

Penurunan Kandungan BOD, COD, TSS, dan Warna pada Limbah Cair Industri Batik Menggunakan *Cyperus papyrus* dan *Eleocharis dulcis* dengan Sistem *Reed Bed*

Aina Nur Rofiqoh dan Harmin Sulistiyaning Titah

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: harminsulis@gmail.com

Abstrak—Proses pembuatan batik menggunakan pewarna sintetis dan bahan kimia menghasilkan air limbah mengandung zat-zat kimia yang meningkatkan kandungan BOD, COD, TSS, dan warna pada air limbah. Pengolahan air limbah dengan sistem *reed bed* merupakan salah satu alternatif yang banyak digunakan karena kemudahan dalam konstruksi dan pemeliharannya. Struktur utama *reed bed system* (RBs) yaitu lapisan bawah yang kedap air, terdapat kerikil dan pasir sebagai media penyaringan alami, dan tumbuhan. Tumbuhan *Cyperus papyrus* dan *Eleocharis dulcis* dapat meningkatkan kualitas air karena mempunyai kemampuan menyerap pencemar dalam air. Penelitian ini menganalisis kemampuan tumbuhan *Cyperus papyrus* dan *Eleocharis dulcis* dalam menurunkan kandungan pencemar pada air limbah industri batik menggunakan sistem *reed bed* dengan tipe pengaliran *free surface flow* (FSF) secara *batch* selama 7 hari. Karakteristik limbah cair industri batik di salah satu *home industry* batik di Kecamatan Kauman, Tulungagung mempunyai kandungan BOD 1123,65 mg/L, COD 2488,89 mg/L, TSS 1380 mg/L, pH 7,4, dan warna 0,859 A. Hasil *Range Finding Test* (RFT) tumbuhan dapat bertahan hidup pada konsentrasi limbah 10%. Penurunan kandungan BOD, COD, TSS, dan warna limbah cair industri batik paling efektif dan memenuhi baku mutu yaitu pada reaktor menggunakan tumbuhan *Cyperus papyrus* dengan waktu tinggal 5 hari dengan kandungan BOD 24,56 mg/L, COD 114,29 mg/L, TSS 50 mg/L, dan warna 0,038 A. Efisiensi penyisihan BOD 78,14%, COD 54,08%, TSS 63,77%, dan warna 56,34%.

Kata Kunci—*Cyperus Papyrus*, *Eleocharis Dulcis*, *Free Surface Flow* (FSF), Limbah Cair Industri Batik, Sistem *Reed Bed*.

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN industri di Indonesia dari masa ke masa semakin meningkat salah satunya industri batik yang merupakan karya seni budaya bangsa yang turun menurun. Perkembangan industri batik tersebut menyebabkan banyak bermunculan *home industry* batik, salah satunya di Tulungagung. Keberadaan usaha batik tersebut dapat meningkatkan perekonomian pengrajin, akan tetapi hal tersebut belum diimbangi dengan pengetahuan dalam pengolahan limbah batik. Peningkatan industri batik di Indonesia tidak hanya meningkatkan perekonomian tetapi menimbulkan permasalahan terkait lingkungan akibat limbah yang dihasilkan [1].

Produksi batik merupakan salah satu industri tekstil yang paling banyak menggunakan air sehingga limbah cair yang dihasilkan mencapai 80% dari penggunaan airnya. Semakin meningkatnya produksi batik, maka semakin meningkatkan air limbah yang dihasilkan [2]. Proses produksi batik melalui

tahapan pemolaan, pemalaman dengan malam/lilin sebagai perintah warna, pewarnaan celup, pelorodan (penghilangan lilin) dan pekerjaan akhir (*finishing*). Proses pewarnaan batik menggunakan pewarna sintetis menghasilkan limbah cair yang mengandung zat-zat kimia yang dapat meningkatkan warna air limbah dan *chemical oxygen demand* (COD) air limbah. Proses pembilasan malam pada pembuatan batik berpotensi meningkatkan kandungan *biological oxygen demand* (BOD) air limbah [3]. Proses pencucian dan pewarnaan pada industri batik juga menghasilkan air limbah yang mengandung kadar minyak tinggi, sisa-sisa warna, dan beracun (mengandung limbah B3 tinggi), sehingga berbahaya jika langsung dibuang ke saluran air [4].

