



## STUDI KELAYAKAN TEKNIK DAN BIAYA TERHADAP ALTERNATIF FITOREMEDIASI PADA AIR LIMBAH PENGOLAHAN KOPI

Elida Novita\*, Sri Wahyuningsih, Charisna Adinda

*Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jember, Indonesia*

### Article history

*Diterima:*

19 November 2020

*Diperbaiki:*

22 Februari 2021

*Disetujui:*

25 Februari 2021

### Keyword

*Bioremediation;*

*Community Perception;*

*Environment*

*Management; Feasibility*

*Analysis; Water*

*Hyacinth;*

### ABSTRACT

*Sidomulyo Village is one of the coffee-producing locations in Silo District, Jember Regency. The coffee processing waste is no handling. The coffee processing wastewater could potentially lead to a decrease in environmental quality. Phytoremediation is an alternative technology that can be applied because of the availability of a waste storage pond in Sidomulyo, which can to become a pool for phytoremediation. Besides, phytoremediation is a simple technology that can reduce the concentration in coffee processing liquid waste. The purpose of this study was to compare phytoremediation alternatives using the aeration, circulation, and constructed wetland (CW) system, which is the most feasible to be applied to coffee processing wastewater treatment in Sidomulyo Village based on technology and cost aspects. The stages of this research were direct surveys of respondents, comparing the efficiency of phytoremediation performance with aeration, circulation and constructed wetland (CW) systems, analysis of technical feasibility, and costs. The research results show that phytoremediation with the CW system is more than feasible than aeration and circulation systems based on technological and cost aspects. Phytoremediation application using the CW system based on the technology or technical aspects is more than feasible because it easy application and has a shorter residence time (continuity). The value of the reduction efficiency of TSS, BOD, and COD parameters in coffee wastewater treatment using phytoremediation with the CW system is sequentially 29.80; 63.75; and 63.70%. Inventory cost of constructing CW for processing coffee wastewater of Rp. 64,050,000 with a storage capacity of 82.5 m<sup>3</sup>.*

© hak cipta dilindungi undang-undang

\* Penulis korespondensi

Email : [elida\\_novita.ftp@unej.ac.id](mailto:elida_novita.ftp@unej.ac.id)

DOI 10.21107/agrointek.v15i2.9056

## PENDAHULUAN

Desa Sidomulyo Kecamatan Silo merupakan salah satu tempat pembudidayaan kopi rakyat di Kabupaten Jember yang telah melaksanakan ekspor kopi. Permasalahan yang terjadi pada pengolahan kopi di Desa Sidomulyo yakni tidak terdapatnya penanganan air limbah pengolahan kopi. Padahal dengan penerapan sistem olah semi basah (*semi wet process*) pada pengolahan kopi di Desa Sidomulyo akan menghasilkan banyak air limbah dibandingkan limbah padat. Kondisi tersebut didukung oleh kajian yang dilakukan oleh Novita et al. (2019), pengolahan biji kopi dengan metode olah basah menghasilkan air limbah hampir 60 % dari air yang digunakan. Selama ini sungai telah menjadi tempat pembuangan air limbah pengolahan kopi di Sidomulyo. Air limbah pengolahan kopi Sidomulyo memiliki karakteristik nilai BOD dan COD secara berurutan mencapai hampir 20.000 mg/L dan 32.000 mg/L (Novita et al., 2019; Rossmann et al., 2013). Kandungan bahan organik yang tinggi tersebut akan berdampak pada penurunan kualitas air sungai sehingga diperlukan penanganan air limbah pengolahan kopi di Desa Sidomulyo.

Salah satu teknologi untuk mereduksi konsentrasi bahan pencemar dalam air limbah adalah melalui fitoremediasi. Teknologi fitoremediasi dipilih karena membutuhkan tenaga kerja dan peralatan yang sedikit, lebih ramah lingkungan dan hemat energi karena menggunakan media tanaman (Ali et al., 2020; Vinod et al., 2016). Hal tersebut membuat teknologi ini membutuhkan biaya operasional yang lebih ekonomis dibandingkan metode lainnya. Fitoremediasi merupakan salah satu alternatif teknologi yang berpotensi diterapkan karena tersedianya kolam penampung air limbah di Sidomulyo. Selain itu, fitoremediasi merupakan salah satu teknologi sederhana dan mampu mereduksi konsentrasi dalam limbah cair pengolahan kopi. Menurut Novita et al. (2020), fitoremediasi adalah penggunaan tanaman untuk mendegradasi, menyerap, atau mengubah zat kontaminan berbahaya menjadi tidak berbahaya dengan memanfaatkan inisiatif manusia. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setyorini (2015), menunjukkan bahwa fitoremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok mampu bekerja pada konsentrasi rendah yakni yang memiliki kandungan COD berkisar 880-3680 mg/L. Selain

