di dalam air lindi meskipun tanpa perlakuan apapun. Reaktor yang berisi tanaman teratai 7 hari perlakuan (T-H7) mengalami penurunan kadar COD menjadi 762 mg/L. Pada reaktor dengan perlakuan teratai yang dialasi oleh media ijuk dan kerikil selama 7 hari (TIK-H7), kadar COD menjadi 576 mg/L. Pada perlakuan ini persentase penurunan kadar COD mencapai 23,6%, tertinggi dibanding perlakuan lainnya. Seperti halnya kadar BOD, hal yang sama terjadi pada reaktor yang berisi air lindi dan tanaman apu-apu saja. Terjadi peningkatan kembali kadar COD di hari ke-7 dengan perlakuan tanaman apu-apu (A-H7). Pada reaktor ini, kadar COD rata-rata dari 3 ulangan menjadi 789 mg/L dari sebelumnya 681 mg/L pada hari ke-3. Penambahan media ijuk dan kerikil pada reaktor tanaman apu-apu selama 7 hari perlakuan (AIK-H7) menunjukkan penurunan kadar COD menjadi 715 mg/L.

Pada hari ke-3 maupun hari ke-7 perlakuan fitoremediasi di semua variasi belum menurunkan kadar COD hingga di bawah baku mutu. Baku mutu baku mutu lindi berdasarkan Lampiran I Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/ Menlhk/ Setjen/ kum.1/7/2016 tentang baku mutu lindi bagi usaha dan/ atau kegiatan pemrosesan akhir sampah untuk kadar COD adalah 300 mg/L. Penurunan konsentrasi COD dengan adanya perlakuan tanaman disebabkan karena pada daerah akar terjadi degradasi materi organik secara aerob dan anaerob selama air lindi melewati rizosfer (daerah sekitar akar) dari tanaman. Materi organik akan terdekomposisi akibat aktivitas mikroba. Nitrogen akan teridentifikasi jika tersedia zat organik yang cukup, dan akan teradsorpsi oleh media dan tanaman (Muzanah dan Soewondo, 2008 dalam Herlambang dan Hendriyanto, 2015).

Tingginya kadar BOD dan COD dalam air lindi mengindikasikan bahwa air lindi tersebut mengandung bahan organik yang merupakan hasil dekomposisi timbunan sampah. Menurut Tchobanoglous (1993), TPA yang berumur tua (di atas 10 tahun) memiliki karakteristik BOD antara 100 – 200 mg/L dan COD antara 100 – 500 mg/L. Hal ini sesuai dengan TPA Jetis yang telah beroperasi selama 21 tahun, sehingga kadar BOD nya mencapai >400mg/L dan kadar COD >700 mg/L. Berdasarkan rasio nilai BOD/COD yaitu 0,45 maka air lindi di TPA Jetis memiliki tingkat biodegradabilitas tinggi. Nilai rasio pada range 0,4 – 0,6 merupakan indikasi bahwa bahan organik dalam lindi mudah terdegradasi (Tchobanoglous, 1993). Hal ini dibuktikan dengan menurunnya kadar BOD dan COD setelah 7 hari perlakuan dengan percobaan fitoremediasi menggunakan tanaman teratai dan apu-apu yang dikombinasi dengan media ijuk dan kerikil, meskipun belum mencapai nilai yang diharapkan.

3.3. Kondisi Tanaman

Tanaman teratai (*Nymphaea sp.*) yang digunakan dalam percobaan diperoleh dari toko tanaman hias, terdiri atas berbagai spesies yang memiliki umur yang seragam, yakni lebih kurang 6 bulan. Perbedaan jenis spesies teratai yang digunakan menjadi kelemahan dalam penelitian ini, karena seharusnya teratai yang digunakan dari jenis/spesies yang sama. Dalam usia ini, diameter daun mencapai 10-15 cm dengan jumlah helai daun 6-8, dan sudah muncul 1-2 bunga. Bunga teratai yang digunakan ada yang berwarna kuning, ungu, dan putih. Daun berbentuk lingkaran dengan tepi sedikit bergerigi, warna daun hijau segar. Batang sebagian besar tenggelam di dalam air, namun ada beberapa yang muncul di atas permukaan air, tinggi batang berkisar 30 cm dengan diameter 2 mm. Akar tanaman teratai melekat pada media substrat berupa lumpur dan air.