Limbah batik mengandung BOD, COD, TSS, dan warna yang tinggi sehingga sebelum dibuang perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar tidak mencemari lingkungan. Pengolahan limbah cair industri batik dengan sistem *reed bed* dapat digunakan sebagai alternatif karena sistem tersebut menggabungkan proses fisik, kimia, dan biologi serta mudah dalam konstruksi dan pemeliharannya. Kemudahan dalam pemeliharaan sistem *reed bed* dapat diterapkan untuk industri skala kecil atau *home industry* seperti di salah satu *home industry* batik di Kecamatan Kauman, Tulungagung yang masih belum melakukan pengolahan limbah tetapi dibuang langsung ke sungai. Pembuangan limbah industri batik yang banyak mengandung bahan kimia ke sungai dapat menyebabkan pencemaran air sungai. Oleh karena itu diperlukan pengolahan sebelum dibuang ke sungai.

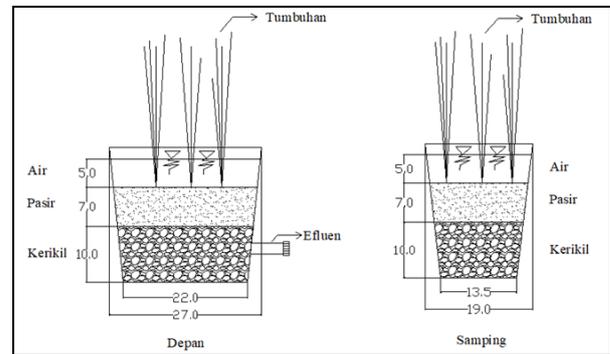
Pada penelitian ini dilakukan pengolahan limbah cair industri batik dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus papyrus* dan *Eleocharis dulcis* dengan tipe aliran *free surface flow* (FSF). Tumbuhan *Cyperus papyrus* dapat meningkatkan kualitas air limbah dengan kemampuannya yang dapat menurunkan senyawa organik, logam berat, patogen, kelebihan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor [5]. Tumbuhan *Eleocharis dulcis* dapat menurunkan polutan melalui proses fitovolatilisasi yaitu penyerapan polutan oleh tumbuhan dan mengalami transformasi sebelum dilepasakn dalam bentuk uap cair ke atmosfer [6]. Penelitian ini dilakukan untuk mengubah kondisi air limbah yang semula toksik maupun *biodegradable* menjadi dalam kondisi stabil (proses stabilisasi), seiring proses stabilisasi tersebut juga dapat diketahui tingkat penurunan BOD, COD, TSS, dan warna yang dipengaruhi oleh variasi jenis tumbuhan terhadap lamanya waktu pengolahan.

Tabel 1.
Karakteristik Limbah

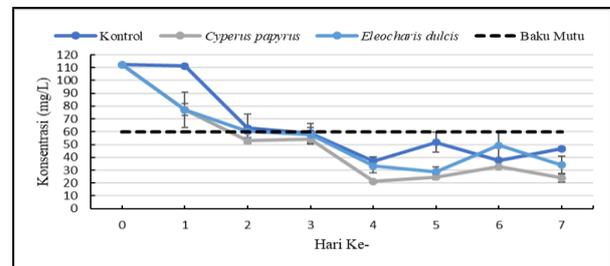
No	Parameter	Hasil Analisis	Baku Mutu
1	BOD	1123,65 mg/L	60 mg/L
2	COD	2488,89 mg/L	150 mg/L
3	TSS	1380 mg/L	50 mg/L
4	pH	7,4	6,0 - 9,0
5	Warna	0,859 A	200 Pt-Co

Tabel 2.
Hasil Range Finding Test

Konsentrasi Limbah % (v/v)	Hidup		Efek Kematian Tumbuhan
	Hidup	Letal	
<i>Cyperus papyrus</i> 0%	3	0	0,00%
<i>Cyperus papyrus</i> 10%	2	1	33,33%
<i>Cyperus papyrus</i> 25%	0	3	100,00%
<i>Cyperus papyrus</i> 50%	0	3	100,00%
<i>Cyperus papyrus</i> 75%	0	3	100,00%
<i>Cyperus papyrus</i> 100%	0	3	100,00%
<i>Eleocharis dulcis</i> 0%	3	0	0,00%
<i>Eleocharis dulcis</i> 10%	2	1	33,33%
<i>Eleocharis dulcis</i> 25%	0	3	100,00%
<i>Eleocharis dulcis</i> 50%	0	3	100,00%
<i>Eleocharis dulcis</i> 75%	0	3	100,00%
<i>Eleocharis dulcis</i> 100%	0	3	100,00%



Gambar 1. Reaktor Sistem *Reed Bed*.