itu, berbagai macam penelitian metode fitoremediasi skala laboratorium menggunakan eceng gondok pada air limbah pengolahan kopi Sidomulyo yang telah dilakukan, menunjukkan hasil efisiensi proses lebih dari 50 % dengan sistem aerasi, sirkulasi, dan *Constructed Wetland* (CW). Hasil kajian di beberapa wilayah menunjukkan bahwa CW memiliki performa yang baik dalam reduksi polutan pada air limbah domestik dan industri serta memiliki biaya operasional yang rendah (Stefanakis, 2020; Suswati dan Wibisono, 2013; Valipour et al., 2015). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan alternatif fitoremediasi menggunakan sistem aerasi, sirkulasi, dan *constructed wetland* (CW) yang paling layak untuk diterapkan pada pengolahan air limbah pengolahan kopi di Desa Sidomulyo berdasarkan aspek teknik dan biaya.

## METODE

### Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2015 sampai dengan Maret 2016 di Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Kabupaten Jember dan Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL) Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

### Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut: bioreaktor *constructed wetland*; peralatan pengukuran BOD (botol winkler, buret, pipet, *erlenmeyer*); peralatan pengukuran COD (reagen COD HR, COD reaktor HI 93754 C, spektrofotometer HI 83099, pipet); peralatan pH (pHmeter Tranz); peralatan pengukuran TSS (*oven*, desikator, kertas saring 0,45  $\mu$ , cawan aluminium, neraca analitik). Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: hasil-hasil penelitian mengenai metode fitoremediasi dengan pemberian aerasi, sirkulasi, dan sistem *constructed wetland* skala laboratorium, air limbah pengolahan kopi di Desa Sidomulyo, eceng gondok, air suling bebas ion, bahan pengukuran BOD (larutan  $MnSO_4$ , larutan alkali iodida azida,  $H_2SO_4$  pekat, larutan  $Na_2S_2O_3$  0,025 N).

### Jenis dan Metode Pengambilan Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yakni data primer dan sekunder. Berikut metode yang digunakan untuk mendapatkan informasi dan data yang bersangkutan.

### Data Sekunder

Metode yang dipakai dalam pengambilan data sekunder adalah dengan teknik studi pustaka. Data sekunder meliputi: data karakteristik air limbah pengolahan kopi di Sidomulyo, efisiensi proses fitoremediasi dengan aerasi dan sirkulasi skala laboratorium yang diaplikasikan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember, debit air limbah pengolahan kopi di Sidomulyo perhari (Arifin, 2016; Safrizal, 2016).

### Data Primer

Metode yang dipakai dalam pengambilan data primer adalah melalui pengukuran konsentrasi akhir BOD, COD, TSS, dan pH pada fitoremediasi dengan sistem *constructed wetland* (CW) skala laboratorium yang terletak di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

### Metode Analisis Data

#### Analisis Teknik

Analisis teknik atau teknologi pada penelitian ini terdiri atas perbandingan efisiensi proses fitoremediasi dengan: pemberian aerasi, sirkulasi, dan sistem CW, perbandingan hasil konsentrasi dari tiga variasi metode fitoremediasi tersebut dengan baku mutu yang merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi kegiatan industri dan/atau kegiatan usaha lainnya, dan perhitungan beban pencemaran air limbah.

#### Efisiensi Proses

Analisis secara teknologi dapat dilakukan dengan mengetahui efisiensi konsentrasi yang dihasilkan melalui proses fitoremediasi dan memilih teknologi mana yang paling efisien dalam menurunkan besar konsentrasi (BOD, COD, TSS) dari limbah cair kopi. Besarnya nilai efisiensi proses dapat dicari melalui persamaan 1 (Novita et al., 2019).

$$\text{Eff} = \frac{AC - AB}{AC} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

Eff = nilai efisiensi (100 %);

AC = nilai parameter pada awal limbah;

AB = nilai parameter pada akhir limbah.

