

Kajian Perbaikan Kualitas Air Limbah Pengolahan Kopi Menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Elida Novita^{1*}, Sri Wahyuningsih², Mohammad Rizki Safrizal³, Amelia Ika Puspitasari⁴, Hendra Andiananta Pradana⁵ 

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jember, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received February 02, 2022

Revised February 09, 2022

Accepted March 04, 2022

Available online April 25, 2022

Kata Kunci:

Biofiltrasi, Tanaman Air, Panjang Akar, Penanganan Biologi, Reduksi Polutan

Keywords:

Aquatic Plants, Biology Treatment, Biofiltration, Pollutant Reduction, Root Length



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Air limbah pengolahan kopi berpotensi mencemari lingkungan. Eceng gondok merupakan biofilter yang dapat mereduksi polutan pada air limbah. Tujuan penelitian adalah menganalisis variasi panjang eceng gondok terhadap kemampuan reduksi polutan pada air limbah pengolahan kopi menggunakan metode fitoremediasi dengan penambahan aerasi. Terdapat 4 perlakuan fitoremediasi pada pengolahan air limbah menggunakan tanaman eceng gondok yaitu panjang akar 30 cm tanpa aerasi dan panjang akar (10, 20, dan 30 cm) dengan aerasi. Evaluasi reduksi polutan pada air limbah pengolahan kopi diidentifikasi menggunakan analisis efisiensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fitoremediasi menggunakan eceng gondok dengan aerasi (panjang akar 30 cm) memiliki nilai efisiensi lebih tinggi dari pada tanpa aerasi pada pengolahan air limbah pengolahan kopi. Persentase nilai efisiensi penurunan polutan air limbah pengolahan kopi pada perlakuan panjang akar eceng gondok 30 cm dengan penambahan aerasi yang diindikasikan oleh parameter kekeruhan, BOD, COD, NH₃-N, dan PO₄-P yaitu sebesar 89,19%; 75,80%; 75,69%; 76,73%; dan 64,99%.

ABSTRACT

Coffee processing wastewater has the potential to pollute the environment. Water hyacinth is a biofilter that able to reduce pollutants in wastewater. The purpose of this study was to analyze variations in the length of water hyacinth on the ability to reduce pollutants in coffee processing wastewater using the phytoremediation method within the addition of aeration. There were 4 phytoremediation treatments in wastewater treatment using water hyacinth plants, namely root length of 30 cm without aeration and root length (10, 20, and 30 cm) within aeration. Pollutant reduction evaluation in coffee processing wastewater was identified using efficiency analysis. The results showed that phytoremediation using water hyacinth within aeration (root length 30 cm) has a higher efficiency value than without aeration in coffee processing wastewater. The percentage of the efficiency value of reducing coffee processing wastewater pollutants by treating water hyacinth root length of 30 cm within the aeration addition indicated by the parameters of turbidity, BOD, COD, NH₃-N, and PO₄-P, which is 89.19%; 75.80%; 75.69%; 76.73%; and 64.99%.

1. PENDAHULUAN

Olah basah merupakan salah satu metode pengolahan buah kopi di Indonesia yang akan menghasilkan mutu kopi yang dapat dikontrol dan memiliki cita rasa yang khas. Kopi merupakan jenis tanaman perkebunan yang telah lama dibudidayakan dan memiliki nilai ekonomis tinggi jika mampu mengolahnya dengan baik. Beberapa jenis kopi yang biasanya banyak dibudidayakan oleh masyarakat yaitu kopi arabika (*Coffea arabica*) dan robusta (*Coffea canephora*). Selain itu beberapa jenis lainnya seperti *Coffea Liberika* dan *Coffea congensis* yang merupakan perkembangan dari jenis robusta. Pengolahan buah kopi secara basah diestimasikan akan membutuhkan air sejumlah 7-30 m³ per ton buah kopi dan terutama banyak dilakukan untuk kopi Arabika (Genanaw et al., 2021; Elida Novita et al., 2018). Meskipun demikian pengolahan kopi secara basah juga telah diaplikasikan di beberapa sentra pengolahan kopi Robusta di Kabupaten Jember (Hariyati, 2014). Pengolahan tersebut menghasilkan air limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Secara fisik, air limbah tersebut berwarna kecokelatan sehingga dapat meningkatkan nilai kekeruhan pada air jika dialirkan langsung ke badan air (Campos et al., 2021; Elida Novita et al., 2018). Rentang nilai kekeruhan pada air limbah pengolahan kopi adalah 395-810 NTU (Fereja et al., 2020; E. Novita, Salim, et al., 2021). Disisi lain, air limbah pengolahan kopi juga mengandung bahan organik yang relatif tinggi dan memiliki pH rendah (4.0 – 5.5) (Bisekwa et al., 2020; E. Novita et al., 2020).

*Corresponding author.

E-mail addresses: elida_novita.ftp@unej.ac.id (Elida Novita)

Bahan organik pada air limbah pengolahan kopi ditunjukkan oleh tingginya nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang dapat mencapai 2506 mg/L dan 3344,44 mg/L (E. Novita et al., 2020; Elida Novita et al., 2018). Air limbah yang mengandung polutan organik tinggi dan pH rendah ini umumnya dibuang begitu saja ke badan air di sekitar sentra pengolahan kopi sehingga dapat mengancam kehidupan biota tanah maupun air jika dialirkan langsung tanpa dilakukan penanganan terlebih dahulu. Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah yang ramah lingkungan, murah, dan mudah untuk diaplikasikan di sentra pengolahan kopi rakyat dengan memanfaatkan tanaman air seperti eceng gondok, lembang, dan melati air (Afiat et al., 2016; Imron et al., 2019).

Air limbah pengolahan kopi memiliki sifat *biodegradable* sehingga pengolahan dengan metode biologi seperti fitoremediasi menjadi salah satu pilihan yang tepat (Manasika, 2015; Rattan et al., 2015). Pengolahan air limbah pengolahan kopi menggunakan metode fitoremediasi *batch* dapat menurunkan paparan BOD dan COD lebih dari 50% (Manasika, 2015). Untuk meningkatkan efektifitas penanganan fitoremediasi perlu ditambahkan aerasi. Penambahan aerasi pada penanganan fitoremediasi air limbah peternakan dan domestik yang menggunakan tanaman lembang dan eceng gondok terbukti lebih cepat menurunkan paparan organik dan total padatan tersuspensi sebesar 99% (Denisi et al., 2021; Valipour et al., 2015). Secara umum, fungsi penambahan aerasi pada penanganan ini ialah menjaga kandungan oksigen terlarut sehingga dapat mendukung reaksi oksidasi dan aktivitas perombakan bahan organik pada penanganan fitoremediasi (Setiyono & Gustaman, 2017).

