

Pengolahan Air Limbah dari Kegiatan Pemeliharaan dan Pencucian Lokomotif dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Niswah Nafiat dan Harmin Sulistiyaning Titah
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: niswah.nn98@gmail.com

Abstrak—Kegiatan pemeliharaan dan pencucian lokomotif menghasilkan air limbah yang mengandung fosfat, COD, dan BOD yang tinggi. Metode pengolahan yang digunakan yaitu dengan tumbuhan atau disebut fitoproses. Penelitian ini menggunakan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Sebelum dilakukan fitoproses, tahap propagasi, aklimatisasi, dan *range finding test* (RFT) dilakukan terlebih dahulu terhadap tumbuhan air yang digunakan. Kemudian, penelitian utama atau fitoproses dilakukan pada reaktor berupa kontainer berukuran 30 L dengan dimensi 38,5 x 30 x 24 cm selama 14 hari. Penelitian ini menggunakan air limbah yang berasal dari Depo Lokomotif Sidotopo, Surabaya yang memiliki nilai pH 6,3, fosfat 91,25 mg/L, COD 20944 mg/L, dan BOD 7960 mg/L. Pada tahap RFT menunjukkan bahwa tumbuhan eceng gondok dapat bertahan pada konsentrasi 40%. Lalu, hasil fitoproses menunjukkan bahwa tumbuhan eceng gondok dapat menyisihkan fosfat sebesar 99,9%, COD sebesar 90,5%, dan BOD sebesar 99,7%.

Kata Kunci—BOD, COD, Eceng Gondok, Fitoproses, Fosfat.

I. PENDAHULUAN

DEPO Lokomotif Sidotopo merupakan salah satu depo lokomotif yang ada di Surabaya. Depo lokomotif dalam perkeretaapian Indonesia berarti pada tempat menyimpan, menyiapkan, melakukan pemeriksaan, pemeliharaan, dan perbaikan sehingga lokomotif siap menggerakkan rangkaian kereta api. Alhasil, depo lokomotif yang kegiatannya seperti perbengkelan menghasilkan air limbah cair yang banyak mengandung oli dari minyak pelumas dan bahan bakar [1], *Chemical Oxygen Demand*, dan fosfat [2].

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat pengolahan sederhana yaitu berupa sumur pemisahan yang memanfaatkan perbedaan massa jenis untuk memisahkan minyak dengan air. Namun kenyataannya, efluen air limbah yang dikeluarkan masih mengandung minyak berwarna hitam yang dapat dilihat langsung oleh mata. Hal yang menjadi kekhawatiran adalah minyak pelumas tidak dapat terurai oleh alam sehingga akan terakumulasi di dalam badan air [3]. Selain itu, kandungan fosfat dalam bentuk terlarut dapat menstimulasi pertumbuhan yang luar biasa pada alga dan rerumputan [4]. Kematian massal oleh alga dan rerumputan tersebut dapat mempercepat penuaan danau yang disebut eutrofikasi [5].

Fitoproses adalah suatu pengolahan dengan memanfaatkan tumbuhan untuk mengubah atau menghancurkan zat kontaminan menjadi kurang atau tidak berbahaya [6]. Tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Eceng gondok diketahui

tingkat penyerapannya yang tinggi, dapat beradaptasi pada lingkungan yang sangat tercemar, dan pertumbuhan biomassa yang sangat besar [7].

II. METODE PENELITIAN

A. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan terdiri dari tahap propagasi, aklimatisasi, dan *range finding test* (RFT) yang dilakukan sebelum penelitian utama.

Tahap propagasi bertujuan untuk memperbanyak dan menyediakan stok tumbuhan [8]. Tahap propagasi dilakukan minimal selama satu bulan hingga tumbuhan memiliki ukuran yang optimum [9]. Pengamatan dilakukan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan dan dibiarkan sampai tumbuh tunas [10]. Tumbuhan diamati karakteristik fisiknya yang berupa lebar daun dan panjang akar. Tumbuhan pada umur dan tinggi yang sama akan digunakan pada setiap tahapan penelitian, dengan demikian maka kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama [11].

Tahap aklimatisasi bertujuan untuk mengatur kondisi tumbuhan agar dapat beradaptasi dengan kondisi air limbah yang akan diolah dan dapat bertahan hidup hingga akhir penelitian [12]. Tumbuhan diletakkan pada reaktor yang akan digunakan pada fitoproses selama 7 hari menggunakan air Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) [13]. Determinasi tumbuhan untuk fitoproses yaitu tumbuhan yang hijau segar dan memiliki ukuran yang relatif sama [12].