### Perbandingan Hasil Konsentrasi Akhir dengan Baku Mutu Limbah Cair

Hasil konsentrasi parameter kualitas air (BOD, COD, TSS, pH) dari proses fitoremediasi akan dibandingkan dengan baku mutu air limbah bagi kegiatan industri sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014.

### Perhitungan Beban Pencemaran Air Limbah

Tujuan perhitungan beban pencemaran air limbah untuk mengetahui nilai beban pencemaran yang diperoleh dari kegiatan pengolahan kopi semi basah di unit pabrik pengolahan kopi rakyat desa Sidomulyo. Perhitungan beban pencemaran yang merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 menggunakan persamaan 2 hingga 6.

$$DM = Dm \times Pb \quad (2)$$

Keterangan:

DM = debit limbah cair maksimum yang diperbolehkan bagi industri bersangkutan ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

Dm = kuantitas limbah cair maksimum sebagaimana yang tercantum dalam baku mutu ( $\text{m}^3/\text{satuan produksi}$ )

Pb = produksi sebenarnya dalam sehari (satuan produksi/hari)

$$DA = Dp \times Pb \quad (3)$$

Keterangan:

DA = debit limbah cair sebenarnya ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

Dp = hasil pengukuran kuantitas limbah cair sebenarnya ( $\text{m}^3/\text{satuan produksi}$ )

Pb = produksi sebenarnya dalam sehari (satuan produksi/hari)

$$\text{BPM}_i = \text{BPM} \times Pb \quad (4)$$

Keterangan:

$\text{BPM}_i$  = beban pencemaran maksimum harian (kgparameter/hari)

BPM = beban pencemaran maksimum (kg/ton produk);

Pb = produksi dalam sebulan (ton produk/hari)

$$\text{BPM} = (\text{CM})_j \times \text{DM} \times f \quad (5)$$

Keterangan:

BPM = beban pencemaran maksimum (kg/ton produk)  
 (CM)<sub>j</sub> = kadar maksimum unsur pencemar-j sesuai baku mutu (mg/L)  
 DM = debit limbah cair maksimum sesuai baku mutu (m<sup>3</sup>/hari)  
 f = faktor konversi = ((10<sup>-6</sup> kg/10<sup>-3</sup>m<sup>3</sup>)x(m<sup>3</sup>/ton produk)) = 10<sup>-3</sup>

$$BPA_i = (CA)_i \times DA \times f \quad (6)$$

Keterangan:

BPA<sub>i</sub> = beban pencemaran maksimum sebenarnya (kg/hari)  
 (CA)<sub>i</sub> = kadar sebenarnya unsur pencemar-i (mg/L)  
 DA = debit limbah cair sebenarnya (m<sup>3</sup>/hari)  
 f = faktor konversi = 0,0864 (kg.liter.detik)/(mg.m<sup>3</sup>/hari)

#### ***Analisis Biaya Pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah Berbasis Fitoremediasi***

Analisis biaya bertujuan untuk menghitung besarnya pengeluaran penambahan kolam pada fitoremediasi dengan: aerasi, sirkulasi, dan CW, jika diterapkan di unit pengolahan kopi rakyat Sidomulyo. Analisis biaya yang digunakan untuk membandingkan ketiga metode fitoremediasi tersebut adalah biaya investasi dari pembuatan kolam. Perhitungan biaya investasi menggunakan persamaan (7) (Suryaningrat, 2011). Analisis biaya terdiri atas biaya tetap dan tidak tetap. Biaya tetap yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

$$TC = TFC + TVC \quad (7)$$

Keterangan:

TC = Total Cost (Rp.)  
 TFC = Total Fixed Cost (Rp.)  
 TVC = Total Variable Cost (Rp.)