Eceng gondok merupakan salah satu tanaman yang memiliki daya serap polutan yang baik dan dapat dimanfaatkan sebagai biofilter alami (Enyew et al., 2020; Priya & Selva, 2014; Songca et al., 2013). Morfologi dan fase generatif tanaman eceng gondok memiliki peran penting dalam reduksi polutan pada air limbah. Panjang akar tanaman eceng gondok mempengaruhi potensi eceng gondok dalam mendegradasi kandungan BOD, COD, dan bahan organik lainnya. Hasil kajian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa panjang akar 17-30 cm memiliki fungsi yang relatif baik sebagai biofilter pada perbaikan kualitas air limbah (Dewi, 2012; Enyew et al., 2020; Manasika, 2015; Priya & Selva, 2014; Songca et al., 2013). Secara hipotesis, semakin panjang akar eceng gondok menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menurunkan polutan. Karena pertumbuhan eceng gondok yang baik dapat dilihat dari kemampuan akarnya menyerap polutan air. Berdasarkan hipotesis tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah menganalisis variasi panjang eceng gondok terhadap kemampuan reduksi polutan pada air limbah pengolahan kopi menggunakan metode fitoremediasi dengan penambahan aerasi.

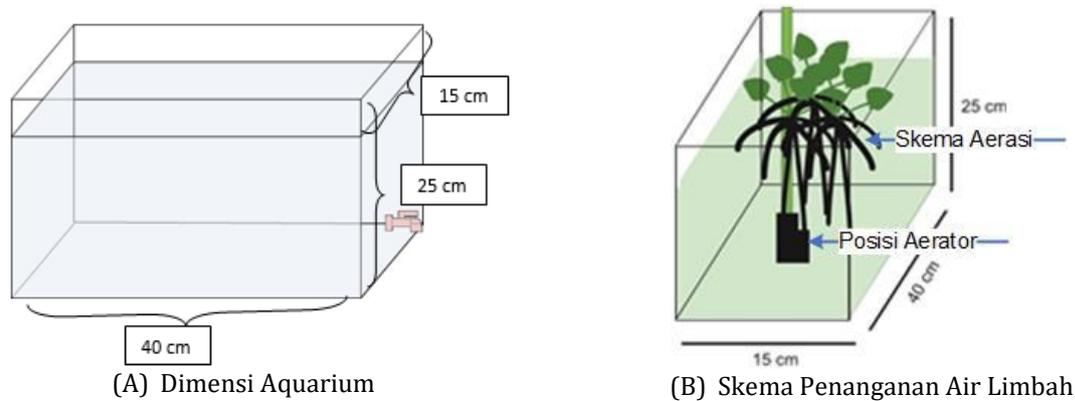
2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan percobaan pengolahan air limbah pengolahan kopi menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman eceng gondok. Kemudian deskriptif kuantitatif merupakan pendekatan penelitian yang digunakan untuk menggambarkan dampak fitoremediasi menggunakan eceng gondok dengan penambahan aerasi terhadap perbaikan kualitas air limbah pengolahan kopi. Lokasi penelitian berada di Laboratorium Kualitas Air-Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember, Kabupaten Jember. Analisis sampel juga dilakukan di Laboratorium Rekayasa Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas aquarium kaca yang difungsikan sebagai reaktor fitoremediasi dengan dimensi 40 cm x 15 cm x 25 cm (Gambar 1), meja, botol sampel, timbangan digital, erlenmeyer 250 mL, gelas ukur 5 dan 10 mL, pipet tetes, kuvet *tube*, buret 50 mL, oven, penggaris 50 cm, inkubator suhu, botol winkler 125 mL dan 250 mL, labu takar 1000 dan 2000 mL, pH meter HI 223, spektrofotometer HI 83099, turbidimeter TN-100, reaktor COD HI 839800, aerator vosso SN-1 sebagai penyalur oksigen dari atmosfer, dan kolam aklimatisasi. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas air limbah pengolahan kopi dari perkebunan rakyat di Wilayah Kabupaten Jember, eceng gondok, air suling bebas ion (*aquadest*), reagen COD *high range* (HR), alkali iodide azida, natrium tiosulfat 0,025 N, mangan sulfat 40%, asam sulfat 20 N, indikator amilum 5%, reagen N, dan natrium hidroksida 1 N.

Eceng gondok diperoleh dari wilayah rawa yang terletak di Kabupaten Jember. Eceng gondok yang dipilih memiliki panjang akar dengan rentang 10-30 cm dan dalam masa vegetatif (belum berbunga) (Dewi, 2012; Manasika, 2015). Sebelum eceng gondok difungsikan sebagai biofilter dilakukan aklimatisasi dahulu. Tujuan aklimatisasi ialah penyesuaian kondisi eceng gondok agar memiliki kemampuan daya serap polutan yang baik. Aklimatisasi dilakukan dengan cara meletakkan eceng gondok pada kolam aklimatisasi selama kurang lebih 7-14 hari sebelum digunakan sebagai biofilter. Kolam aklimatisasi berisi air yang berasal dari tampungan air hujan dan dibiarkan terpapar oleh sinar matahari secara langsung (Elizabeth et al., 2020; Hasibuan et al., 2020). Air limbah pengolahan kopi berupa campuran air sisa dari

proses pengupasan buah kopi merah dan pencucian buah. Air limbah tersebut diperoleh dari usaha pengolahan kopi di Wilayah Kabupaten Jember. Sebelum air limbah pengolahan kopi diletakkan pada aquarium kaca dilakukan pengukuran karakteristik awalnya. Tujuan pengukuran ini adalah mengidentifikasi kondisi awal air limbah sebelum dilakukan pengolahan secara biologi guna mengetahui efisiensi metode pengolahan (Elystia et al., 2021).



Gambar 1. Konstruksi Reaktor dan Skema Metode Fitoremediasi dengan Aerasi

Percobaan penelitian menggunakan beberapa perlakuan. Terdapat 5 (lima) perlakuan fitoremediasi pada penelitian ini yaitu reaktor eceng gondok tanpa aerasi menggunakan panjang akar 30 cm dan reaktor eceng gondok dengan aerasi yang memiliki panjang akar 10, 20, dan 30 cm. Kemudian, terdapat perlakuan kontrol berupa air limbah pengolahan kopi yang dibiarkan begitu saja dan tanpa perlakuan pada aquarium kaca. Adapun rincian perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1. Pada masing-masing aquarium memiliki densitas yang sama. Densitas tersebut ialah 30 gram/L. Hal tersebut berarti terdapat biomassa eceng gondok seberat 300 gram dan 10 L air limbah pengolahan kopi. Densitas tersebut merujuk pada hasil penelitian Manasika (2015), densitas eceng gondok yang direkomendasikan untuk penanganan air limbah pengolahan kopi adalah 300 gram per 10 L air limbah. Kemudian waktu tinggal eceng gondok pada aquarium selama 14 hari. Waktu tinggal tersebut merujuk pada kajian Novita dkk (2021), eceng gondok masih bertahan selama 14 hari pada pengolahan air limbah laboratorium dan mulai daun eceng gondok mulai menguning setelah hari ke-14. Kemudian kajian lainnya melaporkan bahwa eceng gondok dapat tumbuh dan menyerap bahan organik dan logam berat pada air limbah dengan rentang waktu 7-15 hari (Ali et al., 2020; Safauldeen et al., 2019; Saha et al., 2017). Selama 14 hari proses fitoremediasi dilakukan pengumpulan data berupa pengamatan harian pada parameter pH menggunakan pH meter portable dan kekeruhan menggunakan turbidimeter.