Gambar 2. Penyisihan BOD.

II. METODE PENELITIAN

A. Analisis Karakteristik Limbah

Pada penelitian pendahuluan yang telah dilakukan didapatkan karakteristik limbah cair industri batik di salah satu *home industry* batik di Kecamatan Kauman, Tulungagung. Limbah yang digunakan merupakan limbah dari keseluruhan proses pembuatan batik yaitu pada proses pewarnaan, penghilangan malam (nglorod), dan pencucian. Limbah cair industri batik diukur berdasarkan parameter baku mutu air limbah industri batik pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah lampiran II terkait baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri tekstil untuk debit $\leq 100 \text{ m}^3/\text{hari}$. Analisis karakteristik limbah cair industri batik dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Propagasi Tumbuhan

Pada tahap propagasi dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan tumbuhan sampai tumbuh tunas baru (*second generation*). Propagasi tumbuhan dilakukan dengan menggunakan air PDAM dan media tanah organik yang terdiri dari tanah kebun, sekam bakar, pupuk kandang, pupuk organik, dan vitamin B1.

C. Aklimatisasi Tumbuhan

Aklimatisasi tumbuhan dilakukan supaya tumbuhan dapat menyesuaikan dengan lingkungan yang baru. Tahapan aklimatisasi tumbuhan dilakukan selama 7 hari dengan media tanam pasir dan akuades. Pada tahap aklimatisasi dipilih tumbuhan yang keadaannya tidak mati dan tidak layu untuk digunakan pada uji *range finding test* (RFT) dan *phytotreatment*. Kriteria tumbuhan yang digunakan adalah tumbuhan yang belum mengalami fase generatif yaitu belum mengalami tahap perbungaan atau muncul tumbuhan baru. Tumbuhan *Cyperus papyrus* yang dipilih tinggi batangnya

berkisar 60-100 cm [7]. Tumbuhan *Eleocharis dulcis* yang digunakan memiliki tinggi berkisar 50-100 cm [8].

D. Range Finding Test

Range finding test dilakukan untuk menentukan konsentrasi limbah yang akan digunakan untuk uji *phytotreatment* pada reaktor *reed bed*. Variasi konsentrasi limbah yang digunakan yaitu 100%, 75%, 50%, 25%, 10%, dan 0% sebagai kontrol. Variasi konsentrasi dibuat dengan mencampurkan limbah cair industri batik dengan akuades. Volume air yang digunakan yaitu 2 liter dengan media tanam pasir dengan berat 3 kg pada setiap reaktor. Jumlah tumbuhan yang digunakan pada setiap reaktor sebanyak 3 batang untuk tumbuhan *Cyperus papyrus* dan 3 rumpun untuk tumbuhan *Eleocharis dulcis*. Dalam satu rumpun tumbuhan *Eleocharis dulcis* terdiri dari 4-6 batang tumbuhan. Tumbuhan *Cyperus papyrus* yang digunakan memiliki tinggi berkisar 60-80 cm. Tumbuhan *Eleocharis dulcis* yang digunakan memiliki tinggi berkisar 50-70 cm. *Range finding test* selama 7 hari dan dilakukan pengamatan terhadap perubahan fisik pada tumbuhan. Hasil *range finding test* dapat dilihat pada Tabel 2.

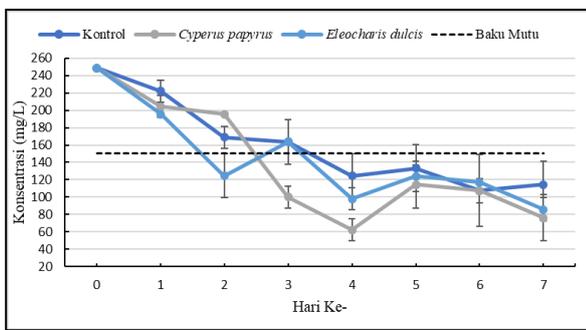
E. Reaktor *Reed Bed*

Reaktor penelitian yang digunakan berupa kontainer berbahan plastik dengan tinggi 24 cm dengan volume 8 L. Volume air limbah pada setiap reaktor adalah 5,5 L. Reaktor sistem *reed bed* dapat dilihat pada Gambar 1.