Range finding test (RFT) bertujuan untuk mengetahui konsentrasi maksimum air limbah yang dapat diolah tumbuhan dengan mengamati kondisi fisiknya selama 7 hari [14]. Pengujian RFT tumbuhan dilakukan pada berbagai variasi konsentrasi air limbah [15]. Variasi konsentrasi air limbah dengan deret geometrik yang digunakan adalah 0% (sebagai kontrol), 5%, 10%, 20%, 40%, dan 80%. Pada konsentrasi air limbah tertinggi yang membuat tumbuhan masih segar atau tidak layu dan mati akan digunakan pada fitoproses [15].

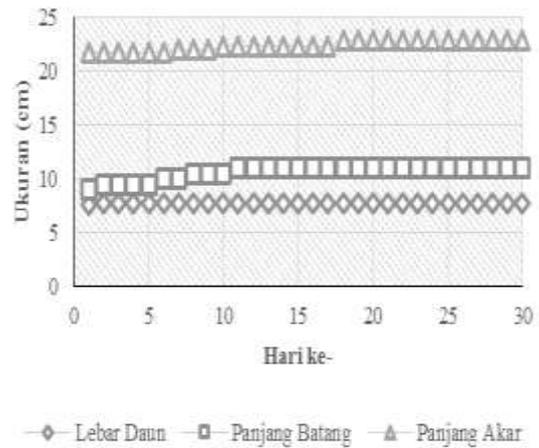
B. Penelitian Utama

Penelitian utama yaitu fitoproses terdiri dari reaktor eceng gondok berukuran 30 L dengan air limbah sebanyak 15 L. Pengamatan fitoproses dilakukan selama 14 hari [16]. Selama 14 hari, efisiensi penurunan BOD paling tinggi terjadi pada hari ke-10 [17]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan pengambilan dan pengujian sampel pada titik hari ke-0, ke-10, dan ke-14 untuk parameter fosfat, COD, dan BOD.

Tabel 1.
Karakteristik Awal Air Limbah Depo Lokomotif Sidotopo

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Metode Analisa
pH	-	6-9 ¹⁾	6,3	pH meter
TSS	mg/L	100 ¹⁾	8438	Gravimetri
Minyak dan Lemak	mg/L	10 ¹⁾	387300	Gravimetri
COD	mg/L	250 ¹⁾	20944	Refluks
BOD	mg/L	100 ¹⁾	7960	Winkler
MBAS	mg/L	10 ¹⁾	1,03	Spektrofotometri
Fosfat	mg/L	10 ¹⁾	91,25	Spektrofotometri
Kromium	ppm	1 ²⁾	0,011	Spektrofotometri
Timbal	ppm	1 ²⁾	0,052	Spektrofotometri

1) Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Cuci Kendaraan Bermotor
2) Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Bagi Kegiatan Industri Lain Untuk Golongan II



Gambar 1. Laju Pertumbuhan Eceng Gondok pada Tahap Propagasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Awal Air Limbah

Air limbah dari Depo Lokomotif Sidotopo, Surabaya dihasilkan setiap harinya. Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 14.00-15.00 WIB yang kemudian dilakukan pengujian di laboratorium Departemen Teknik Lingkungan dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) ITS.

Berdasarkan hasil analisa Tabel 1. didapatkan bahwa nilai pH, MBAS, kromium, dan timbal sudah memenuhi baku mutu, sedangkan parameter TSS, minyak dan lemak, COD, BOD, dan fosfat memiliki nilai yang sangat tinggi hingga melebihi baku mutu. Untuk parameter TSS serta minyak dan lemak tidak dianalisis dalam penelitian ini karena dibutuhkan *prattreatment* untuk menghilangkan kandungan tersebut. Selain itu, bersumber dari nilai BOD dan COD didapatkan rasio BOD/COD sebesar 0,38. Rasio BOD/COD pada kisaran 0,2-0,4 bersifat biodegradable atau bahan pencemar organik dapat terdegradasi dengan baik [18].