Biaya penyusutan bertujuan untuk mengurangi nilai ekonomis secara berangsur-angsur pada suatu periode sehingga dapat diketahui nilai akhir suatu teknologi fitoremediasi pada periode tertentu. Perhitungan biaya penyusutan menggunakan persamaan (8) berdasarkan metode garis lurus atau *straight line* (Suryaningrat, 2011).

$$D = \frac{P-S}{N} = \frac{0,9P}{N} \quad (8)$$

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Analisis Kelayakan Teknik atau Teknologi**

Kelayakan aspek teknik dilihat dari tiga indikator yakni efisiensi konsentrasi, perbandingan hasil konsentrasi dengan baku mutu air limbah pengolahan kopi, dan beban pencemaran air limbah. Berdasarkan indikator efisiensi konsentrasi dan perbandingan hasil konsentrasi parameter akhir dengan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 yang dapat dilihat pada Tabel 1. Efisiensi konsentrasi parameter BOD, COD, dan TSS tertinggi adalah fitoremediasi dengan sirkulasi sebesar 97,55 %; 97,50 %; 58,44 %. Efisiensi konsentrasi parameter BOD<sub>5</sub> dan COD pada fitoremediasi dengan aerasi, dapat dikatakan rendah karena konsentrasi BOD dan COD setelah aerasi masih belum memenuhi standar baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Meskipun dengan aerasi telah mampu menurunkan konsentrasi parameter awal BOD dan COD, namun fitoremediasi dengan aerasi yang dilakukan selama 14 hari masih belum mampu meningkatkan kemampuan bakteri aerob untuk merombak bahan organik dalam air limbah pengolahan kopi.

Kajian yang dilakukan oleh Rossmann et al. (2013), menyebutkan bahwa penambahan aerasi terhadap reaktor *Constructed Wetland* pada penanganan air limbah pengolahan kopi tidak berdampak signifikan dalam reduksi polutan organik. Kecenderungan kenaikan nilai TSS setelah hari ke-9 dikarenakan proses pembusukan eceng gondok sehingga berpotensi menghasilkan partikel – partikel kecil yang menyumbangkan kenaikan nilai TSS. Konsekuensi timbul akibat menurunnya daya serap polutan dari eceng gondok (Priya dan Selva, 2017).

Efisiensi konsentrasi parameter COD pada fitoremediasi dengan sirkulasi, dapat dikatakan rendah karena konsentrasi COD setelah sirkulasi belum memenuhi standar baku mutu. Berbeda dengan efisiensi konsentrasi parameter BOD nya yang dapat dikatakan tinggi karena konsentrasi BOD<sub>5</sub> setelah sirkulasi lebih rendah dari baku mutu. Fitoremediasi dengan sirkulasi telah mampu menurunkan parameter awal COD dengan efisiensi konsentrasi yang telah maksimal sebesar 97,50 %, meskipun belum memenuhi baku mutu. Hal tersebut disebabkan oleh tingginya nilai konsentrasi parameter awal COD sehingga akar eceng gondok tidak dapat lagi melakukan

penyerapan secara maksimal meskipun penyerapan akar eceng gondok dapat maksimal jika sirkulasi berjalan lancar. Selain itu, dalam waktu 7 hari dengan sirkulasi, masih belum mampu meningkatkan aktivitas bakteri aerob untuk merombak bahan organik dalam air limbah meskipun dengan sirkulasi distribusi oksigen akan merata yang berpengaruh pada peningkatan nilai *dissolved oxygen* (DO). Selain itu juga dapat disebabkan oleh lamanya waktu tinggal. Menurut Djo et al. (2017), waktu tinggal yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah.

Efisiensi parameter konsentrasi BOD dan COD pada fitoremediasi dengan sistem *constructed wetland* (CW) dapat dikatakan rendah, karena konsentrasi BOD dan COD setelah dengan sistem CW masih belum memenuhi standar baku mutu. Meskipun dengan sistem CW yang dilakukan selama 28 jam telah mampu menurunkan konsentrasi BOD dan COD, namun hasil akhir konsentrasi parameternya yang belum memenuhi baku mutu dapat disebabkan oleh waktu tinggal yang kurang lama agar dapat menaikkan efisiensi konsentrasi parameternya (Djo et al., 2017; Novita et al., 2020). Penurunan konsentrasi parameter BOD dan COD pada sistem CW ini dapat disebabkan oleh proses fisik dan biologi (Siswoyo et al., 2020). Proses fisik yakni sedimentasi dan penangkapan bahan organik oleh kerikil dan pasir siliki. Sedangkan proses biologi yakni terjadinya pendegradasian bahan organik oleh mikroorganisme yang tumbuh pada permukaan media dan menempel pada akar tanaman.