Tabel 1. Perlakuan pada Penelitian

Perlakuan (Kode)	Ulangan (Kode)		
	1	2	3
Kontrol (K)	K1	K2	K3
Panjang Akar 30 cm- Tanpa Aerasi (P30)	P301	P302	P303
Panjang Akar 10 cm- dengan Aerasi (PA10)	PA101	PA102	PA103
Panjang Akar 20 cm- dengan Aerasi (PA20)	PA201	PA202	PA203
Panjang Akar 30 cm- dengan Aerasi (PA30)	PA301	PA302	PA303

Tabel 2. Metode Pengumpulan dan Analisis Parameter Kualitas Air Limbah

Parameter	Metode Analisis-Alat Ukur	Rujukan	Waktu Pengambilan atau Pengumpulan Data
pH	Elektrometri-pHmeter	SNI 06-6989.11-2004	Selama 14 hari (Data Harian)

Parameter	Metode Analisis-Alat Ukur	Rujukan	Waktu Pengambilan atau Pengumpulan Data
Kekeruhan	Spektrofotometrik-turbidimeter	QI/LKA/11	Selama 14 hari (Data Harian) dan Data Hari ke 1 dan ke 14
<i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	Titrimetri-Metode Winkler	<i>Standard Method: APHA 5210 B-1998</i>	
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	Spektrofotometrik-Spektrofotometer	QI/LKA/19	Data Awal dan Akhir (Data Hari ke 1 dan ke 14)
Amonia (NH ₃ -N)	Spektrofotometrik-Spektrofotometer	SNI 06-6989.30-2005	
Fosfat (PO ₄ -P)	Spektrofotometrik-Spektrofotometer	SNI 06-6989.30-2005	

Perbaikan kualitas air limbah menggunakan metode fotoremediasi diindikasikan oleh parameter pH, kekeruhan, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), amonia (NH₃-N), dan fosfat (PO₄-P). Rincian metode pengukuran parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Pengukuran parameter harian atau pengukuran parameter setiap hari selama 14 hari yaitu pH dan kekeruhan. Adapun parameter yang hanya diukur pada awal dan akhir penanganan yaitu kekeruhan, BOD, COD, amonia, dan fosfat. Pengukuran tersebut bertujuan untuk menghitung efisiensi fitoremediasi air limbah pengolahan kopi menggunakan eceng gondok. Kemudian hasil pengukuran akan dibandingkan dengan Baku Mutu Air Limbah Pengolahan Kopi. Analisis data dilakukan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Pendekatan tersebut akan menggabungkan pengaruh 5 perlakuan terhadap penurunan polutan pada air limbah pengolahan kopi. Penurunan polutan tersebut diidentifikasi dengan persentase nilai efisiensi penurunan bahan pencemar pada air limbah pengolahan kopi. Kemudian persamaan yang digunakan untuk mengevaluasi persentase konsentrasi bahan pencemar dapat dilihat pada persamaan 1 (Dewi, 2012; E. Novita, Wahyuningsih, et al., 2021).

$$EP = \frac{NKa - NKk}{NKk} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- EP = Efisiensi penurunan (%)
- NKa = Nilai konsentrasi awal (mg/L)
- NKk = Nilai konsentrasi akhir (mg/L)

Setelah dilakukan perhitungan efisiensi penurunan konsentrasi bahan pencemar, dilanjutkan dengan perbandingan perlakuan menggunakan uji statistika menggunakan *software* SPSS 16.0. Perbandingan perlakuan ditunjukkan untuk mendukung pembahasan lebih lanjut dalam pemilihan alternatif perlakuan. Uji statistika yang dipakai adalah *General Linier Model Repeated Measures* atau *General Linier Model* (GLM). GLM biasanya terdiri dari tiga komponen yaitu komponen random, komponen sistematis, dan fungsi penghubung yang menghubungkan dua komponen untuk menghasilkan prediktor linear (Damanik-Ambarita dkk, 2016; Araromi dkk, 2018). Pengambilan alternatif terbaik pada perlakuan variasi panjang akar dan pengaruh aerasi berdasarkan *overall* nilai persentase kekeruhan, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), amonia (NH₃-N), dan fosfat (PO₄-P).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

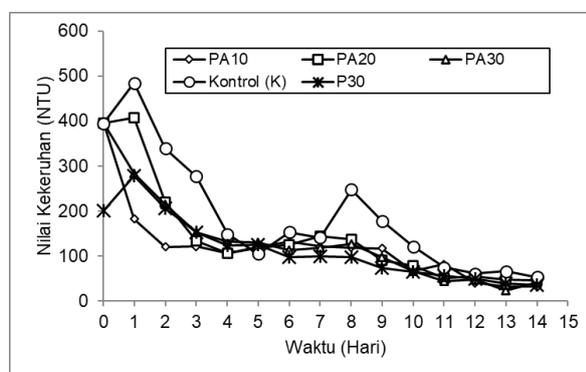
Air limbah pengolahan kopi dapat mencemari lingkungan apabila kandungan parameter kualitas air yang ada pada limbah belum memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Beberapa parameter yang belum baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 yaitu BOD, COD, dan pH. Parameter pH mengindikasikan sifat kimia air limbah pengolahan kopi asam atau basa.

Tabel 3. Karakterisasi Awal Air Limbah Pengolahan Kopi

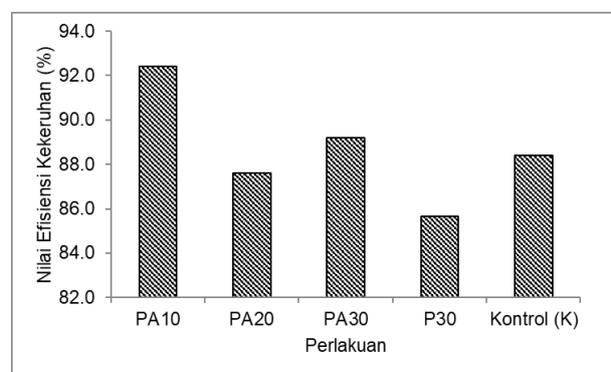
Parameter	Nilai Hasil Pengukuran	Nilai Baku Mutu*	Satuan
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	1521	90	mg/L
Chemical Oxygen Demand (COD)	2418	200	mg/L
Kekeruhan	395,2	-	NTU
pH	4,8	6-9	-
Amonia (NH ₃ -N)	173,3	-	mg/L
Fosfat (PO ₄ -P)	33,7	-	mg/L