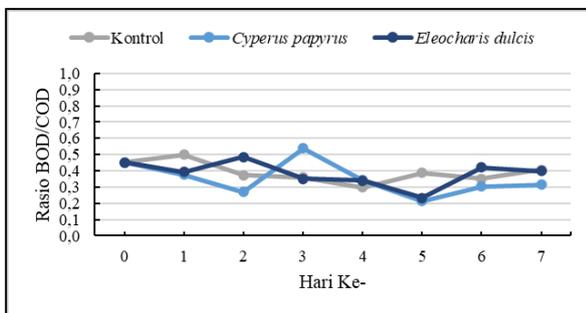
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Nilai BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba untuk menguraikan atau mengoksidasi hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat organik yang tersuspensi dalam air. Berikut adalah hasil penyisihan BOD yang didapatkan selama proses fitoremediasi pada reaktor sistem *reed bed* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Penyisihan COD.



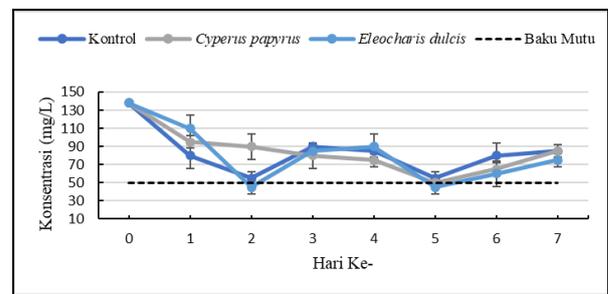
Gambar 4. Rasio BOD/COD.

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada terjadi penurunan nilai BOD pada reaktor kontrol tanpa tumbuhan maupun reaktor dengan tumbuhan. Pada hari ke-1 sampai ke-4 terjadi penurunan konsentrasi BOD seiring bertambahnya waktu tinggal. Penurunan nilai BOD dapat terjadi secara fisik dan biologis. Penurunan BOD secara fisik terjadi melalui proses pengendapan dan penangkapan material partikulat di ruang media seperti kerikil. Penurunan BOD secara biologis terjadi karena aktivitas mikroba pada permukaan media dan yang menempel pada akar serta penetrasi *rhizoma* pada *bed*. Pada hari ke-5 penelitian, konsentrasi BOD meningkat kembali namun tidak signifikan. Peningkatan BOD dapat terjadi karena konsentrasi ion limbah yang diabsorpsi melebihi batas maksimum tumbuhan sehingga terjadi kejenuhan yang menyebabkan kenaikan konsentrasi BOD [9]. Kenaikan konsentrasi BOD terjadi karena kondisi tumbuhan mulai menguning ujungnya sehingga berpengaruh terhadap aktivitas metabolisme tumbuhan yang mengakibatkan penurunan penyisihan konsentrasi BOD. Penyisihan BOD terendah terjadi pada hari ke-4 dalam reaktor menggunakan tumbuhan *Cyperus papyrus* dengan konsentrasi BOD 21,27 mg/L. Efisiensi penyisihan BOD sebesar 81,07%.

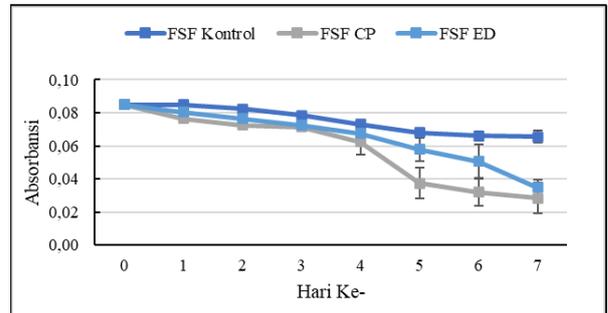
B. Analisis COD (Chemical Oxygen Demand)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi secara kimia. Berikut adalah hasil penyisihan COD yang didapatkan selama proses fitoremediasi pada reaktor sistem *reed bed* yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada terjadi penurunan nilai COD sejalan dengan penurunan BOD yang mengindikasikan bahwa bahan organik yang terkandung dalam air limbah sebagian besar merupakan bahan organik yang *biodegradable* (dapat terdegradasi secara biologis). Pada reaktor kontrol tanpa tumbuhan maupun reaktor dengan tumbuhan. Pada hari ke-1 sampai ke-4 terjadi penurunan konsentrasi COD seiring bertambahnya waktu



Gambar 5. Penyisihan TSS.