Karena air limbah pengolahan kopi Sidomulyo tidak terlalu memberikan kadar pencemar TSS yang besar, hasil akhir konsentrasi parameter seluruh metode fitoremediasi dengan: aerasi, sirkulasi, dan sistem CW; telah sesuai dengan baku mutu. Nilai pH pada fitoremediasi dengan sistem CW yang masih bersifat asam dan tidak memenuhi baku mutu juga dapat disebabkan oleh waktu tinggal. Dengan waktu tinggal yang cukup diharapkan dapat memberikan waktu pada tanaman eceng gondok untuk berfotosintesis, sehingga kadar CO<sub>2</sub> berkurang dan mampu menaikkan nilai pH (Novita et al., 2019).

Berdasarkan indikator beban pencemaran air limbah, diketahui bahwa nilai BPA<sub>i</sub> untuk parameter BOD dan COD pada limbah cair kopi lebih besar dibandingkan nilai BPM<sub>i</sub> nya (BPA<sub>i</sub> > BPM<sub>i</sub>). Oleh sebab itu diperlukan pengolahan

khusus terhadap limbah cair kopi di Sidomulyo untuk menurunkan kadar pencemar BOD dan COD, sebelum dibuang ke lingkungan. Fitoremediasi dengan sirkulasi memiliki nilai penurunan beban pencemaran terbesar dibandingkan aerasi dan CW. Selain itu, fitoremediasi dengan sirkulasi memiliki nilai penurunan untuk parameter BOD dan COD terbesar. Namun, jika dibandingkan dengan BPM<sub>i</sub> (beban pencemaran maksimum air limbah) maka BPA<sub>i</sub> (beban pencemaran sebenarnya air limbah) fitoremediasi dengan sirkulasi adalah masih dalam batas baku mutu yang telah ditetapkan dan masih dapat diterima oleh lingkungan karena BPM<sub>i</sub> > BPA<sub>i</sub> (Tabel 2). Fitoremediasi dengan pemberian aerasi juga memiliki beban pencemaran air limbah yang memenuhi baku mutu untuk parameter BOD.

Berdasarkan ketiga indikator yaitu efisiensi penurunan nilai BOD, kemudahan operasional, dan kontinuitas, fitoremediasi dengan sirkulasi adalah yang paling layak untuk diterapkan dibandingkan aerasi dan CW. Namun, setiap metode memiliki konsekuensi waktu lamanya proses pengolahan limbah cair. Pada metode sirkulasi tersebut dilakukan selama 7 hari untuk menurunkan parameter-parameter kualitas air. Sedangkan dengan metode CW memerlukan waktu 28 jam. Berdasarkan hasil penelitian Manasika (2015), juga diketahui bahwa penerapan proses fitoremediasi sebaiknya maksimal 9 hari, kemudian dilakukan pergantian eceng gondok.

#### **Analisis Biaya Pembangunan Pengolahan Air Limbah Kopi Berbasis Fitoremediasi**

Analisis biaya meliputi biaya yang dibutuhkan dalam penerapan fitoremediasi di unit pengolahan kopi rakyat Sidomulyo. Biaya investasi yaitu biaya pembuatan dari kolam yang telah tersedia di Sidomulyo dengan kapasitas tampungan sebesar 15 m<sup>3</sup> adalah Rp 2.190.000. Sehingga diperlukan penambahan kolam sebesar 67,5 m<sup>3</sup> agar dapat menampung volume *output* limbah cair pengolahan kopi perharinya di Sidomulyo sebesar 82,5 m<sup>3</sup>. Biaya yang dibutuhkan untuk penambahan kolam tersebut sebesar Rp.9.855.000.

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa asumsi biaya yang dikeluarkan untuk penambahan kolam dikarenakan waktu tinggal dari metode fitoremediasi, menunjukkan bahwa pengorbanan biaya yang dikeluarkan terlalu besar jumlahnya untuk fitoremediasi dengan aerasi dan sirkulasi.

Disamping masalah biaya yang terlalu besar jumlahnya, pembuatan penambahan kolam dengan kapasitas volume sebesar 660 m<sup>3</sup> dan 495 m<sup>3</sup> membutuhkan lahan yang cukup besar. Jadi dengan kata lain hal tersebut menunjukkan jika ingin menerapkan fitoremediasi di Sidomulyo maka fitoremediasi dengan sistem *constructed wetland* (CW) adalah alternatif yang paling layak dilihat dari aspek biaya pembangunan instalasinya.