B. Tahap Propagasi

Pada tahapan ini ditambahkan nutrisi berupa Nutrisi AB Mix yang sering digunakan pada tumbuhan hidroponik [19]. Nutrisi AB mix merupakan larutan hara yang terdiri dari pekatan A yang berisi unsur hara makro dan pekatan B berisi unsur hara mikro [20]. Nutrisi AB Mix yang mengandung pekatan A dan pekatan B kemudian diencerkan dengan perbandingan 1:1000. Penambahan Nutrisi AB Mix dapat memengaruhi tinggi tumbuhan, jumlah daun, dan berat basah tumbuhan [21].

Pada Gambar 1. pertumbuhan lebar daun eceng gondok tidak mengalami pertambahan yang signifikan. Namun, panjang batang mengalami pertumbuhan di 10 hari pertama dan panjang akar mengalami pertumbuhan sedikit demi sedikit.

C. Tahap Aklimatisasi

Pada Gambar 2. tumbuhan dengan umur dan tinggi yang kurang lebih hampir sama diambil dari tahap propagasi untuk dilakukan tahap aklimatisasi.

D. Range Finding Test

Pada tahap RFT menggunakan ember berukuran 4 L dengan volume air limbah sebanyak 3 L Untuk setiap reaktor,



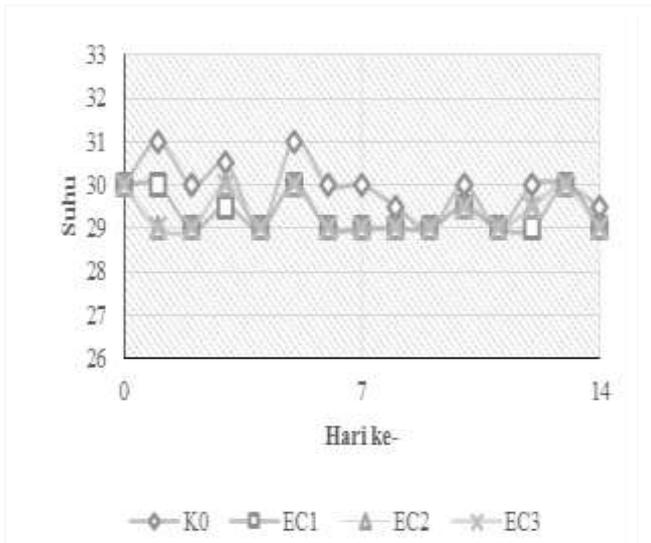
Gambar 2. Aklimatisasi Eceng Gondok.

massa tumbuhan yang digunakan ditentukan dengan perhitungan terhadap densitas tumbuhan dan volume air limbah yang digunakan. Densitas eceng gondok yang paling efektif dalam mereduksi pencemar yaitu sebesar 0,02 g/cm³ [22]. Perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa eceng gondok} &= \text{densitas} \times \text{volume air} \\ &= 0,02 \text{ g/cm}^3 \times 3000 \text{ mL} \\ &= 60 \text{ g} \end{aligned}$$

Hasil pengamatan RFT eceng gondok menunjukkan semua konsentrasi mengalami pertumbuhan tunas baru. Namun, pada konsentrasi air limbah 80% beberapa daun eceng gondok mengalami kematian. Kematian pada tumbuhan kemudian dianalisis dengan *Lethal Concentration 50 (LC₅₀)* yang merupakan konsentrasi pemaparan dari agen kimia toksik yang menimbulkan kematian dari 50% populasi percobaan [23]. LC₅₀ digambarkan pada kurva konsentrasi-respon sehingga diketahui batas kritis konsentrasi yang tidak memberi efek kematian pada tumbuhan. Oleh karena itu, LC₅₀ digunakan sebagai analisis uji definitifnya.

Pada Gambar 3. kurva konsentrasi-respon menunjukkan konsentrasi 80% sudah menyebabkan kematian tumbuhan eceng gondok lebih dari 50% populasi. Nilai LC₅₀ terletak di antara konsentrasi 40%-80% atau lebih tepatnya 60%, dimana nilai tersebut setara dengan konsentrasi fosfat 54,75 mg/L, COD 12566,4 mg/L, dan BOD 4776 mg/L. Eceng gondok diketahui dapat bertahan pada konsentrasi fosfat 53,91 mg/L, COD 17760 mg/L, dan BOD 11650 mg/L [24].



Gambar 5. Nilai Suhu pada Reaktor Eceng Gondok.

Tabel 2.
Efisiensi Penyisihan Fosfat oleh Eceng Gondok

Reaktor	Hari ke-0	Hari ke-10	Hari ke-14
K0	0%	99,9%	-
EC1	0%	89,0%	-
EC2	0%	99,9%	-
EC3	0%	94,5%	-

Oleh karena itu, eceng gondok mampu bertahan pada konsentrasi 40%. Konsentrasi tersebut kemudian digunakan untuk penelitian utama, yaitu fitoproses.