Tanaman apu merupakan jenis gulma air yang sangat cepat tumbuh dan mempunyai daya adaptasi terhadap lingkungan baru yang sangat tinggi. Hidup mengapung di kolam atau danau. Dalam suatu ekosistem, pertumbuhan tanaman apu dapat dianggap sebagai gangguan kronis dan sulit dikendalikan (Tjitrosoepomo, 2000). Tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes* L.) yang digunakan dalam percobaan diambil dari kolam ikan milik desa di daerah peneliti. Tanaman apu berbentuk roset (daun daun tebal berwarna hijau muda, kenyal, dan lembut, sepiantas membentuk pahatan seperti mahkota bunga mawar). Tanaman apu-apu dipilih yang lebih kurang seragam. Satu kuntum tanaman apu-apu yang digunakan memiliki ukuran diameter 10-15 cm yang terdiri dari 8-10 helai daun. Panjang masing-masing daun 5-8 cm dan lebar daun 2-3 cm. Daun apu-apu ditutupi oleh rambut-rambut tipis seperti bulu berwarna putih. Akar terletak di bawah roset daun, panjang akar hingga 15cm. Diperkirakan umur tanaman apu-apu mencapai 3 bulan.

Hasil pengamatan tanaman pada hari ke-3 perlakuan memperlihatkan daun tanaman teratai sudah mulai ada yang busuk, sedangkan daun-daun tanaman apu-apu sudah mulai kering dan menguning. Daun-daun yang membusuk di dalam air lindi dapat menambah nilai BOD dan COD (Kelly, 1997). Mulai hari ke-6 tanaman mulai banyak yang mati, dan pada hari-ke 7 seluruh tanaman dapat dikatakan mati. Hal inilah yang menjadikan tidak terjadi penurunan kadar BOD maupun COD yang cukup berarti pada pengecekan hari ke-7. Hasil pengamatan rinci tanaman dari hari pertama hingga hari ke-7 disajikan pada **Tabel 3** Lampiran 1. Pada hari ke-7, tanaman sudah tidak bekerja lagi karena mati. Tanaman telah mencapai titik jenuh atau batas toleransi dalam menerima polutan dalam air lindi. Kemungkinan ada senyawa polutan ekstrim yang ada dalam air lindi yang diuji coba, yang memang tidak diujikan. Kemungkinan senyawa tersebut masuk dalam kelompok bahan berbahaya dan beracun atau ada kandungan logam berat yang cukup tinggi (Kelly, 1997).

Pada umumnya tumbuhan akan menyerap unsur hara yang larut dalam media tumbuhnya (air atau tanah) melalui akar-akarnya. Akar pada *Nymphaea sp.* memiliki fungsi utama sebagai jangkar, pelekat, atau pencengkeram. Absorpsi lebih banyak dilakukan oleh batang dan daun (Marianto, 2001). Semua tumbuhan mempunyai kemampuan menyerap, sehingga memungkinkan terjadinya pergerakan ion menembus membran sel, mulai dari unsur yang berlimpah sampai dengan unsur yang sangat kecil. Unsur-unsur tersebut dibutuhkan tanaman dan dapat terakumulasi dalam tubuh tanaman (Wolverton dan Mcknown, 1975 dalam Herlambang dan Hendriyanto, 2015). Secara alami, sesungguhnya tumbuhan memiliki beberapa mekanisme dalam menghadapi bahan pencemar yang ada dalam media tumbuhnya, yakni: penghindaran, eksklusi, penanggulangan, dan toleransi (Corseuil dan Moreno, 2000 dalam Rossiana dkk, 2007).