Merujuk pada Gambar 2, proses fitoremediasi dengan menggunakan eceng gondok dan aerator mampu menurunkan nilai kekeruhan air limbah pengolahan kopi dengan nilai efisiensi penurunan lebih dari 85 % untuk semua perlakuan. Kemudian secara spesifik, persentase efisiensi penurunan parameter kekeruhan pada perlakuan PA10, PA20, PA30, P30, dan K secara berurutan yaitu sebesar 92,40%; 87,60%; 89,20%; 85,64%; dan 88,4%. Tingginya nilai rata-rata persentase penurunan pada perlakuan panjang akar 10 cm atau perlakuan PA10 dikarenakan akar yang lebih pendek membuat aerator pada akuarium berjalan secara terus menerus tanpa terhalang oleh akar eceng gondok. Kemudian pada perlakuan panjang akar 20 cm dan 30 cm sering tersumbat oleh akar eceng gondok yang masuk ke dalam aerator dan ketika aerator sudah berfungsi terjadi guncangan yang membuat endapan di dasar akuarium naik ke atas sehingga terjadi kenaikan kekeruhan. Hal tersebut mampu mempengaruhi nilai rata-rata persentase penurunan kekeruhan yang mengakibatkan perlakuan PA10 lebih tinggi dibandingkan PA20, PA30, dan P30.

Pada perlakuan kontrol penurunan nilai kekeruhan terjadi akibat penguraian senyawa organik maupun anorganik yang dilakukan oleh mikroorganisme yang ada pada limbah. Ketidakstabilan nilai kekeruhan pada perlakuan kontrol disebabkan oleh jumlah volume air yang semakin berkurang dan aerasi masih terus berjalan membuat endapan yang ada di dasar akuarium naik ke atas. Pada hari ke 7 dan ke 8 pada pengulangan ke 1, ada perbaikan aerator agar limbah yang teradapat pada akuarium tidak semakin berkurang akibat percikan yang ditimbulkan. Perbaikan aerator tersebut mengakibatkan kenaikan kekeruhan pada hari ke 8 pada pengulangan ke 1 sehingga mempengaruhi hasil rata-rata nilai parameter kekeruhan.



(A) Fluktuasi Nilai Kekeruhan Air Limbah

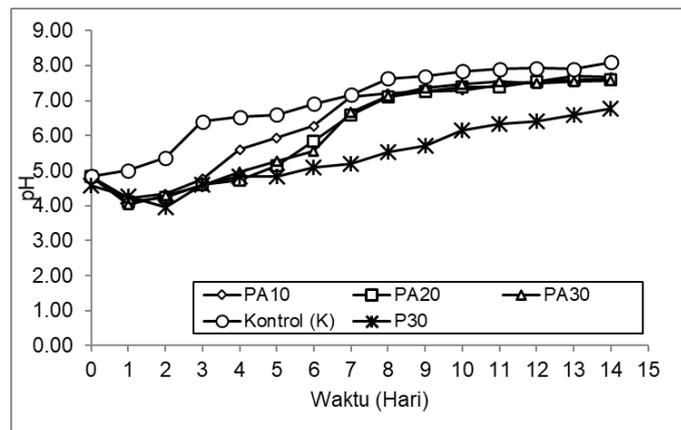


(B) Nilai Efisiensi Penurunan Parameter Kekeruhan

Gambar 2. Penurunan Nilai Parameter Kekeruhan

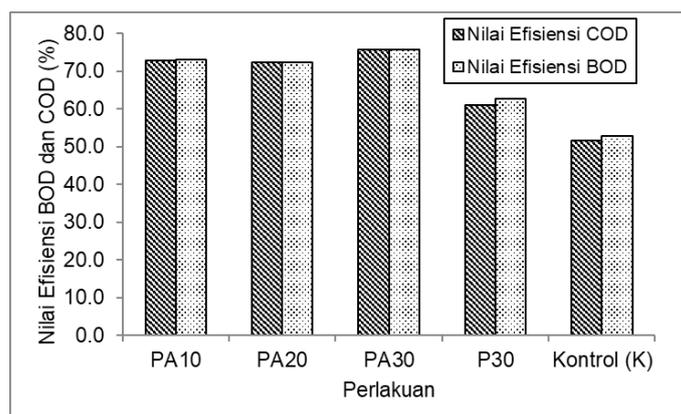
pH atau *Potential Hydrogen* mengindikasikan adanya paparan ion hidrogen (H⁺) pada air limbah pengolahan kopi. Keberadaan ion tersebut yang berlebih menyebabkan air limbah pengolahan kopi bersifat asam karena memiliki nilai pH yang rendah. Kondisi tersebut didukung oleh hasil pemeriksaan nilai pH awal pada air limbah pengolahan kopi sebesar 4,8. Air limbah pengolahan kopi cenderung bersifat asam diduga akibat adanya perombakan gula pada daging buah kopi saat proses fermentasi. Fermentasi tersebut mengakibatkan adanya konversi glukosa menjadi senyawa asam oleh bantuan mikroorganisme aerobik dan anaerobik sehingga nilai pH akan cenderung rendah (Cruz-Salomon et al., 2018; Ijanu et al., 2020). Kemudian, merujuk pada Gambar 3, untuk semua perlakuan PA10, PA20, PA30, P30, dan K memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Nilai pH perlakuan PA10, PA20, PA30, P30, dan K pada hari ke 14 pada fitoremediasi air limbah pengolahan kopi secara berurutan yaitu 7,67; 7,60; 7,57; 6,77; dan 8,10.

Dari hasil pengukuran nilai pH diatas proses selama 14 hari merepresentasikan bahwa aerasi pada setiap perlakuan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kenaikan nilai pH. Banyaknya oksigen yang masuk akibat proses aerasi terus menerus membuat difusi kadar CO₂ menjadi ion karbonat berkurang sehingga mampu menaikkan nilai pH (Nasrullah et al., 2017; E. Novita et al., 2020). Pada perlakuan kontrol yang tidak menggunakan eceng gondok kenaikan kadar pH dapat terjadi karena banyaknya oksigen yg masuk akibat proses aerasi secara terus menerus sehingga mampu meningkatkan nilai pH lebih besar daripada perlakuan yang lainnya. Kemudian, tidak terdapatnya eceng gondok pada perlakuan tersebut mengakibatkan tidak adanya pelepasan CO₂ baik melalui akar atau batang (Hidayah et al., 2018).