E. Fitoproses (Analisis pH dan Suhu)

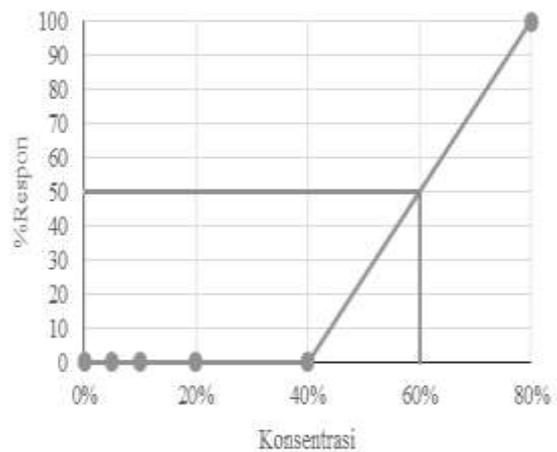
Fitoproses terdiri dari reaktor eceng gondok dengan berbagai variasi berat, reaktor kontrol tanpa tumbuhan (K0), serta reaktor kontrol tanpa limbah (KEC). Reaktor dengan variasi berat tumbuhan dijelaskan sebagai berikut:

1. Eceng gondok 200 g (EC1)
2. Eceng gondok 300 g (EC2)
3. Eceng gondok 400 g (EC3)

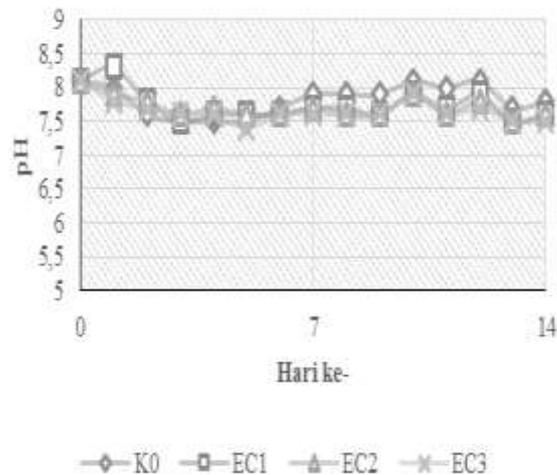
Analisis pH dan suhu dilakukan setiap hari selama fitoproses sebagai parameter pendukung. Pengukuran pH dan suhu dilakukan untuk mengetahui apakah reaktor sudah dalam kondisi optimum pertumbuhan tumbuhan.

Tumbuhan eceng gondok dapat menetralkan nilai pH sehingga membantu perkembangan aktivitas mikroba dalam air untuk mendegradasi COD dan BOD [25]. Diketahui pada Gambar 4 bahwa reaktor EC1, EC2, dan EC3 pada 5 hari pertama mengalami penurunan nilai pH hingga mendekati netral dan hari setelahnya mengalami fluktuasi pH dengan K0 lebih tinggi dari reaktor lainnya. Fluktuasi pH tersebut seharusnya berada pada kondisi optimum pertumbuhan eceng gondok yaitu pada pH 7,0-7,5 [26]. Namun kenyataannya, fluktuasi pH pada reaktor eceng gondok tidak masuk dalam rentang optimum namun masih dapat bertahan hidup dengan baik.

Pada Gambar 5. suhu air optimal untuk pertumbuhan eceng gondok berada pada kisaran 28-30°C [27]. Suhu pada reaktor EC1, EC2, dan EC3 sudah pada kondisi optimumnya. Namun, suhu pada K0 lebih tinggi dari reaktor lainnya karena tidak adanya tumbuhan menyebabkan naiknya suhu air. Oleh karena itu, penyebaran permukaan air dan lebar daun mempengaruhi rata-rata suhu air [28].



Gambar 3. Kurva Konsentrasi-Respon Eceng Gondok.



Gambar 4. Nilai pH pada Reaktor Eceng Gondok.

