

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

Kombinasi Filtrasi dan Fitoremediasi untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Batik

Eka Mayluna Kencana^{*)}, Arlini Dyah Radityaningrum

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perancangan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya 60117, Indonesia

*Koresponden: ekamayluna@gmail.com

Diterima: 13 Februari 2021

Diperbaiki: 8 November 2021

Disetujui: 9 Mei 2022

A B S T R A C T

The colouring activity of batik industry in Kampung Batik Jetis, Sidoarjo Regency produced wastewater which was discharged directly into the water bodies. The wastewater had the high concentration of COD, BOD, Pb, and colour, with the values of 8366 mg/L, 2150 mg/L, 0,214 mg/L, and 2502 Pt-Co. The hybrid treatment of filtration and phytoremediation was a potential treatment of the wastewater from the textile industry. The research aimed to investigate the performance of the hybrid treatment of filtration and fitoremediasi in removing the COD, BOD, Pb, and colour in the wastewater of the batik industry. The filtration media were silica sand, activated carbon, coconut husk, sand, and gravel. The plants in the phytoremediasi were water bamboo (*Equisetum hyemale*) and water jasmine (*Echinodorus palaefolius*). The results showed that the highest performance was achieved by the hybrid treatment of filtration and phytoremediasi using jasmine water plant. The removal efficiencies of COD, BOD, Pb, and colour were 91%, 90%, 98%, and 91%, respectively. Based on the Kruskal Wallis statistical test, the variable of plant type and detention time had no significant influence to the removal efficiencies of COD, BOD, Pb, and colour, as indicated by a p -value > 0.05 .

Keywords: batik wastewater, filtration-phytoremediasi, hybrid treatment, water bamboo (*Equisetum hyemale*), water jasmine (*Echinodorus palaefolius*)

A B S T R A K

Kegiatan pewarnaan industri batik di Kampung Batik Jetis Kabupaten Sidoarjo menghasilkan air limbah yang langsung dibuang ke badan air. Air limbah memiliki konsentrasi COD, BOD, Pb, dan warna yang tinggi, dengan nilai 8366 mg/L, 2150 mg/L, 0,214 mg/L, dan 2502 Pt-Co. Perlakuan hibrid filtrasi dan fitoremediasi merupakan pengolahan potensial air limbah dari industri tekstil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja perlakuan hibrid filtrasi dan fitoremediasi dalam menyisihkan COD, BOD, Pb, dan warna pada air limbah industri batik. Media filtrasi yang digunakan adalah pasir silika, karbon aktif, sabut kelapa, pasir, dan kerikil. Tumbuhan yang digunakan dalam fitoremediasi adalah bambu air (*Equisetum hyemale*) dan melati air (*Echinodorus palaefolius*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja tertinggi dicapai oleh perlakuan hibrid filtrasi dan fitoremediasi menggunakan tanaman air melati. Efisiensi penyisihan COD, BOD, Pb, dan warna berturut-turut adalah 91%, 90%, 98%, dan 91%. Berdasarkan uji statistik Kruskal Wallis, variabel jenis tanaman dan waktu detensi tidak berpengaruh nyata terhadap efisiensi penyisihan COD, BOD, Pb, dan warna yang ditunjukkan dengan nilai $p > 0,05$.

Kata Kunci: air limbah batik, filtrasi-fitoremediasi, perlakuan hibrida, bambu air (*Equisetum hyemale*), melati air (*Echinodorus palaefolius*)

1. PENDAHULUAN

Industri batik dalam proses produksinya menghasilkan limbah cair yang jumlahnya mencapai 80% dari seluruh jumlah air yang dipergunakan dalam proses pematikan (Watini, 2009). Limbah cair industri batik mengandung senyawa toksik, yaitu zat warna yang berasal dari air

cucian proses pencelupan (Rachmi dan Muzayanah, 2018). Limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi batik di Kampung Batik Jetis, Kabupaten Sidoarjo, dibuang secara langsung ke badan air atau sungai tanpa dilakukan pengolahan (Rachmi dan Muzayanah, 2018). Hal ini menyebabkan badan air atau sungai memiliki kualitas yang tidak sesuai dengan peruntukannya,

sehingga perlu diupayakan pencegahan untuk menghindari pencemaran badan air (Rachmi dan Muzayanah, 2018).

Proses pewarnaan pada limbah batik di wilayah Jetis, Sidoarjo menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi BOD dan COD masing-masing mencapai 261,25 mg/L dan 1066 mg/L. Selain itu, kandungan warna mencapai 3050 Pt-Co. Parameter BOD, COD, dan warna ini melebihi standar baku mutu kualitas air limbah tekstil dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013. Nilai standar baku mutu maksimum parameter BOD dan COD dalam limbah cair industri tekstil masing-masing sebesar 60 mg/L dan 150 mg/L (Anonim, 2013). Adapun kandungan warna diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995, tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri yang menyatakan baku mutu warna sebesar 50 Pt-Co (Anonim, 1995).