Penerapan fitoremediasi dengan sistem CW juga membutuhkan biaya investasi yaitu biaya

pembuatan sistem CW dan pembuatan kolam aklimatisasi eceng gondok. Total biaya investasi dari penerapan sistem CW yakni sebesar Rp. 64.050.000. Metode penyusutan (depresiasi) yang digunakan adalah metode *straight line* atau garis lurus (SL) dengan asumsi umur ekonomis 20 tahun berdasarkan manual teknis sanitasi komunal menggunakan *constructed wetland* (Pamsimas, 2011). Total biaya penyusutan yakni sebesar Rp. 2.980.800/tahun. Total biaya perbaikan dan pemeliharaan sebesar Rp. 5.395.000.

Tabel 1. Perbandingan konsentrasi *effluent* dari fitoremediasi dengan sistem aerasi, sirkulasi, dan CW dengan baku mutu air limbah

No	Parameter	Hasil Analisis			Baku Mutu Air Limbah Permen LH No 5 Tahun 2014 Industri Kopi (max)
		Aerasi*	Sirkulasi**	CW	
<b>I FISIKA</b>					
1	TSS (mg/L)	99,94	64,65	109,21	150
<b>II KIMIA</b>					
1	BOD <sub>5</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	634,94	64,04	947,58	90
2	COD (mg/L O <sub>2</sub> )	818	401,34	1.471,4	200
3	pH	8,1	7,67	5,35	6-9

Sumber: Data primer diolah (2016); Safrizal (2016)\*; Arifin (2016)\*\*

Tabel 2. Perbandingan kelayakan dari Fitoremediasi dengan Aerasi, Sirkulasi, dan CW secara Teknik

Metode Fitoremediasi	Teknoekologi					
	Beban Pencemaran Air Limbah		Kesesuaian dengan Baku Mutu	Efisiensi Penurunan Parameter BOD (%)	Kemudahan	Kontinuitas
	BOD <sub>5</sub>	COD				
Aerasi	< BPM <sub>i</sub>	> BPM <sub>i</sub>	TSS, pH	79,82*	Agak Mudah	Tidak
Sirkulasi	< BPM <sub>i</sub>	< BPM <sub>i</sub>	TSS, BOD, pH	97,55**	Rumit	Tidak
CW	> BPM <sub>i</sub>	> BPM <sub>i</sub>	TSS	54,8	Mudah	Terjamin

Sumber: Data primer diolah (2016); Safrizal (2016)\*; Arifin (2016)\*\*

Tabel 3. Perbandingan Biaya Penambahan Kolam dengan Aerasi, Sirkulasi, dan CW

Metode Fitoremediasi	Waktu Tinggal	Penambahan Volume Kolam (m <sup>3</sup> )	Penambahan Jumlah Kolam	Asumsi Kebutuhan Biaya (Rp.)
Aerasi	9 hari	660	44	96.360.000
Sirkulasi	7 hari	495	33	72.270.000
CW	28 jam	82,5	6	64.050.000

Sumber: Data primer diolah (2016)