F. Fitoproses (Analisis Fosfat, COD, dan BOD)

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap fosfat, COD, dan BOD sebagai parameter utamanya. Hasil yang didapatkan kemudian dihitung efisiensi penyisihan pencemarnya menggunakan rumus [29]:

$$E = (C_0 - C_i) / C_0 \times 100\%$$

Keterangan:

E = Efisiensi penyisihan pencemar

C₀ = Konsentrasi parameter pencemar sebelum perlakuan

C_i = Konsentrasi parameter pencemar setelah perlakuan

Pada Tabel 2. dapat dilihat bahwa hari ke-10 eceng gondok mampu menyisihkan fosfat dalam air limbah hingga hampir mencapai 100%. Kemudian pada hari ke-14, fosfat tidak dapat terukur karena hasil absorbansi pembacaan spektrofotometri menunjukkan angka minus, yang berarti kandungan fosfat di dalamnya lebih sedikit dari blanko.

Reaktor kontrol K0 mengalami penyisihan lebih besar dari reaktor EC1, EC2, dan EC3. Hal tersebut diduga karena penyerapan langsung oleh mikroorganisme di dalam limbah tanpa adanya penyerapan oleh tumbuhan eceng gondok [24]. Oleh karena itu, penyisihan fosfat oleh tumbuhan eceng gondok dipengaruhi oleh kegiatan mikroorganisme [30]. Penyisihan fosfat tertinggi jatuh pada reaktor EC2 dan K0 yaitu sebesar 99,9% dengan nilai fosfat akhir sebesar 0,02 mg/L.

Tabel 3.
Efisiensi Penyisihan COD oleh Eceng Gondok

Reaktor	Hari ke-0	Hari ke-10	Hari ke-14
K0	0%	61,8%	61,8%
EC1	0%	80,9%	80,9%
EC2	0%	61,8%	80,9%
EC3	0%	90,5%	90,5%

Tabel 4.
Efisiensi Penyisihan BOD oleh Eceng Gondok

Reaktor	Hari ke-0	Hari ke-10	Hari ke-14
K0	0%	97,5%	97,5%
EC1	0%	98,1%	98,7%
EC2	0%	98,1%	99,4%
EC3	0%	99,4%	99,7%

Pada Tabel 3. hasil menunjukkan bahwa eceng gondok mampu menyisihkan COD paling besar pada reaktor EC3, yaitu sebesar 90,5% dan diikuti reaktor EC1 dan EC2 sebesar 80,9%. Penurunan COD terjadi karena adanya proses fotosintesis pada tumbuhan yang menyebabkan menurunnya kandungan karbondioksida (CO_2) pada air limbah. Menurunnya CO_2 mengakibatkan meningkatnya oksigen terlarut (DO) yang kemudian terciptalah kondisi aerobik untuk mendorong kegiatan bakteri aerob dalam menyisihkan kandungan COD [31].

Pada Tabel 4. reaktor dengan penyisihan terbesar hingga terkecil secara berurutan adalah EC3, EC2, EC1, dan K0. BOD merupakan bagian dari COD dan nilai BOD selalu lebih kecil dari COD. Penyisihan BOD oleh tumbuhan juga dipengaruhi oleh proses fotosintesis sama halnya dengan COD, dimana fotosintesis menyebabkan kondisi aerobik untuk bakteri melakukan tugasnya [31].

Berdasarkan hasil nilai COD dan BOD, diketahui bahwa penyisihan terbesar COD lebih kecil dari penyisihan terbesar BOD. Dikarenakan BOD merupakan senyawa organik *biodegradable* dan COD merupakan total dari senyawa organik, maka tumbuhan cenderung menyisihkan senyawa organik mudah terurainya [22].

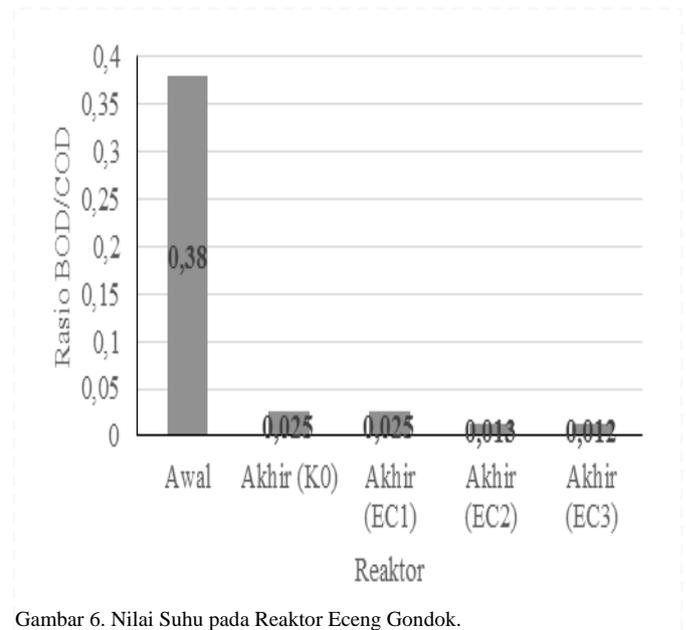
G. Fitoproses (Analisis Rasio BOD/COD)