Kandungan BOD, COD dan warna yang tinggi di dalam perairan dapat membunuh organisme dan mengganggu keseimbangan ekosistem (Ningsih, 2017). Peningkatan kandungan BOD, COD, dan warna ini berperan dalam menurunkan indeks kualitas air (Mohan dkk., 2005). Selain itu, juga terdapat logam berat timbal (Pb) dan krom (Cr) berasal dari zat pewarna $PbCrO_4$ dan $(CrCl_3, K_2Cr_2O_7)$ maupun zat mordan, yaitu pengikat zat warna yang meliputi $Cr(NO_3)_2$ (Murniati, 2014). Keberadaan logam berat timbal (Pb) dan krom (Cr) dalam limbah cair batik yang dibuang ke badan sungai dapat menjadi masalah, karena kedua logam berat ini bersifat toksik (Suharty, 1999). Air limbah yang mengandung senyawa Pb yang mencemari badan air dengan konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan kematian pada biota air (Caroline dan Moa, 2015).

Upaya yang dilakukan untuk mengatasi dampak negatif pencemaran limbah cair industri batik adalah dengan melakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan limbah cair secara umum dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi (Murniati dan Muljadi, 2013). Seluruh proses tersebut bertujuan untuk menghilangkan kandungan padatan tersuspensi, koloid dan bahan-bahan organik dan anorganik yang terlarut (Murniati dan Muljadi, 2013). Proses pengolahan yang termasuk pengolahan fisika antara lain pengolahan dengan menggunakan *screening*, sedimentasi, filtrasi, sentrifugasi dan flotasi (Murniati dan Muljadi, 2013). Proses pengolahan biologi salah satunya adalah proses fitoremediasi (Irhamni dkk., 2017).

Menurut Irawanto (2010), tanaman air merupakan bagian dari vegetasi yang media tumbuhnya adalah perairan. Penyebarannya meliputi perairan air tawar, payau sampai ke lautan dengan beranekaragam jenis, bentuk dan sifat. Jenis – jenis tanaman air yang sering digunakan fitoremediasi dalam penurunan kadar pencemar pada limbah adalah bambu air (*Equisetum hyemale*) dan melati air (*Echinodorus palaeifolius*) (Sasono dan Pungut, 2013). Pada penelitian Permadi (2019), tanaman bambu air pada reaktor sejumlah 25 tanaman mampu menurunkan kadar Pb dari limbah artifisial hingga mencapai konsentrasi akhir sebesar 0,004 mg/L. Sedangkan tanaman melati yang dikombinasikan dengan jerami hasil fermentasi *Pseudomonas aeruginosa* berpotensi meremediasi limbah binatu dengan menurunkan konsentrasi BOD dan COD dengan efisiensi penurunan masing-masing sebesar 68,498% dan 73,798% (Dewi, 2017). Selain itu, berdasarkan penelitian Caroline dan Moa (2015), tanaman melati air mampu menghasilkan efisiensi penyerapan logam berat Pb dari reaktor limbah industri peleburan tembaga dan kuningan hingga mencapai 55,97%. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) dan melati air (*Echinodorus palaeifolius*) dalam mendegradasi zat pencemar COD, BOD, Pb, dan warna dalam limbah cair industri batik menggunakan kombinasi pengolahan filtrasi-fitoremediasi.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan sampel air limbah industri batik diambil dari industri batik “X” GG II secara grab, yang merupakan salah satu dari sentra industri batik di Jetis, Sidoarjo. Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi pembuatan susunan reaktor, proses aklimatisasi tanaman, dan pengoperasian reaktor. Proses fitoremediasi menggunakan tanaman bambu air dan melati air. Tanaman bambu air yang digunakan berumur 2 bulan dengan kondisi segar dan berwarna hijau, tinggi tanaman bambu air rata-rata 35 cm serta diameter tanaman $\pm 0,5$ cm. Sedangkan tanaman melati air yang digunakan adalah tanaman yang memiliki tinggi tangkai 20 – 30 cm dengan jumlah daun rata – rata sebanyak 4 – 8 lembar setiap tanamannya. Total jumlah tangkai daun untuk tanaman bambu air dan melati air yang digunakan yaitu 20 tangkai pada tiap reaktor.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini (Gambar 1) terdiri atas:

- Bak reservoir, yang digunakan mempunyai ukuran kurang lebih dengan dimensi diameter atas 49,5 cm,

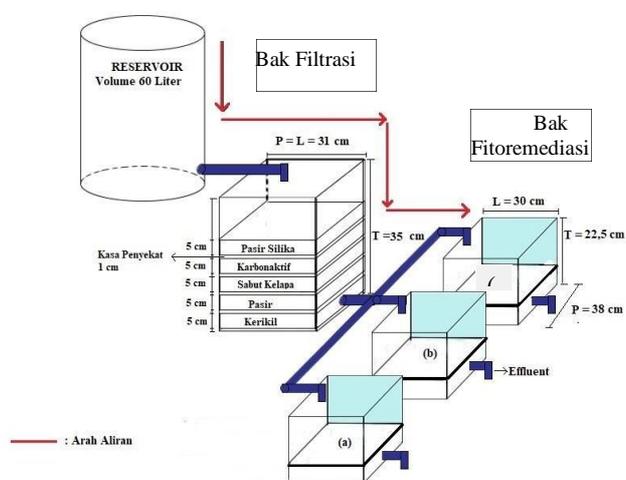
diameter bawah 46 cm dan tinggi 61,5 cm dengan kapasitas 60 liter.