Fitoremediasi merupakan istilah yang dikhususkan pada proses bioremediasi yang dilakukan oleh tumbuhan. Salah satu mekanisme tanaman dalam melakukan fitoremediasi adalah memfasilitasi aktivitas mikrobia di sekitar akar tanaman melalui pembentukan asosiasi. Hal ini dikenal dengan istilah fitostimulasi. Untuk mengoptimalkan proses fitoremediasi, tumbuhan menstimulasi aktivitas mikrobia, menarik mikrobia supaya mendekati akar, mengeluarkan eksudat akar yang umumnya berupa protein, asam-asam organik atau senyawa lain yang diperlukan mikrobia (Metting, 1996). Akibat dari adanya fitostimulasi tersebut adalah terjadi akumulasi bahan pencemar di daerah sekitar akar. Hal ini dikenal dengan istilah fitoakumulasi. Pada tanaman air seperti teratai dan apu-apu yang digunakan pada percoaan ini, dapat terjadi rizofiltrasi, yakni proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar. Media ijuk dan kerikil juga membantu proses filtrasi senyawa pencemar dalam suatu bahan. Zat-zat kontaminan pada akar yang terjerap pada akar yang stabil memempel pada rizosfer sehingga tidak terbawa aliran air dalam media. Proses ini disebut fitostabilisasi. Selanjutnya, pada air lindi dengan kandungan bahan organik yang tinggi akan terjadi fitodegradasi yakni perombakan senyawa dalam bahan pencemar menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya. Pada tanaman air, proses ini lebih spesifik diistilahkan dengan rhizodegradasi karena dominannya kerja akar dan enzim mikrobia di sekitar akar dalam mendegradasi senyawa pencemar dalam air lindi. Dari hasil pengamatan juga terlihat semakin hari air lindi yang ada dalam reaktor mengalami pengurangan, ditandai dengan adanya bekas seperti kerak yang mengering pada bagian tepi dalam baskom. Hal ini mengindikasikan terjadinya proses evapotranspirasi pada tanaman dan menyebabkan air menguap ke atmosfer. Ketika terjadi penguapan tersebut, ada senyawa dalam air lindi yang ikut terlepas ke udara. Hal ini dikenal dengan istilah fitovolatilisasi (Kelly, 1997).

Perubahan kondisi tanaman teratai dan apu-apu dari kondisi segar sampai mati menunjukkan adanya respon tanaman terhadap air lindi. Peneliti juga menyiapkan kontrol pada baskom-baskom lain yang hanya diisi air sumur dan tanaman. Kondisi teratai dan apu-apu pada baskom yang berisi air sumur tetap segar selama berminggu-minggu. Hal ini untuk memperlihatkan bahwa kandungan dalam air lindi menyebabkan proses fisiologis dari tanaman terganggu hingga menyebabkan kematian perlahan-lahan pada tanaman. Perubahan kondisi fisiologis tanaman ditunjukkan dengan mulai menguning dan mengering daun tanaman apu-apu. Reaksi fisiologis tanaman teratai ditunjukkan dengan bunga yang layu dan daun yang membusuk sebelum akhirnya mati.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan:

1. Perlakuan air lindi dengan tanaman teratai hari ke-7 (T-H7) dan dengan perlakuan tanaman apu-apu-ijuk-kerikil pada hari ke-7 (AIK-H7) paling optimal dalam menurunkan kadar BOD di percobaan ini. Persentase penurunan kadar BOD mencapai 24,11%.
2. Reaktor dengan 7 hari perlakuan tanaman teratai, ijuk, dan kerikil (TIK-H7) mampu menurunkan kadar COD paling optimal. Persentase penurunan COD mencapai 23,6%.
3. Kondisi tanaman pada hari ke-3 perlakuan menunjukkan daun teratai sudah mulai ada yang busuk, sedangkan daun apu-apu sudah mulai kering dan menguning. Pada hari ke-7 seluruh tanaman mati. Kondisi tanaman tersebut menunjukkan bahwa perlu penggantian tanaman fitoremediator pada hari ke-3.