Indikator yang menentukan tingkat biodegradasi air limbah adalah dengan rasio BOD/COD. Nilai rasio BOD/COD dapat ditentukan dengan membandingkan nilai BOD dan COD yang sudah dianalisis sebelumnya.

Pada Gambar 6. diketahui bahwa setiap reaktor, rasio BOD/COD mengalami penurunan setelah melalui fitoproses. Diketahui bahwa rasio BOD/COD akhir pada reaktor K0 sebesar 0,025, pada EC1 sebesar 0,025, pada EC2 sebesar 0,013, dan pada EC3 sebesar 0,012. Air limbah yang memiliki rasio BOD/COD antara 0 hingga 0,1 itu bersifat stabil [32]. Kemudian dapat dikatakan bahwa hasil rasio BOD/COD setelah fitoproses seluruhnya memasuki zona stabil yang merupakan batas bahan organik yang dapat dibuang dengan aman ke lingkungan tanpa berpengaruh signifikan terhadap kualitas lingkungan secara keseluruhan.

H. Uji Statistik (Anova Two-Way)

Anova bertujuan untuk mengetahui pengaruh antar masing-masing variabel dalam penelitian ini [33]. Pada Tabel 5. hasil dari uji statistik Anova ini menunjukkan pengaruh



Gambar 6. Nilai Suhu pada Reaktor Eceng Gondok.

variabel berat tumbuhan dan hari pengujian terhadap efisiensi penyisihan pencemar. Pengaruh signifikan dalam uji Anova ditunjukkan dengan *P-value* yang lebih kecil dari 0,05 (*P-value* < 0,05).

Rows menunjukkan berat tumbuhan eceng gondok sedangkan *columns* menandakan hari pengujian sampel. Nilai *P-value* < 0,05 menunjukkan bahwa variabel tersebut berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan fosfat, COD, dan BOD, sebaliknya jika nilai *P-value* > 0,05 maka variabel tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan pencemar tersebut.

Pada Tabel 6-7. hasil uji Anova untuk parameter fosfat, COD, maupun BOD menunjukkan bahwa yang memengaruhi efisiensi penyisihannya adalah hari pengujian bukan variasi berat eceng gondok. Hal tersebut dilihat dari nilai *P-value* < 0,05 untuk hari pengujian dan nilai *P-value* > 0,05 untuk berat eceng gondok.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Hasil fitoproses menunjukkan penyisihan paling efektif untuk fosfat yaitu dengan berat eceng gondok 300 g sebesar 99,9%, untuk COD dengan berat eceng gondok 400 g sebesar 90,5%, dan untuk BOD dengan berat eceng gondok 400 g sebesar 99,7%. Namun, perlu dilakukan analisis waktu regenerasi tumbuhan dalam mengolah air limbah. Selain itu, lebih baik lagi jika penelitian selanjutnya dilakukan perbandingan dengan mikrobiologis agar bisa diketahui tingkat keefektifan tumbuhan dan mikrobiologis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak PT Kereta Api Indonesia Daop VIII Surabaya yang telah memberikan izin kepada penulis untuk dapat mengambil topik Tugas Akhir di UPT Depo Lokomotif Sidotopo, Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiyono, *Teknologi Pengelolaan Limbah Industri Perbengkelan*.

Tabel 5.
Hasil Uji Anova untuk Efisiensi Penyisihan Fosfat oleh Eceng Gondok

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
K0	2	0.999454	0.499727	0.499454
EC1	2	0.890302	0.445151	0.396319
EC2	2	0.999454	0.499727	0.499454
EC3	2	0.944878	0.472439	0.446397
0	4	0	0	0
10	4	3.834088	0.958522	0.00273

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0.004096	3	0.001365	1	0.5	9.276628
Columns	1.837529	1	1.837529	1346.003	4.45E-05	10.12796
Error	0.004096	3	0.001365			
Total	1.84572	7				