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang sudah dilakukan adalah penerapan fitoremediasi dengan menggunakan sistem *Constructed Wetland* (CW) adalah layak untuk diterapkan di Sidomulyo ditinjau dari aspek teknik atau teknologi, yakni: kemudahan dan kontinuitas; sedangkan penerapan fitoremediasi dengan sirkulasi adalah layak untuk diterapkan di Sidomulyo ditinjau dari aspek teknoekologi yakni: beban pencemaran air limbah, kesesuaian konsentrasi parameter akhir dengan baku mutu, dan efisiensi proses. Nilai efisiensi penurunan parameter TSS, BOD, dan COD pada pengolahan air limbah kopi menggunakan fitoremediasi dengan sistem CW secara berurutan sebesar 29,80; 63,75; dan 63,70 %. Biaya investasi pembuatan CW untuk air limbah pengolahan kopi sebesar Rp. 64.050.000 dengan kapasitas tampungan sebesar 82,5 m<sup>3</sup>. Rekomendasi yang diberikan jika di Sidomulyo ingin menerapkan fitoremediasi dengan sistem *Constructed Wetland* (CW) adalah perlu adanya sosialisasi dengan masyarakat Sidomulyo mengenai teknologi fitoremediasi beserta operasionalnya di lapang yang sesuai dengan standar operasional sebelum teknologi ini benar-benar diterapkan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memberikan ucapan terima kasih kepada Agroindustri Pengolahan Kopi Rakyat dan kelompok tani di Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Kabupaten Jember, Universitas Jember yang telah memberikan dukungan fasilitas, dan semua pihak yang terlibat serta membantu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I., Yavas, I., Unay, A., Abdel-Daim, M., Bin-Jumah, M., Hasanuzzaman, M., Kadires, D. 2020. Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: a review. *Sustainability* (Switzerland), 12(1927), 1–33. doi: 10.3390/su12051927
- Arifin, S. N. 2016. Pengolahan limbah cair dari industri kopi dengan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mert.) solm menggunakan sistem batch dan sirkulasi. [Skripsi]. Jember, Universitas Jember.
- Djo, Y. H. W., Suastuti, D. A., Suprihatin, I. E., Dwijani, W. 2017. Fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk menurunkan COD dan kandungan Cu dan Cr limbah Laboratorium Analitik Universitas Udayana. *Cakra Kimia*, 5(2), 137–144.
- Manasika, A. 2015. Analisis pengaruh variasi densitas eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mert.) solm pada fitoremediasi limbah cair kopi. [Skripsi]. Jember, Universitas Jember.
- Novita, E., Hermawan, A. A. G., Wahyuningsih, S. 2019. Komparasi proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan tiga jenis tanaman air. *Jurnal Agroteknologi*, 13(1), 16–24. doi: 10.19184/j-agt.v13i01.8000
- Novita, E., Pradana, H. A., Wahyuningsih S., Marhaenanto, B., Sujarwo, M. W., Hafid, M. S. A. 2019. Variasi digester anaerobik terhadap produksi biogas pada penanganan limbah cair pengolahan kopi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 8(3), 164–174. doi: 10.23960/jtep-1.v8.i3.164-174
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Jannah, D., Pradana, H. A. 2020. Fitoremediasi air limbah laboratorium analitik Universitas Jember dengan pemanfaatan tanaman eceng gondok dan lempang. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 7(1), 121–135. doi: 10.29122/jbbi.v7i1.3850
- [Pamsimas] Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat. 2011. Manual teknis sanitasi komunal peri urban. <http://pamsimas.org> [Diakses 20 Oktober 2020].
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Priya, S., dan Selva, S. 2017. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3548–S3558. doi: 10.1016/j.arabjc.2014.03.002
- Rossmann, M., Matos, A. T., Abreu, E. C., Silva, F. F., Borges, A. C. 2013. Effect of influent aeration on removal of organic matter from coffee processing wastewater in constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 128, 912–919. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.06.045

- Safrizal, M. R. 2016. Pengaruh biomassa eceng gondok dan aerasi terhadap penurunan konsentrasi limbah cair pengolahan kopi. [Skripsi]. Jember, Universitas Jember.
- Setyorini. 2015. Kajian proses fitoremediasi eceng gondok pada berbagai variasi konsentrasi limbah cair kopi. [Skripsi]. Jember, Universitas Jember.
- Siswoyo, E., Faisal, F., Kumalasari, N., Kasam, K. 2020. Constructed wetlands dengan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai alternatif pengolahan air limbah industri tapioka. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 12(1), 59–67. doi: 10.20885/jstl.vol12.iss1.art5
- Stefanakis, A. I. 2020. Constructed wetlands for sustainable wastewater treatment in hot and arid climates: Opportunities, challenges and case studies in the Middle East. *Water (Switzerland)*, 12(1665), 1-23. doi: 10.3390/W12061665
- Suryaningrat, I. 2011. *Ekonomi Teknik Teori dan Aplikasi untuk Agroindustri*. Jember, University Press.
- Suswati, A. C. S. P, Wibisono, G. 2013. Pengolahan limbah domestik dengan teknologi taman tanaman air (constructed wetlands). *Indonesian Green Technology Journal* 2(2), 70–77.
- Valipour, A., Raman, V. K., Ahn, Y. H. 2015. Effectiveness of domestic wastewater treatment using a Bio-hedge water hyacinth wetland system. *Water (Switzerland)*, 7(1), 329–347. doi: 10.3390/w7010329
- Kumar, V., Chopra, A. K., Singh, J., Thakur, R. K., Srivata, S., Chauhan, R. K. 2016. Comparative assessment of phytoremediation feasibility of water caltrop (*Trapa natans* L.) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Solms.) using pulp and paper mill effluent. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 1(1), 13–21.