Gambar 3. Fluktuasi Nilai Parameter pH

Pada perlakuan P30 di akhir terjadi kenaikan pH yang tidak begitu besar daripada perlakuan yang lainnya. Fenomena ini diduga terjadi akibat *supply* oksigen yang semakin sedikit karena tidak terdapat aerasi dan mulai terjadi pembusukan dan kematian pada tanaman. Paparan bahan organik pada air limbah pengolahan kopi dapat didekati dengan pemeriksaan nilai BOD dan COD. Merujuk pada Gambar 4, pemberian aerasi pada pengolahan air limbah kopi berkontribusi pada peningkatan reduksi nilai BOD dan CODnya. Nilai efisiensi penurunan BOD untuk perlakuan PA10, PA20, PA30, P30, dan K secara berurutan yaitu 73%; 72,40%; 75,80%; 62,72%; dan 52,70%. Kemudian Nilai efisiensi penurunan BOD untuk perlakuan PA10, PA20, PA30, P30, dan K secara berurutan yaitu 72,80%; 72,30%; 75,70%; 60,90%; dan 51,50%. Secara umum, perlakuan penambahan aerasi berkontribusi pada efektivitas remediasi paparan bahan organik pada air limbah pengolahan kopi hingga mencapai lebih dari 70%.

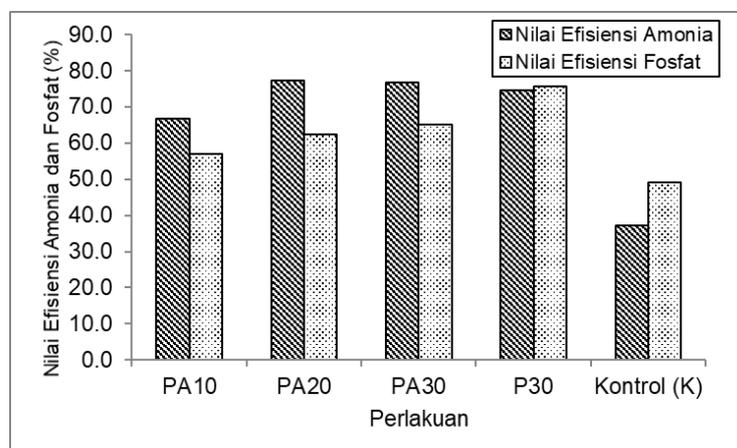


Gambar 4. Nilai Penurunan BOD dan COD

Penurunan nilai BOD sama dengan penurunan nilai COD yang disebabkan oleh proses aerasi secara terus menerus. Masuknya oksigen selama proses aerasi membuat oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mereduksi bahan organik yang terkandung pada air limbah pengolahan kopi. Metode tersebut dianggap mampu mempertahankan saturasi oksigen terlarut sehingga mampu menopang *supply* oksigen bagi mikroorganisme baik yang melekat pada akar eceng gondok maupun pada air limbah menyalakan proses biokimia (Hidayah et al., 2018). Proses tersebut akan mengoksidasi

senyawa-senyawa baik mudah urai maupun yang sulit diuraikan. Paparan unsur hara makro seperti amonia dan fosfat yang cukup tinggi dapat mengganggu kehidupan dan ekosistem perairan. Metode fitoremediasi dianggap tepat untuk menyisihkan kandungan unsur hara. Tumbuhan eceng gondok akan menyerap bahan-bahan tersebut untuk diekstraksi pada proses fotosintesis. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa persentase reduksi nilai amonia dan fosfat mencapai lebih dari 60%.

Penyebab utama penurunan kandungan amonia adalah aktifitas bakteri dan mikroorganisme seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* yang ada pada akar eceng gondok yang mampu merombak amonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2) dan nitrit menjadi nitrat (NO_3) yang dapat diserap oleh tumbuhan tersebut (Ningrum dkk, 2020). Proses ini disebut nitrifikasi Merujuk pada Gambar 5, persentase nilai efisiensi penurunan parameter amonia pada perlakuan PA10, PA20, PA30, P30, dan K secara berurutan yaitu 66,80%; 77,20%; 76,70%; 74,46%; dan 37,30%. Ketersediaan amonia yang cukup dan jumlah akar mempengaruhi kemampuan penyerapan unsur hara oleh eceng gondok. Kondisi tersebut diduga terjadi pada perlakuan PA20 yang memiliki konsentrasi amonia dan oksigen yang memadai dengan luasan akar daripada PA30. Kondisi ini mengakibatkan eceng gondok mampu bertahan hidup lebih lama pada perlakuan PA20 sehingga memiliki nilai efisiensi penurunan lebih tinggi. Injeksi oksigen melalui aerasi juga dapat mendukung perombakan amonia mengingat prosesnya berjalan secara aerobik. Proses konversi unsur hara akibat fitoremediasi terjadi pula pada fosfat.



Gambar 5. Nilai Penurunan Amonia dan Fosfat

Persentase nilai efisiensi penurunan parameter amonia pada perlakuan PA10, PA20, PA30, P30, dan K secara berurutan yaitu 66,80%; 77,20%; 76,70%; 74,46%; dan 37,30%. Di dalam ekosistem perairan fosfat terdapat dalam 3 bentuk yakni senyawa fosfat anorganik seperti *orthophosphat*, *poliphosphat* dan *phosphat* organik yang terbentuk dari kotoran atau tubuh organisme yang terurai. Ketersediaan fosfat yang cukup dan jumlah akar mempengaruhi kemampuan penyerapan unsur hara oleh eceng gondok. Kondisi ini akan berpengaruh pada nilai efisiensi penurunan fosfat. Sejalan dengan fenomena tersebut, perlakuan PA30 memiliki nilai efisiensi penurunan fosfat daripada perlakuan PA10 dan PA20. Akan tetapi nilai efisiensi penurunan fosfat tertinggi terdapat pada perlakuan P30. Hal tersebut diduga terjadi akibat paparan fosfat tidak homogen pada akuarium P30 karena tidak ada proses pengadukan sehingga konsentrasinya tidak dapat diidentifikasi secara menyeluruh. Kondisi ini serupa dengan hasil kajian Stefhany ddk, (2013), fitoremediasi dengan metode batch mengakibatkan terbentuknya butiran-butiran fosfat sehingga proses reduksi fosfat kurang maksimal. Kemudian, penambahan aerasi dapat berfungsi sebagai proses pengadukan pula secara kontinyu dan memkasimalkan proses degradasi unsur hara pada air limbah (Dahake dan Hedaoo, 2018). Eceng gondok merupakan salah satu tumbuhan air dari kingdom *plantae* dan termasuk dalam *family pontederiaceae*. Tanaman eceng gondok hidup mengapung di air dan mempunyai daun yang berbentuk oval dengan ujung pangkal yang meruncing dan tangkai yang menggelembung. Tanaman ini mampu berkembang biak dengan sangat cepat baik secara generatif maupun vegetatif. Perkembangan biakan secara vegetatif dapat melipat gandakan dua kali dalam waktu 7-14 hari (Dewi, 2012; Manasika, 2015). Eceng gondok akan mengalami perubahan morfologi seiring dengan proses reduksi polutan pada air limbah pengolahan kopi.