Tabel 6.
Hasil Uji Anova untuk Efisiensi Penyisihan COD oleh Eceng

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
K0	3	1.236058	0.412019	0.12732
EC1	3	1.618029	0.539343	0.218168
EC2	3	1.427044	0.475681	0.178823
EC3	3	1.809015	0.603005	0.272711
0	4	0	0	0
10	4	2.94958	0.737395	0.020517
14	4	3.140565	0.785141	0.014438

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0.060792	3	0.020264	2.758621	0.134163	4.757063
Columns	1.549971	2	0.774985	105.5012	2.11E-05	5.143253
Error	0.044075	6	0.007346			
Total	1.654838	11				

Tabel 7.
Hasil Uji Anova untuk Efisiensi Penyisihan BOD oleh Eceng Gondok

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
K0	3	1.949749	0.649916	0.316793
EC1	3	1.968593	0.656198	0.322956
EC2	3	1.974874	0.658291	0.32505
EC3	3	1.990578	0.663526	0.330202
0	4	0	0	0
10	4	3.930905	0.982726	6.25E-05
14	4	3.952889	0.988222	9.45E-05

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0.000285	3	9.51E-05	3.070796	0.11247	4.757063
Columns	2.589819	2	1.29491	41822.46	3.69E-13	5.143253
Error	0.000186	6	3.1E-05			
Total	2.59026	11				

Purwokerto: BPPT Lingkungan, 2002.

- [2] A. Arini, "Perencanaan IPAL Penangkap Minyak (Oil Catcher) Menggunakan Proses Biologi dan Filtrasi. Laporan Kerja Praktek. Pontianak." Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, UNTAN. Pontianak, 2015.
- [3] D. S. Nair and M. Kurian, "Chromium-zinc ferrite nanocomposites for the catalytic abatement of Toxic environmental pollutants under ambient conditions," *J. Hazard. Mater.*, vol. 344, pp. 925–941, 2018.
- [4] Dinas Lingkungan Hidup, *Pengelolaan Air Limbah Kegiatan Bengkel Materi Sosialisasi Perencanaan Pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk Kegiatan Bengkel*. Pemerintah Kota Surabaya, Dinas Lingkungan Hidup, 2019.
- [5] V. E. Agbazue, N. R. Ekere, and Y. Shaibu, "Assessment of the levels of phosphate in detergents samples," *Int. J. Chem. Sci.*, vol. 13, No. 2, no. ISSN 0972-768X, pp. 771–785, 2015.
- [6] A. Artiyani, "Penurunan kadar N-total dan P-total pada air limbah batik dengan metode fitoremediasi aliran batch dan kontinyu menggunakan tanaman Hydrilla verticillata," *J. Spectra*, vol. 9, No 18, pp. 9–14, 2011.
- [7] N. Jafari, "Ecological and socio-economic utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart, ISolms)," *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, vol. 14, No. 2, pp. 43–49, 2010.
- [8] K. Rofifah and H. S. Titah, "Pengolahan air limbah tekstil menggunakan tanaman air dan bioaugmentasi bakteri," *J. Purifikasi*, vol. 18, No. 1, pp. 29–38, 2018.
- [9] A. L. Suelee, "Phytoremediation Potential of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) for Water Contaminated with Selected Heavy Metal," *Universiti Putra Malaysia*, 2015.
- [10] I. A. W. Al-Baldawi, S. R. S. Abdullaha, F. Sujab, N. Anuara, and M. Idrisc, "The ratio of plant numbers to the total mass of contaminant as one factor in scaling-up phytoremediation process," *Sci. Eng. J.*, vol. 74, No 3, pp. 111–114, 2015.
- [11] S. K. Karenlampi *et al.*, "Genetic engineering in the improvement of plants for phytoremediation of metal polluted soils," *Environ. Pollut.*, vol. 107, pp. 225–231, 2000.
- [12] Y. H. W. Djo, D. A. Suastuti, I. E. Suprihatin, and W. D. Sulihingtyas, "Fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) untuk menurunkan COD dan kandungan Cu dan Cr limbah cair laboratorium analitik universitas udayana," *Cakra Kim. (Indonesian EJournal Appl. Chem.)*, vol. 5, No. 2, pp. 137–144, 2017.
- [13] U. R. Puspita, A. S. Siregar, and N. V. Hidayati, "Kemampuan tumbuhan air sebagai agen fitoremediasi logam berat kromium (Cr) yang terdapat pada limbah cair industri batik," *J. Berk. Perikan. Terubu*, vol. 39, No. 1, no. ISSN 0126-4265, 2011.