Saran:

Berdasarkan kesimpulan nomor 1 dan 2, perlu adanya penelitian lanjutan yang menggunakan kombinasi 2 tanaman fitoremediator yakni teratai dan apu-apu agar lebih efektif dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada air lindi.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami persembahkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) UPN "Veteran" Yogyakarta karena penelitian ini dibiayai sepenuhnya dari dana hibah penelitian dasar internal dengan nomor perjanjian pelaksanaan penelitian Nomor B/ 02-01/UN.62/V/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Agnes, A. R., R. Azizah. 2005. Perbedaan Kadar BOD, COD, TSS, dan MPN Coliform Pada Air Limbah Sebelum dan Sesudah Pengolahan di RSUD Nganjuk. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. Vol 2 No 1. Hal: 97-110.
- Budiman, C. 2005. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Dewi, Y.S. dan Rahmawati, A. 2015. Efektivitas Tanaman Teratai (*Nymphaea* sp.) dalam Menguraikan Limbah Cair Domestik Berdasarkan Lama Waktu Perlakuan. *Jurnal Ilmiah Universitas Satya Negara Indonesia*. Vol 8 No 2 Desember 2015. Hal: 42-47.
- Fajariyah, C. dan Mangkoedihardjo, S. 2017. Kajian Literatur Pengolahan Lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dengan Teknik Lahan Basah menggunakan Tumbuhan Air. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 6 No 2. Hal: D-190-D195.
- Herlambang, P. dan Hendriyanto, O. 2015. Fitoremediasi Limbah Deterjen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) dan Genjer (*Limnocharis flava* L.). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol 7 No 2. Hal: 101-114.
- Hermawati, E., Wiryanto, dan Solichatun. 2005. Fitoremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dan Genjer (*Limnocharis flava* L.). *Biosmart*. Vol 2 No. 2. Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta. Hal: 115-124.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Fitoakumulator. *Jurnal Hayati*. Vol 12 No 1. Hal: 35-40.
- Irwanto, R. dan Barorah, F. 2017. Kemampuan Tumbuhan Akuatik *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* sebagai Fitoremediator Logam Berat Tembaga. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. Vol 3 No 3. Hal:138-145.
- Kelly, E.B. 1997. *Ground Water Polution: Phytoremediation*. http://www.cee.vt.edu/program_areas/enviromental/teach/gwprimer/phyto/phyto/htm. Diakses tanggal 5 Oktober 2018.
- Machdar, I. 2008. *Dasar-Dasar Sintesis Proses*. Penerbit Universitas Syiah Kuala Banda Aceh.
- Mariato, L.A. 2001. *Merawat dan Menata Tanaman Air*. Agro Media Pustaka. Jakarta.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering*. Mc Graw Hill. New York.
- Metting, B. 1996. *Soil Microbial Ecology*. Marcel and Dekker. New York.
- Nindra, D.Y. dan Hartini, E. 2015. Efektivitas tanaman teratai (*Nymphaea firecrest*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan kadar BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) pada limbah cair industri tahu. *VISIQUES: Jurnal Kesehatan Masyarakat*. Vol 14 No 2. Hal: 123-130.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Penerbit. ITB. Bandung.
- Safitri, R. 2009. Phytoremediasi Greywater dengan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) serta Pemanfaatannya untuk Tanaman Selada (*Lactuca sativa*) secara Hidroponik. *Skripsi Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian IPB*. Bogor.
- Sari, E. dan Sari, D.Y. 2018. Efektivitas Media Penyaring dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L) dalam fitoremediasi Air Lindi (Leachate). *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi*. ISBN: 978-602-61265-2-8.
- Sembiring, E.T.J. dan Muntalif, B.S. 2011. Optimasi Efisiensi Pengolahan Lindi dengan Menggunakan Constructed Wetland. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol 17 No 2. Hal: 1-10.
- Soemirat, J.1996. *Kesehatan Lingkungan*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Usman, S. dan Santosa, I. 2014. Pengolahan Air Limbah Sampah (Lindi) dari Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) Menggunakan Metoda *Constructed Wetland*. *Jurnal Kesehatan*. Vol V No 2. Hal: 98-108.