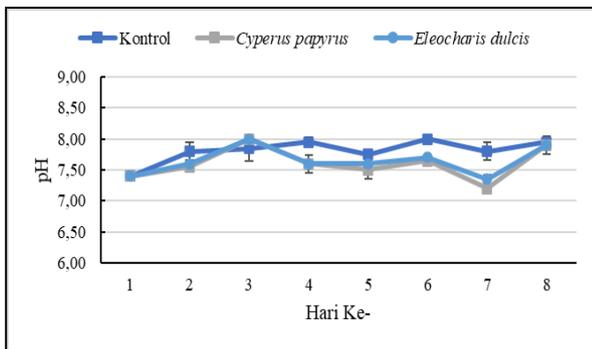
Gambar 6. Penyisihan Warna.

tinggal. Penurunan konsentrasi COD terjadi karena aktivitas tumbuhan pada proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen kemudian dilepas ke dalam air atau limbah yang dapat mengoksidasi senyawa organik. Selain itu, bakteri yang terdapat pada akar tumbuhan akan memecah senyawa organik pada limbah secara aerob menjadi senyawa lebih sederhana yang akan diserap oleh tumbuhan sebagai sumber nutrisi [10]. Pada hari ke-5 penelitian, konsentrasi COD meningkat kembali namun tidak signifikan. Kenaikan konsentrasi COD pada hari ke-5 terjadi karena kondisi tumbuhan mulai menguning ujungnya akibat akumulasi beban pencemar yang diterima tumbuhan sudah besar sehingga berpengaruh terhadap aktivitas metabolisme tumbuhan yang mengakibatkan penurunan penyisihan konsentrasi COD. Hal tersebut terjadi karena sintesis klorofil yang berkurang akibat hambatan metabolisme oleh kandungan pencemar pada air limbah. Penyisihan COD terendah terjadi pada hari ke-4 dalam reaktor menggunakan tumbuhan *Cyperus papyrus* dengan konsentrasi COD 62,22 mg/L. Efisiensi penyisihan COD sebesar 75,00%.

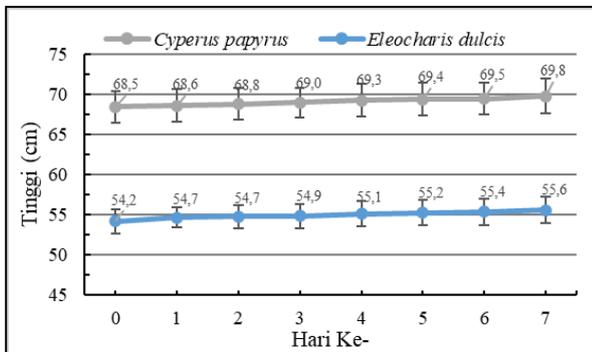
C. Analisis Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD merupakan indikator untuk dampak dari zat organik pada air limbah. Tingkat degradasi berbanding lurus dengan rasio BOD/COD, semakin besar nilai rasio BOD/COD maka semakin besar tingkat [11]. Hasil perhitungan rasio BOD/COD dapat dilihat pada Gambar 4.

Rasio BOD/COD berada diantara 0,2-0,6 yang menunjukkan bahwa limbah berada pada zona *biodegradable* yaitu batas bahan organik yang dapat diuraikan oleh organisme dalam proses pengolahan alami maupun buatan. Rasio BOD/COD berada pada zona *biodegradable* menunjukkan bahwa penyisihan BOD dan COD air limbah dilakukan oleh mikroorganisme yang ada pada rizosfer. Penurunan konsentrasi BOD dan COD terjadi akibat aktivitas mikroorganisme di luar tumbuhan. Mikroorganisme yang berada pada rizosfer merupakan dari domain *Archaea* yaitu mikroorganisme bersel satu. *Archaea* memiliki struktur molekul yang unik dan sistem metabolisme yang spesifik



Gambar 7. Analisis pH.



Gambar 8. Analisis Tinggi Tumbuhan.

sehingga dapat bertahan hidup bahkan di lingkungan yang merugikan. Interaksi *Archaea* di berbagai ekosistem mempunyai fungsi ekologis diantaranya metanogenesis, oksidasi amonia, degradasi hidrokarbon, reduksi sulfat, dll [12].