- [14] K. P. Arumdadi, "Pengolahan Air Limbah Industri Batik Menggunakan Koagulasi Kimia dan Eceng Gondok dengan Bioaugmentasi menggunakan *Pseudomonas aeruginosa*," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [15] A. Herrera, "Fito Pengolahan Untuk Dekonsentrasi Warna Rhodamin B, Metilen Biru dan Metil Violet dengan Tumbuhan Air *Eichhornia crassipes* dan *Pistia stratiotes*," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [16] A. S. Ramadhani, "Penyisihan Kromium (VI) oleh Eceng Gondok dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [17] A. F. Ramadhan, E. Sutrisno, and S. Sumiyati, "Efisiensi penyisihan BOD dan fosfat pada air limbah pencucian pakaian (laundry) dengan menggunakan fitoremediasi tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.)," *J. Tek. Lingkungan*, vol. 6, No. 3, pp. 1–11, 2017.
- [18] S. Mangkoedihardjo and G. Samudro, *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha ilmu, 2010.
- [19] M. H. Jensen, "Hydroponics worldwide. ISHS acta horticulturae, in international symposium on growing media and hydroponics," *J. Hort Technol.*, vol. 2, No. 98, pp. 719–730, 2007.
- [20] R. U. Nugraha, "Sumber Hara Sebagai Pengganti AB mix pada Budidaya Sayuran Daun Secara Hidroponik," Institut Pertanian Bogor, 2014.
- [21] L. Hidayanti and T. Kartika, "Pengaruh nutrisi AB mix terhadap pertumbuhan tanaman bayam merah (*Amaranthus tricolor* L.) secara hidroponik," *Sainmatika J. Ilm. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 16, No. 2, pp. 166–175, 2019.
- [22] D. G. Raissa, "Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [23] N. P. Tanri, "Uji Toksisitas Oralakut dan Subkronik Produk Pangan BPPT yang In Vitro Meningkatkan Respon Imun Tubuh," Universitas Indonesia, 2011.
- [24] Setyorini, "Kajian Proses Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms) pada Berbagai Variasi Konsentrasi Limbah Cair Kopi," Universitas Jember, 2015.
- [25] P. Gupta, S. Roy, and A. B. Mahindrakar, "Treatment of water using water hyacinth, water lettuce, and vetiver grass-A review," *Resour. Environ.*, vol. 2, No. 5, pp. 202–215, 2012.
- [26] L. S. Widyanto, "Ekologi eceng gondok," *Compil. Pap. Rep. 1974-1979. SEAMEO BIOTROP*, 1981.
- [27] R. D. Ratnani, I. Hartati, and L. Kurniasari, "Pemanfaatan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk menurunkan kandungan COD (Chemical Oxygen Demand), pH, bau, dan warna pada limbah cair tahu," *Momentum*, vol. 7, No. 1, pp. 41–47, 2011.
- [28] Y. S. Dewi, "Efektivitas jumlah rumpun tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solm) dalam pengendalian limbah cair domestik," *J. Tek. Lingkungan*, vol. 13, No. 2, no. ISSN 1441-318X, pp. 151–158, 2012.
- [29] Muljadi, "Efisiensi instalasi pengolahan limbah cair industri batik cetak dengan metode fisika-kimia dan biologi terhadap penurunan parameter tercemar (BOD, COD, dan logam berat krom (Cr) studi kasus di desa Butulan Makam Haji Sukoharjo)," *J. Ekuilibirum*, vol. 8, No. 1, pp. 7–16, 2009.
- [30] P. Kristanto, *Ekologi Industri*. Yogyakarta: ANDI, 2004.
- [31] Q. Mahmood, P. Zheng, M. R. Siddiqi, E. U. Islam, M. R. Azim, and Y. Hayat, "Anatomical studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) under the influence of textile wastewater," *J. Zheijang Univ. Sci. B*, vol. 6, No. 10, pp. 991–998, 2005.
- [32] G. Samudro and S. Mangkoedihardjo, "Review on BOD, COD and BOD/COD ratio: a triangle zone for toxic, biodegradable and stable levels," *Int. J. Acad. Res.*, vol. 2, No. 4, pp. 235–239, 2010.
- [33] Furqon, *Statistika Terapan untuk Penelitian Cetakan Ketujuh*. Bandung: ALFABETA, 2009.