- Padmaningrum, R.T., Aminatun, T., dan Yuliati. 2014. Pengaruh Biomassa Melati Air (*Echinodorus paleaefolius*) dan Teratai (*Nymphaea firecrest*) terhadap Kadar Fosfat, BOD, COD, TSS, dan Derajat Keasaman Limbah Cair Laundry. *Jurnal Penelitian Sainstek*. Vol 19 No 2. Hal: 65-74.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.
- Rossiana, N., Supriatin, T., dan Dhahiyat, Y. 2007. Fitoremediasi Limbah Cair dengan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solm) dan Limbah Padat Industri Minyak Bumi dengan Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) Bermikoriza. *Laporan Penelitian Fakultas MIPA Universitas Padjajaran*. Bandung.
- Tchobanoglous, G. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Tjitrosoepomo, G. 2000. *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Lampiran

Tabel 3. Hasil Pengukuran Suhu, pH, dan Pengamatan Harian Tanaman Teratai dan Apu-apu

Tanggal	Kode Sampel	Suhu (°C)	pH	Hasil Pengamatan Tanaman dan Kondisi Reaktor
16 Juli 2018	K	30	8	Volume lindi 15 liter
	T-H3-U1	28	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H3-U2	29	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H3-U3	25	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U1	27	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U2	26	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U3	29	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H3-U1	30	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H3-U2	30	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H3-U3	31	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U1	31	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U2	30	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U3	30	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	A-H3-U1	27	8	Daun masih segar
	A-H3-U2	27	8	Daun masih segar
	A-H3-U3	28	8	Daun masih segar
	A-H7-U1	26	8	Daun masih segar
	A-H7-U2	30	8	Daun masih segar
	A-H7-U3	28	8	Daun masih segar
	AIK-H3-U1	26	8	Daun masih segar
	AIK-H3-U2	29	8	Daun masih segar
AIK-H3-U3	32	8	Daun masih segar	
AIK-H7-U1	27	8	Daun masih segar	
AIK-H7-U2	29	8	Daun masih segar	
AIK-H7-U3	30	8	Daun masih segar	
17 Juli 2018	K	29	8	Volume lindi tetap
	T-H3-U1	27	8	Bunga kuncup, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H3-U2	28	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H3-U3	26	8	Bunga kuncup, daun masih segar (berwarna hijau) tetapi mulai kering
	T-H7-U1	27	8	Bunga mekar, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U2	26	8	Bunga kuncup, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U3	28	8	Bunga kuncup, daun masih segar (berwarna hijau) tetapi mulai kering
	TIK-H3-U1	28	8	1 bunga mekar, 2 bunga mati, 2 daun layu
TIK-H3-U2	28	8	Bunga kuncup, daun ada yang mulai busuk	