Gambar 6. Eceng Gondok dengan Panjang Akar 10 cm, 20 cm, dan 30 cm

Pada fitoremediasi air limbah pengolahan kopi ini sebagian tanaman mengalami pembusukan pada hari ke 5 hingga hari ke 7 pada P30 dan mati semuanya pada hari ke 14 baik dari perlakuan PA10, PA20, PA30, P30, dan K. Oleh karena itu tanaman eceng gondok tidak dapat hidup lebih dari 14 hari dengan kondisi tersebut. Kondisi morfologi tanaman eceng gondok sebelum dan sesudah fitoremediasi dapat dilihat pada [Gambar 6](#) dan [Gambar 7](#). Kematian eceng gondok mula-mula terjadi pada akuarium P30, disusul PA10 dan PA20, dan kemudian paling terakhir PA30. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian, semakin berat dan semakin panjang akar tanaman eceng gondok akan berpengaruh terhadap daya hidupnya pada fitoremediasi air limbah ([Dewi, 2012](#); [Manasika, 2015](#)).

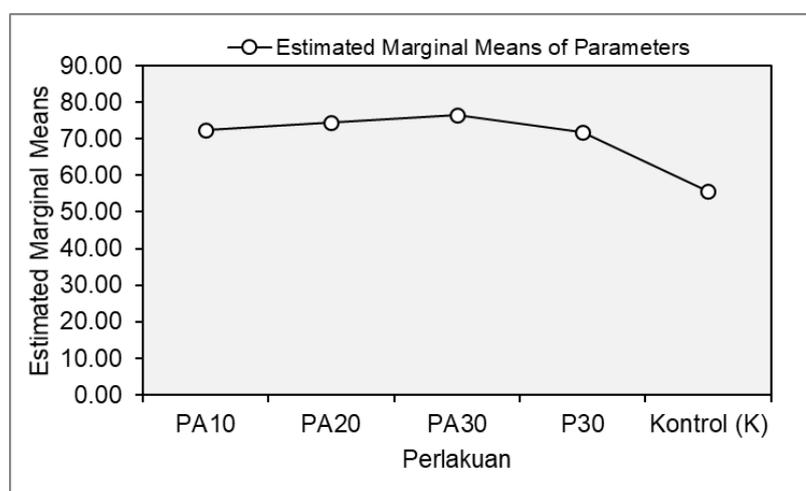


(A) Kondisi Eceng Gondok Hari ke 1 (B)Kondisi Eceng Gondok Hari ke 14
Gambar 7. Perubahan Kondisi Morfologi Eceng Gondok

Bagian tanaman yang mula-mula mati adalah daun karena metabolisme yang terdapat pada daun mati sehingga warna tepi daun menguning, layu dan kemudian megering. Ketika eceng gondok mulai mati tanaman eceng gondok mengalami pembusukan pada bagian tangkai daun, dan akar-akar tanaman mengalami kerontokan. Pada hari ke 10 akar tanaman tampak berlendir, hal ini disebabkan oleh kontaminan atau nutrient yang belum sempat terserap dan menempel pada akar eceng gondok. Puncaknya pada hari ke 14 semua tanaman dari semua perlakuan mengalami kebusukan dan mati. Selain karena kemampuan tanaman eceng gondok dalam proses *fitodegradasi* dan *fitoakumulasi* yang mengakibatkan tanaman layu dan mati, penyebab yang lainnya adalah kondisi suhu yang ada akuarium cukup tinggi yaitu mencapai lebih dari 30 °C dan suhu lingkungan juga cukup tinggi yaitu 32 °C serta

penguapan yang terjadi pada setiap akuarium membuat air limbah berkurang sehingga tanaman cepat kering dan mati.

Penanganan air limbah pengolahan kopi memiliki dampak yang beragam pada parameter kekeruhan, BOD, COD, amonia, dan fosfat. Oleh sebab itu digunakan metode uji statistik *General Linier Model* untuk generalisasi hasil penanganan air limbah pengolahan kopi menggunakan metode fitoremediasi. Generalisasi dilakukan pada perlakuan PA10, PA20, P30, dan K terhadap nilai efisiensi penurunan parameter kekeruhan, BOD, COD, amonia, dan fosfat. Merujuk pada [Gambar 8](#), merepresentasikan bahwa PA30 memiliki nilai *estimated marginal means* terbesar sejumlah 76,46 pada keseluruhan nilai persentase penurunan dari kekeruhan, COD, BOD, amonia, dan fosfat. Adapun nilai *estimated marginal means* pada perlakuan PA10, PA20, P30, dan K secara berurutan yaitu 72,39; 74,38; 71,9, dan 55,82. *Estimated marginal means* menggambarkan akumulasi *scoring* pada masing-masing perlakuan berdasarkan parameter yang dimasukkan ([Arorami et al., 2018](#); [Damanik-Ambarita et al., 2016](#)). Oleh sebab itu perlakuan PA30 digunakan sebagai rekomendasi pengolahan air limbah pengolahan berdasarkan panjang akar eceng gondok. Akan tetapi perlu dilakukan penanganan lanjutan atau penanganan sekunder agar nilai BOD dan COD air limbah pengolahan kopi tetap memenuhi baku mutu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014.



Gambar 8. Grafik Hasil Uji GLM

Pembahasan

Nilai pH limbah tersebut 4,8 dan kategori asam sehingga bersifat korosif ([Ikbal, 2016](#); [E. Novita, Salim, et al., 2021](#)). Jika air limbah pengolahan kopi langsung dialirkan ke tanah atau badan air berpotensi mencemari lingkungan dan mengancam kehidupan biotiknya. Sejalan dengan hal tersebut, berdasarkan parameter kimia berupa nilai awal BOD dan COD air limbah pengolahan kopi mengindikasikan adanya bahan organik yang cukup tinggi. Bahan organik tersebut diprediksikan berasal dari proses pemecahan senyawa-senyawa kompleks seperti karbohidrat, protein, dan lemak yang terdapat pada daging buah kopi pada saat proses fermentasi menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti monosakarida ([Buck et al., 2021](#)). Karakteristik bahan organik pada air limbah pengolahan kopi dapat diindikasikan oleh perbandingan antara nilai BOD dan COD. Kemudian nilai rasio BOD dan COD air limbah ini adalah 0,63 sehingga dalam kategori *biodegradable*. Rekomendasi pengolahan air limbah dengan karakteristik rasio BOD dan COD > 0,1 yaitu metode biologi dengan bantuan mikroorganisme dan tanaman air seperti eceng gondok (*Echhornia crassipes*) ([Saha et al., 2017](#); [Samudro & Mangkoedihardjo, 2010](#)).