D. Analisis TSS (Total Suspended Solid)

Nilai TSS berkaitan dengan kekeruhan dalam air salah satunya disebabkan oleh adanya kandungan zat padat tersuspensi dalam air seperti tanah liat, lumpur alami, dan pasir halus, yang merupakan bahan-bahan anorganik maupun organik yang melayang dalam air [13]. Berikut adalah hasil penyisihan TSS yang didapatkan selama proses fitoremediasi pada reaktor sistem *reed bed* yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada terjadi penurunan nilai TSS pada reaktor kontrol tanpa tumbuhan maupun reaktor dengan tumbuhan. Pada hari ke-1 sampai ke-2 terjadi penurunan konsentrasi TSS. Penurunan konsentrasi TSS terjadi melalui proses filtrasi dan sedimentasi. Penurunan konsentrasi TSS juga terjadi karena proses pengolahan zat organik oleh mikroorganisme yang menempel pada akar maupun yang tumbuh pada media tanam. Pada hari ke-3 sampai ke-4 terjadi kenaikan dan pada hari ke-5 terjadi penurunan kembali. Kemampuan filtrasi media dalam menyerap TSS semakin berkurang karena beban yang diserap sudah besar sehingga sudah tidak cukup efektif lagi untuk menyerap TSS dalam jumlah besar yang mengakibatkan kenaikan konsentrasi TSS. Penyisihan TSS terendah terjadi pada hari ke-5 dalam reaktor menggunakan tumbuhan *Eleocharis dulcis* dengan konsentrasi TSS 45 mg/L. Efisiensi penyisihan TSS sebesar 67,39%.

E. Analisis Warna

Pada industri batik, warna yang digunakan yaitu pewarna sintesis yaitu naphthol yang merupakan warna semu. Warna

Tabel 3.
Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan

Reaktor	Awal		Tengah		Akhir	
	BB	BK	BB	BK	BB	BK
<i>Cyperus papyrus</i>	34,0	8,5	45,0	9,5	54,5	11,0
<i>Eleocharis dulcis</i>	6,5	0,8	8,5	1,1	10,5	1,3

*BB = Berat Basah (gram), BK = Berat Kering (gram)

Tabel 4.
Penurunan Tinggi Air Reaktor

Reaktor	Penurunan Air (cm) Hari Ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
Kontrol	0	0,38	0	0,25	0	0,13	0
<i>Cyperus papyrus</i>	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,75	0,25
<i>Eleocharis dulcis</i>	0,5	0,5	0,75	0,38	0,75	0,25	0,25

semu adalah warna yang disebabkan oleh kekeruhan atau bahan tersuspensi penyebab warna sejati termasuk koloid [14]. Hasil analisis warna dinyatakan dalam absorbansi dikarekan air limbah bukan *true color*, sehingga tidak dapat menggunakan Pt-Co untuk analisis dengan spektrofotometer. Berikut adalah hasil penyisihan warna yang didapatkan selama proses fitoremediasi pada reaktor sistem *reed bed* yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada terjadi penurunan nilai warna pada reaktor kontrol tanpa tumbuhan maupun reaktor dengan tumbuhan. Penurunan warna pada air limbah terjadi akibat proses filtrasi pada media karena warna disebabkan oleh bahan tersuspensi. Penurunan warna juga terjadi karena proses absorpsi oleh tumbuhan. Seiring lamanya waktu tinggal, penurunan konsentrasi warna semakin besar. Penyisihan warna terendah terjadi pada hari ke-7 dalam reaktor menggunakan tumbuhan *Cyperus papyrus* dengan konsentrasi warna 0,029 A. Efisiensi penyisihan warna sebesar 66,82%.

F. Analisis pH

Nilai pH berpengaruh terhadap kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik dalam air. Berikut adalah hasil pengukuran pH yang didapatkan selama proses fitoremediasi pada reaktor sistem *reed bed* yang dapat dilihat pada Gambar 7.

Nilai pH saat penelitian berkisar antara 7-8. pH optimum untuk biodegradasi berkisar antar 6-8 [15]. Kenaikan nilai pH dapat disebabkan oleh aktivitas fotosintesis tumbuhan pada reaktor. Proses fotosintesis mengubah CO₂ menjadi C₆H₁₂O₆ yang membutuhkan hidrogen dan energi yang diperoleh dari air limbah dan udara. Pengambilan H⁺ tersebut menyebabkan kenaikan pH. [16]. Penurunan pH merupakan indikasi aktivitas mikroorganisme, kebanyakan mikroorganisme tumbuh pada netral, pH berpengaruh terhadap fungsi seluler mikroorganisme, transport membran [17]. Tumbuhan mengeluarkan enzim dan senyawa organik melalui akar yang disebut eksudat, sehingga rizosfer merupakan tempat paling baik untuk mikroba tumbuh. Keberadaan mikroba di rizosfer mempercepat proses rhizofiltrasi [18].