Tanggal	Kode Sampel	Suhu (°C)	pH	Hasil Pengamatan Tanaman dan Kondisi Reaktor
	TIK-H3-U3	29	8	1 bunga kuncup, 1 bunga busuk, 1 daun layu
	TIK-H7-U1	30	8	Bunga tidak terlihat, 1 daun layu
	TIK-H7-U2	29	8	Bunga kuncup, 1 daun layu
	TIK-H7-U3	29	8	Bunga kuncup dan mulai layu, 1 bunga busuk, 3 daun layu
	A-H3-U1	26	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	A-H3-U2	28	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	A-H3-U3	28	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	A-H7-U1	27	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	A-H7-U2	29	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	A-H7-U3	28	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	AIK-H3-U1	27	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	AIK-H3-U2	29	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	AIK-H3-U3	30	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	AIK-H7-U1	28	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	AIK-H7-U2	29	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
	AIK-H7-U3	29	8	Daun mulai kering, volume lindi tetap
18 Juli 2018	K	26	8	Volume lindi masih 15 liter, ada lalat dan nyamuk mati
	T-H3-U1	24	8	Bunga kuncup, daun mulai busuk
	T-H3-U2	25	8	Bunga kuncup, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H3-U3	27	8	Bunga kuncup, daun ada yang busuk dan layu
	T-H7-U1	27	8	Bunga mekar sedikit, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U2	29	8	Bunga kuncup, daun mulai ada yang busuk
	T-H7-U3	28	8	Bunga kuncup, daun kering
	TIK-H3-U1	28	8	Bunga kuncup, daun busuk, ada kerak di pinggir ember
	TIK-H3-U2	27	8	Bunga kuncup, daun busuk dan ada yang masih segar (berwarna hijau), ada kerak di pinggir ember
	TIK-H3-U3	26	8	Bunga kuncup, daun busuk dan ada yang masih segar (berwarna hijau), ada kerak di pinggir ember
	TIK-H7-U1	29	8	Bunga tidak terlihat, daun masih segar, ada kerak di pinggir ember
	TIK-H7-U2	26	8	Bunga kuncup, daun busuk, ada kerak di pinggir ember
	TIK-H7-U3	25	8	Bunga kuncup, daun busuk dan ada yang masih segar (berwarna hijau), ada kerak di pinggir ember
	A-H3-U1	23	8	Daun kering, volume lindi tetap
	A-H3-U2	24	8	Daun kering, volume lindi tetap
	A-H3-U3	24	8	Daun kering, volume lindi tetap
	A-H7-U1	23	8	Daun kering, volume lindi tetap
	A-H7-U2	23	8	Daun kering, volume lindi tetap
	A-H7-U3	23	8	Daun kering, volume lindi tetap
	AIK-H3-U1	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	AIK-H3-U2	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U3	26	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	AIK-H7-U1	24	8	Daun kering, volume lindi tetap
	AIK-H7-U2	24	8	Daun kering, volume lindi tetap
	AIK-H7-U3	27	8	Daun kering, volume lindi tetap
19 Juli 2018	K	25	8	Volume lindi berkurang, ada lalat dan nyamuk mati
	T-H3-U1	24	8	Bunga kuncup, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	T-H3-U2	23	8	Bunga kuncup, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	T-H3-U3	27	8	Bunga mati, daun terendam lindi semua
	T-H7-U1	26	8	Bunga kuncup, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U2	27	8	Bunga tidak terlihat, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U3	28	8	Bunga tidak terlihat, daun ada yang masih segar (berwarna hijau) tetap agak kering
	TIK-H3-U1	29	8	Bunga mekar, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)

Tanggal	Kode Sampel	Suhu (°C)	pH	Hasil Pengamatan Tanaman dan Kondisi Reaktor
				hanya 1
	TIK-H3-U2	29	8	Bunga kuncup, daun ada yang masih segar (berwarna hijau), volume lindi berkurang
	TIK-H3-U3	28	8	Bunga mekar, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U1	28	8	Bunga tidak terlihat, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U2	27	8	Bunga kuncup, daun tidak segar
	TIK-H7-U3	26	8	Bunga mekar, daun ada yang masih segar (berwarna hijau), ada semut
	A-H3-U1	23	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	A-H3-U2	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	A-H3-U3	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	A-H7-U1	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	A-H7-U2	23	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	A-H7-U3	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	AIK-H3-U1	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U2	25	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U3	25	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H7-U1	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	AIK-H7-U2	25	8	Daun kering, volume lindi berkurang
	AIK-H7-U3	27	8	Daun kering, volume lindi berkurang
20 Juli 2018	K	26	8	Volume lindi sama, ada lalat dan nyamuk mati
	T-H3-U1	25	8	Bunga kuncup, daun ada yang layu dan busuk
	T-H3-U2	24	8	Bunga kuncup, daun masih segar
	T-H3-U3	29	8	Tanaman mati
	T-H7-U1	26	8	Bunga kuncup, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U2	27	8	Bunga tidak terlihat, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	T-H7-U3	27	8	Bunga kuncup, daun ada yang masih segar (berwarna hijau) tetapi agak kering
	TIK-H3-U1	28	8	Bunga kuncup, daun layu
	TIK-H3-U2	28	8	Tanaman layu, volume lindi berkurang
	TIK-H3-U3	27	8	Bunga mekar, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U1	26	8	Bunga tidak terlihat, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U2	26	8	Tanaman mati
	TIK-H7-U3	25	8	Bunga mekar, daun layu, kerikil mulai terlihat
	A-H3-U1	24	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H3-U2	24	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H3-U3	24	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H7-U1	24	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H7-U2	23	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H7-U3	23	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	AIK-H3-U1	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U2	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U3	25	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H7-U1	25	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	AIK-H7-U2	25	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	AIK-H7-U3	26	8	Daun kering, volume lindi masih sama
21 Juli 2018	K	25	8	Volume air lindi masih sama, ada lalat dan nyamuk mati
	T-H3-U1	26	8	Bunga kuncup, daun ada yang layu dan busuk
	T-H3-U2	25	8	Bunga kuncup, daun masih segar (berwarna hijau)
	T-H3-U3	29	8	Tanaman mati
	T-H7-U1	28	8	Bunga kuncup, daun yang masih segar hanya 1
	T-H7-U2	29	8	Bunga tidak terlihat, daun yang masih segar hanya 1