Hasil analisis parameter kekeruhan yaitu proses fitoremediasi dengan menggunakan eceng gondok dan aerator mampu menurunkan nilai kekeruhan air limbah pengolahan kopi. Adanya proses aerasi pada setiap perlakuan memiliki peranan paling besar dalam proses penurunan nilai kekeruhan. Proses aerasi yang terus menerus mampu melarutkan atau memperkecil ukuran bahan organik yang terdapat pada limbah. Kemudian oksigen yang masuk akibat aerasi juga membuat penguraian zat organik oleh mikroorganisme yang ada semakin meningkat. Hal tersebut terjadi karena penurunan kekeruhan akibat adanya penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme yang juga biasa disebut dengan *fitodegradasi* ([Ansari et al., 2020](#); [Polinska et al., 2021](#)). Merujuk pada hasil penelitian, tanaman eceng gondok memiliki prinsip *rizofiltrasi* untuk menurunkan kekeruhan yakni penyerapan kontaminan bersama air dan nutrient untuk diendapkan pada bagian tanaman ([Singh & Balomajumder, 2021](#)). Semakin panjang dan banyak akar yang dimiliki eceng gondok maka semakin banyak pula

mikroorganisme yang ada pada akar sehingga proses penyerapan senyawa organik maupun anorganik meningkat.

Hasil analisis parameter PH yaitu pH mengindikasikan adanya paparan ion hidrogen (H^+) pada air limbah pengolahan kopi. Variasi akar eceng gondok memiliki pengaruh yang signifikan pada reduksi parameter BOD dan COD pula. Semakin panjang atau banyaknya akar eceng gondok membuat penguraian bahan organik yang ada di dalam limbah semakin tinggi (Dewi, 2012; Manasika, 2015). Kemampuan eceng gondok menyerap bahan organik yang ada pada air limbah pengolahan kopi juga membantu dalam penurunan kandungan BOD. Sejalan dengan pernyataan tersebut, perlakuan PA30 memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi pula hingga mencapai 75%. Akan tetapi, meskipun potensi reduksi BOD dan COD relatif tinggi air limbah pengolahan kopi belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan sehingga diperlukan penanganan lanjutan.

4. SIMPULAN

Variasi panjang akar eceng gondok dan penambahan aerasi pada pengolahan air limbah kopi menggunakan metode fitoremediasi memberikan dampak lebih positif pada perbaikan kualitas air limbah daripada fitoremediasi yang tidak menggunakan penambahan aerasi. Kemudian perlakuan PA30 atau metode fitoremediasi menggunakan eceng gondok dengan panjang akar 30 cm yang dilengkapi oleh penambahan aerasi merupakan perlakuan terbaik atau alternatif yang dipilih untuk penanganan air limbah pengolahan kopi. Hal tersebut didukung oleh hasil uji statistik menggunakan *General Linier Model* yang merepresentasikan bahwa perlakuan PA30 memiliki nilai *overall* paling tinggi daripada perlakuan PA10, PA20, P30, dan K. Persentase nilai efisiensi penurunan polutan air limbah pengolahan pada perlakuan tersebut yang diindikasikan oleh parameter kekeruhan, BOD, COD, NH_3-N , dan PO_4-P yaitu sebesar 89,19%; 75,80%; 75,69%; 76,73%; dan 64,99%. Penanganan lanjut menggunakan *secondary treatment* pada *effluent* metode fitoremediasi perlu dilakukan mengingat parameter BOD dan COD belum memenuhi baku mutu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Civitas Akademik Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember yang telah memberikan dukungan fasilitas sehingga penelitian dapat diselesaikan. Kepada beberapa pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini. Kemudian, ucapan terima kasih diberikan kepada *reviewer* atau penelaah sehingga artikel ini dapat menyajikan hasil penelitian yang semakin baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Afiat, D., Mardikaningtyas, Ibrohim, I., & Suarsini, E. (2016). Pengembangan Pembelajaran Pencemaran Lingkungan Berbasis Penelitian Fitoremediasi Untuk Menunjang Keterampilan Ilmiah, Sikap Peduli Lingkungan Dan Motivasi Mahasiswa Pada Matakuliah Dasar-Dasar Ilmu Lingkungan. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 1(3). <https://doi.org/10.17977/jp.v1i3.6179>.
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., Yavas, I. A. I., S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., Yavas, I., Unay, A., Abdel-Daim, M. M., Bin-Jumah, Hasanuzzaman, & Kalderis. (2020). 2020. Application of Floating Aquatic Plants in Phytoremediation of heavy Metals Polluted Water: A Review. *Sustainability*, 12. <https://doi.org/10.3390/su12051927>.
- Ansari, A. A., Naeem, M., Gill, S. S., & Alzuaibr, F. M. (2020). Phytoremediation of Contaminated Waters: An Eco-Friendly Technology Based on Aquatic Macrophytes Application. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.002>.
- Arorami, D. O., Majekodunmi, O. T., Adeniran, J. A., & Salawudeen, T. O. (2018). Modeling of an Activated Sludge Process for Effluent Prediction-a Comparative Using ANFIS and GLM Regression. *Environ Monit Assess*, 190. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6878-x>.
- Bisekwa, E., Njogu, P. M., & Kufa-Obso, T. (2020). Effluent Quality of Wet Process Coffee Processing Factories Growing Ecological Zones in Burundi. *International Journal of Water and Wastewater Treatment*, 6(3). <https://doi.org/10.16966/2381-5299.17>.
- Buck, N., Wohlt, D., Winter, A. R., & Ortner, E. (2021). Aroma-Active Compound in Robusta Coffee Pulp Puree-Evaluation of Physicochemical and Sensory Properties. *Molecules*, 26. <https://doi.org/10.3390/molecules26133925>.
- Campos, R. C., Pinto, V. R. A., Melo, L. F., Rocha, S. J. S. S., & Coimbra, J. S. (2021). New Sustainable Perspective