G. Analisis Berat Basah dan Berat Kering

Analisis berat basah dan berat kering dilakukan untuk mengetahui biomassa dalam tumbuhan. Biomassa tumbuhan menunjukkan jumlah akumulasi senyawa organik yang

disintesis oleh mikroorganisme dari senyawa anorganik yang dimanfaatkan tumbuhan untuk proses pertumbuhannya [19]. Berat kering tumbuhan merupakan hasil dari semua proses yang terjadi selama pertumbuhan, oleh karena itu diperlukan pengukuran berat kering setelah uji *phytotreatment* untuk mengetahui pengaruh yang terjadi. Proses *phytoextraction*, *phytotransformation*, dan *rhizofiltration* pada tumbuhan dapat memungkinkan terjadinya penambahan berat kering [20]. Pengukuran berat basah dan berat kering dilakukan pada awal, tengah, dan akhir penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 3.

H. Analisis Tinggi Tumbuhan

Hasil pengukuran tinggi tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 8. Pertambahan tinggi tumbuhan *Cyperus papyrus* berkisar antara 0,1-0,3 cm. Pertambahan tinggi tumbuhan *Eleocharis dulcis* berkisar antara 0,1-0,5 cm. Pertambahan tinggi tumbuhan kecil hal tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh air limbah yang dapat menghambat pertumbuhan tumbuhan fitoremediasi.

I. Analisis Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan jumlah air yang dikembalikan lagi ke atmosfer dari permukaan tanah atau badan air karena adanya vegetasi. Faktor fisik yang mempengaruhi yaitu luas area, kualitas air, dan kedalaman air. Faktor meteorologis yang mempengaruhi meliputi suhu udara, kelembaban, radiasi matahari, dan angin [21]. Pengukuran evapotranspirasi dilakukan dengan mengukur ketinggian air yang berkurang pada reaktor. Pengukuran evapotranspirasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Terjadi penurunan tinggi air pada reaktor kontrol tanpa tumbuhan maupun reaktor dengan tumbuhan. Pada penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa reaktor dengan tumbuhan terjadi penurunan ketinggian air lebih besar daripada reaktor tanpa tumbuhan. Penurunan air pada reaktor kontrol dapat terjadi karena proses penguapan (evaporasi) akibat sinar matahari. Penurunan tinggi air pada reaktor dengan tumbuhan mengindikasikan terjadinya proses evapotranspirasi pada tumbuhan yang menunjukkan bahwa tumbuhan dalam reaktor beraktivitas atau tumbuhan hidup. Pada reaktor kontrol penurunan ketinggian air tidak sebesar pada reaktor dengan tumbuhan, hal tersebut mengindikasikan bahwa dalam reaktor dengan tumbuhan selain proses evaporasi juga terjadi proses transpirasi. Evapotranspirasi merupakan gabungan proses transpirasi yaitu penguapan yang terjadi pada vegetasi dan proses evaporasi yaitu penguapan dari permukaan lahan [22].

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa tumbuhan *Cyperus papyrus* dan *Eleocharis dulcis* pada penelitian ini hanya mampu bertahan hidup yaitu pada konsentrasi limbah rendah yaitu hanya 10% dari konsentrasi awal limbah. Konsentrasi yang dapat diterima kedua tumbuhan kecil sehingga pengolahan kurang efektif diterapkan dikarenakan limbah cair industri batik memiliki kandungan BOD, COD, dan TSS yang tinggi. Penurunan kandungan BOD, COD, TSS, dan warna limbah cair industri batik dalam sistem *reed bed* yang paling efektif dan memenuhi baku mutu yaitu pada reaktor reaktor