Tanggal	Kode Sampel	Suhu (°C)	pH	Hasil Pengamatan Tanaman dan Kondisi Reaktor
	T-H7-U3	30	8	Bunga tidak terlihat, daun yang masih segar ada 3 tetapi agak kering
	TIK-H3-U1	29	8	Tanaman mati
	TIK-H3-U2	27	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	TIK-H3-U3	27	8	Bunga mekar, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U1	27	8	Bunga tidak terlihat, daun ada yang masih segar (berwarna hijau)
	TIK-H7-U2	26	8	Tanaman mati
	TIK-H7-U3	25	8	Bunga mekar, daun ada yang masih segar, kerikil mulai terlihat
	A-H3-U1	23	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H3-U2	24	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H3-U3	24	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H7-U1	25	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H7-U2	24	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	A-H7-U3	25	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	AIK-H3-U1	24	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U2	25	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U3	26	8	Daun kering, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H7-U1	24	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	AIK-H7-U2	26	8	Daun kering, volume lindi masih sama
	AIK-H7-U3	25	8	Daun kering, volume lindi masih sama
22 Juli 2018	K	25	8	Volume air lindi masih sama, ada lalat dan nyamuk mati
	T-H3-U1	24	8	Tanaman mati
	T-H3-U2	25	8	Tanaman mati
	T-H3-U3	26	8	Tanaman mati
	T-H7-U1	27	8	Tanaman mati
	T-H7-U2	28	8	Tanaman mati
	T-H7-U3	27	8	Tanaman mati
	TIK-H3-U1	29	8	Tanaman mati
	TIK-H3-U2	28	8	Tanaman mati
	TIK-H3-U3	26	8	Tanaman mati
	TIK-H7-U1	28	8	Tanaman mati
	TIK-H7-U2	27	8	Tanaman mati
	TIK-H7-U3	26	8	Tanaman mati
	A-H3-U1	23	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	A-H3-U2	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, ada katak mati
	A-H3-U3	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	A-H7-U1	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	A-H7-U2	23	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	A-H7-U3	24	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	AIK-H3-U1	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U2	24	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U3	26	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H7-U1	24	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	AIK-H7-U2	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	AIK-H7-U3	26	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
23 Juli 2018	K	26	8	Volume air lindi berkurang, ada lalat dan nyamuk mati
	T-H3-U1	25	8	Tanaman mati
	T-H3-U2	25	8	Tanaman mati
	T-H3-U3	26	8	Tanaman mati

Tanggal	Kode Sampel	Suhu (°C)	pH	Hasil Pengamatan Tanaman dan Kondisi Reaktor
	T-H7-U1	26	8	Tanaman mati
	T-H7-U2	26	8	Tanaman mati
	T-H7-U3	26	8	Tanaman mati
	TIK-H3-U1	28	8	Tanaman mati
	TIK-H3-U2	27	8	Tanaman mati
	TIK-H3-U3	26	8	Tanaman mati
	TIK-H7-U1	29	8	Tanaman mati
	TIK-H7-U2	26	8	Tanaman mati
	TIK-H7-U3	26	8	Tanaman mati
	A-H3-U1	24	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	A-H3-U2	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, ada katak mati
	A-H3-U3	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	A-H7-U1	24	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	A-H7-U2	24	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	A-H7-U3	24	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	AIK-H3-U1	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U2	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H3-U3	26	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang, kerikil mulai terlihat
	AIK-H7-U1	25	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	AIK-H7-U2	26	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang
	AIK-H7-U3	26	8	Tanaman mati, volume lindi berkurang

Sumber: Hasil Pengamatan Peneliti, 2018