- for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical Review. *Future Food*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058>.
- Cruz-Salomon, A., Rios-Valdovinos, E., Pola-Alberos, F., Lagunas-Rivera, S., Meza-Gordillo, R., & Ruiz-Valdiviezo, V. M. (2018). Evaluation of Hydraulic Retention Time on Treatment of Coffee Processing Wastewater (CPWW) in EGSB Bioreactor. *Sustainability*, 10(83). <https://doi.org/10.3390/su10010083>.
- Damanik-Ambarita, M. N., Everaert, G., Fario, M. A. E., Nguyen, T. H. T., Lock, K., Musonge, P. L. S., Suhareva, N., Dominguez-Granda, L., Bennetsen, E., Boets, P., & Goethals, P. L. M. (2016). Generalized Linier Models to Identify Key Hydromorphological and Chemical Variabel Determining the Occurrence of Macroinvertebrates in the Guayas River Basin (Equador). *Water*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/w8070297>.
- Denisi, P., Biondono, N., Bombino, G., Falino, A., Zema, D. A., & Zimbone, S. M. (2021). A Combined System Using Lagoons and Constructed Wetland for Swine Wastewater Treatment. *Sustainability*, 13. <https://doi.org/10.3390/su132212390>.
- Dewi, Y. S. (2012). Efektivitas Jumlah Rumpun Tanaman Eceng Gondok (*Echhornia crassipes* (Mart) Solm) dalam Pengendalian Limbah Cair Domestik. *J. Tek. Ling*, 13(2). <https://doi.org/10.29122/jtl.v13i2.1414>.
- Elizabeth, J., Yuniati, R., & Wardhana, W. (2020). The Capacity of Water Hyacinth as Biofilter and Bioaccumulator based on its Size. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 902. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/902/1/012067>.
- Elystia, S., Novira, T. B., & Muria, S. R. (2021). Sistem Kultur Semikontinu dalam produksi Lipid dan Penyisihan COD Menggunakan Konsorsium Mikroalga dari Palm Oil Mill Effluent (POME). *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 10(1). <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v10i1.24099>.
- Enyew, B. G., Assefa, W. W., & Gezie, A. (2020). Socioeconomic effects of water hyacinth (*Echhornia crassipes*) in Lake Tana, North Western Ethiopia. *PLoS ONE*, 15(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237668>.
- Fereja, W. M., Tagesse, W., & Benti, G. (2020). Treatment of Coffee Processing Wastewater Using Moringa *Stenopetala* Seed Powder: Remover of Turbidity and Chemical Oxygen Demand. *Cogent Food and Agriculture*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1816420>.
- Genanaw, W., Kanno, G. G., Derese, D., & Aregu, M. B. (2021). Effect of Wastewater Discharge from Coffee Processing Plant on River Water Quality, Sidama, South Ethiopia. *Environmental Health Insights*, 15. <https://doi.org/10.1177/11786302211061047>.
- Hariyati, Y. (2014). Pengembangan Produk Olahan Kopi di Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Kabupaten Jember. *Agroekonomika*, 3(1). <https://doi.org/10.21107/agriekonomika.v3i1.442.g413>.
- Hasibuan, A. A., Yuniati, R., & Wardhana, W. (2020). The growth rate and chlorophyll content of water hyacinth under different type of water sources. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*, 902. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/902/1/012064>.
- Hidayah, E. N., Djalalemah, A., Asmar, G. A., & Cahyunugroho, O. H. (2018). Pengaruh Aerasi dalam Constructed Wetland pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(2). <https://doi.org/10.14710/jil.16.2.155-161>.
- Ijanu, E. M., Kamaruddin, M. A., & Norashiddin, F. A. (2020). Coffee Processing Wastewater Treatment: a Critical Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative. *Applied Water Science*, 10. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1091-9>.
- Ikbal. (2016). Peningkatan Kinerja IPAL Lumpur Aktif dengan Penambahan Unit: Studi Kasus IPAL Pasaraya Blok M, Kapasitas 420 m³/hari. *Jurnal Air Indonesia*, 9(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v9i1.2471>.
- Imron, I., Dermiyati, D., Sriyani, N., Yuwono, S. B., & Suroso, E. (2019). Perbaikan Kualitas Air Limbah Domestik Dengan Fitoremediasi Menggunakan Kombinasi Beberapa Gulma Air: Studi Kasus Kolam Retensi Talang Aman Kota Palembang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1). <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.51-60>.
- Manasika, A. P. (2015). *Analisis Pengaruh Variasi Densitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solm) pada Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Universitas Jember.*
- Nasrullah, S., Hayati, R., & Kadaria, U. (2017). Pengolahan Limbah Karet dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman *Typha angustifolia*. *Jurnal Teknologi Lahan Basah*, 5(1). <https://doi.org/10.26418/jtlb.v5i1.18546>.
- Novita, E., Salim, M. B., & Pradana, H. A. (2021). Penanganan Air Limbah Industri Kopi dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Alami Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* L.). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 22(1). <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2021.022.01.2>.

- Novita, E., Wahyuningsih, S., Jannah, D. A. N., & Pradana, H. A. (2020). Fitoremediasi Air Limbah Laboratorium Analitik Universitas Jember dengan Pemanfaatan Eceng Gondok dan Lembang. *Jurnal Bioteknologi Dan Biosains Indonesia*, 7(1). <https://doi.org/10.29122/jbbi.v7i1.3850>.
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Kamil, N. S., & Pradana, H. A. (2021). Model Adsorpsi Isoterm Arang Aktif Kulit Kopi pada Penurunan Warna Air Limbah Pengolahan Kopi. *Agrin*, 25(1). <https://doi.org/10.20884/1.agrin.2021.25.1.561>.
- Novita, Elida, Wahyuningsih, S., & Pradana, H. A. (2018). Variasi komposisi input proses anaerobik untuk produksi biogas pada penanganan limbah cair kopi. *Jurnal Agroteknologi*, 12(1), 43–57. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v12i1.7887>.
- Polinska, W., Kotowska, U., Kiejza, D., & Karpinska, J. (2021). Insights in to the Use of Phytoremediation Processes for Removal of Organic Micropollutants from Water and Wastewater; A Review. *Water*, 13. <https://doi.org/10.3390/w13152065>.
- Priya, E. S., & Selva, P. S. (2014). Water Hyacinth (*Echhornia crassipes*) - An Efficient and Economic Adsorbent for Textile Effluent Treatment-A Review. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.03.002>.
- Rattan, S., Parande, A. K., Nagaraju, V. D., & Ghiwari, G. K. (2015). Comprehensive Review on Utilization of Wastewater from Coffee Processing. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 22(9). <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4079-5>.
- Safauldeen, S. H., Hasan, H. A., & Abdullah, S. R. S. (2019). Phytoremediation Efficiency of Water Hyacinth for Batik Textile Effluent Treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 20(9). <https://doi.org/10.12911/22998993/112492>.
- Saha, P., Shide, O., & Sarkar, S. (2017). Phytoremediation of Industrial Mines Wastewater Using Water Hyacinth. *International Journal of Phytoremediation*, 19(1). <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1216078>.
- Samudro, G., & Mangkoedihardjo, S. . (2010). Review on the BOD, COD, and BOD/COD ratio: A Triangle Zone for Toxic, Biodegradable, and Stable Level. *International Journal of Academic Research*, 2(4).
- Setiyono, A., & Gustaman, R. A. (2017). Pengendalian Krom (Cr) yang Terdapat di Limbah Batik dengan Metode Fitoremediasi. *Unnes Journal of Public Health*, 6(3). <https://doi.org/10.15294/ujph.v6i3.15754>.
- Singh, N., & Balomajumder, C. (2021). Phytoremediation Potential of Water Hyacinth (*Echhornia crassipes*) for Phenol and Cyanide Elimination from Synthetic/simulated wastewater. *Applied Water Science*, 11(144). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01472-8>.
- Songca, S. P., Mochochoko, T., Oluwafemi, O. S., & Jumbam, D. N. (2013). Green synthesis of silver nanoparticles using cellulose extracted from an aquatic weed; water hyacinth. *Carbohydrate Polymers*, 98(1). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.038>.
- Valipour, A., Raman, V. K., & Ahn, Y.-H. (2015). Effectiveness of Domestic Wastewater Treatment Using Bio-Hedge Water Hyacinth Wetland System. *Water*, 7. <https://doi.org/10.3390/w7010329>.