menggunakan tumbuhan *Cyperus papyrus* dengan waktu tinggal 5 hari dengan kandungan BOD 24,56 mg/L, COD 114,29 mg/L, TSS 50 mg/L, dan warna 0,038 A. Efisiensi penyisihan BOD 78,14%, COD 54,08%, TSS 63,77%, dan warna 56,34%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2019-2023..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Fidiastuti and A. Lathifah, "Uji Karakteristik Limbah Cair Industri Batik Tulungagung: Penelitian Pendahuluan," in *Semin. Nas. Pendidik. Biol. Dan Saintek Iii*, pp. 296-300, 2018. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] B. Suharto, R. Wirosoedarmo, and R. H. Sulanda, "Pengolahan limbah batik tulis dengan fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*)," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 3, no. 1, pp. 14-19, 2013.
- [3] N. Apriyani, "Industri batik: kandungan limbah cair dan metode pengolahannya," *Media Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 3, no. 1, pp. 21-29, 2018, doi: 10.33084/mitl.v3i1.640.
- [4] Nurainun, Rasyimah, and Heriyana, "Analisis industri batik di Indonesia," *Fokus Ekon.*, vol. 7, no. 3, pp. 124-135, 2008.
- [5] J. Mburu, D. Rousseau, J. Bruggen, and P. Lens, "Use of the Macrophyte *Cyperus papyrus* in Wastewater Treatment," in *The Role of Natural and Constructed Wetlands in Nutrient Cycling and Retention on the Landscape*, 2015, pp. 293-314. doi: 10.1007/978-3-319-08177-9. Switzerland: Springer..
- [6] Nurhidayah, D. Sofarini, and Yunandar, "Fitoremediasi tumbuhan air kembang (*salvina molesta*) purun tikus (*eleocharis dulcis*) dan perupuk (*phragmites karka*) sebagai alternatif pengolahan limbah cair karet," *EnviroScientiae*, vol. 10, pp. 18-26, 2014.
- [7] J. A. G. Bagaskara, "Pengaruh Penggunaan *Cyperus Papyrus* dan *Cyperus Altemifolius* pada Proses Fitoremediasi Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) pada Lindi TPA Tlekung Kota Batu," Departemen Teknologi Pertanian: Universitas Brawijaya, 2017.
- [8] S. Wati, "Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman Purun Tikus (*Eleocharis Dulcis*) pada Air Lindi," Departemen Teknik Lingkungan: Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, 2022.
- [9] D. Astuti and I. Rosemalia, "Review: penurunan bod limbah cair domestik dengan teknik fitoremediasi," *J. Unitek*, vol. 15, no. 1, pp. 59-72, 2022.
- [10] I. Ulfin, "Penurunan kadar kadmium dan timbal dalam larutan dengan kayu apu: pengaruh pH dan jumlah kayu apu," *Pros. Semin. Kim. Ke-3*, 2001.
- [11] 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.
- [12] M. A. Yahya *et al.*, "A brief review on activated carbon derived from agriculture by-product," *AIP Conf. Proc.*, pp. 1-8, 2018, doi: 10.1063/1.5041244.
- [13] G. Alaerts and Santika, *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional, 1987.
- [14] N. Lestari and T. Agung, "Penurunan tss dan warna limbah industri batik secara elektro koagulasi," *J. Ilim. Tek. Lingkung.*, vol. 6, no. 1, pp. 37-44, 2014.
- [15] N. K. Nghia, "Degradation of Aged Creosote and Diesel Contaminated Soils by Phytoremediation or Biostimulation (Nutrients)," Soil Science Department: Swedish Agricultural University, 2007.
- [16] L. Oktaviani, "Fitoremediasi Logam Berat Seng (Zn) dengan Memanfaatkan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) Menggunakan Sistem Batch," Departemen Teknik Lingkungan: Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, 2020.
- [17] J. T. J. Cookson, *Bioremediation Engineering Design & Application*. USA: McGraw Hill, Inc, 1995. ISBN: 9780070126145.
- [18] Y. S. Nursagita and H. S. Titah, "Kajian fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat di wilayah pesisir menggunakan tumbuhan mangrov (Studi kasus: Pencemaran merkuri di teluk jakarta)," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 1, pp. 1-7, 2021.
- [19] B. V. Tangahu, S. Abdullah, H. Basri, N. Anuar, and M. Mukhlisin,

- “Phytotoxicity of wastewater,” *Int. J. Phytoremediation*, vol. 15, no. 8, pp. 814–826, 2013.
- [20] L. I. M. Yulianti, “Potensi *Calotropis gigantea* dalam fitoremediasi logam berat timbal (Pb),” *J. Ilm. Ilmu-Ilmu Hayati*, vol. 6, no. 2, pp. 120–128, 2021.
- [21] A. Fausan, B. Setiawan, C. Arif, and S. Saptomo, “Analisa model evaporasi dan evapotranspirasi menggunakan pemodelan matematika pada visual basic di Kabupaten Maros,” *J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 5, no. 3, pp. 179–196, 2020, doi: 10.29244/jsil.5.3.179-196.
- [22] Yanto, “Model evapotranspirasi pada vegetasi dengan ketebalan kanopi yang bervariasi,” *Din. Rekayasa*, vol. 7, no. 1, pp. 17–22, 2011.