- Bak aklimatisasi, menggunakan ember dengan kapasitas 8 liter sebanyak 3 buah.
- Bak filtrasi, dengan ukuran panjang dan lebar sama yaitu 31 cm dan tinggi 35 cm dengan kapasitas volume ± 30 liter, yang dilengkapi dengan saluran outlet.
- Bak fitoremediasi, menggunakan *box* plastik yang telah dipasang kran air di sisi samping bagian bawah, sebagai outlet untuk pengambilan efluen sebanyak 3 buah. Bak reaktor plastik berukuran panjang 38 cm, lebar 30 cm dan tinggi 22,5 cm, dengan kapasitas 25 Liter.

Media yang digunakan dalam bak filtrasi disusun mulai dari atas ke bawah sebagai berikut:

- Pasir silika (setinggi 5 cm)
- Karbon aktif (setinggi 5 cm)
- Ijuk sabut kelapa (setinggi 5 cm)
- Pasir (setinggi 5 cm)
- Kerikil (setinggi 5 cm)

Susunan rangkaian alat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Bak Reaktor Filtrasi dan Fitoremediasi

- Bak Reaktor Menggunakan Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*);
- Bak Reaktor Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*);
- Bak Reaktor Tanpa Tanaman

Berdasarkan Gambar 1, reaktor (a) merupakan reaktor fitoremediasi yang ditanami bambu air sebanyak 20 batang, reaktor (b) merupakan reaktor fitoremediasi dengan tanaman melati air sebanyak 20 batang. Sedangkan reaktor (k) merupakan reaktor kontrol tanpa

tanaman. Tanaman ditanam pada bak reaktor dengan membuat celah sanggahan untuk tanaman dan dipasang di ketinggian 10 cm dari dasar reaktor. Kemudian *efluen* dari hasil filtrasi dialirkan pada masing-masing bak reaktor fitoremediasi. Reaktor fitoremediasi dioperasikan secara *batch*, dan pengambilan sampel dilakukan pada setiap 4 hari sekali yaitu hari ke-4, ke-8 dan ke-12.

Proses aklimatisasi merupakan tahap awal yang harus dilakukan dalam proses fitoremediasi menggunakan tanaman, yang bertujuan agar tanaman dapat beradaptasi dengan media tumbuh yang baru serta kondisi di sekitarnya (Nurmalinda dkk., 2018). Tahap aklimatisasi dengan limbah cair industri batik dalam penelitian ini dilakukan selama 3 hari. Tanaman bambu air dan melati air sebelumnya dicuci dengan air PDAM hingga bersih untuk penghilangan kotoran dalam akar tanaman.

Parameter uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah pH, suhu, BOD, COD, Pb, warna dari efluen yang diambil pada outlet masing-masing reaktor fitoremediasi. Kinerja kombinasi reaktor filtrasi-fitoremediasi ditunjukkan dalam nilai efisiensi penyisihan, yang ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Efisiensi penyisihan (\%)} = (C_0 - C_s / C_0) \times 100 \% \quad (1)$$

Penelitian ini menggunakan uji signifikansi yang bertujuan untuk mengetahui signifikansi setiap variabel penelitian serta untuk mengetahui keterkaitan antara satu variabel dengan variabel lain. Uji signifikansi dalam penelitian ini menggunakan *software* SPSS 25.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik limbah cair industri batik

Karakteristik awal limbah cair industri batik X di Kampung Batik Jetis, Kabupaten Sidoarjo dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Industri Batik X di Kampung Batik Jetis, Kabupaten Sidoarjo

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Baku Mutu	Metode Pemeriksaan
1	pH	-	8,9	6-9	SNI 06-6989.11-2004
2	Suhu	°C	27,1	-	SNI 06-6989.23-2005
3	COD	mg/L	8366	150	SNI 06-6989.8-2009
4	BOD	mg/L	2150	60	APHA 5210 B-2017
5	Total Kromium	mg/L	0,108	1,0	SNI 06-6989.17-2009
6	Timbal (Pb)	mg/L	0,214	0,1	SNI 06-6989.73-2009
7	Kadmium (Cd)	mg/L	0,004	0,05	SNI 06-6989.80-2011
8	Tembaga	mg/L	0,02	2	SNI 06-6989.6-2009

(Cu)					
No Reaktor	C ₀	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12	Baku Mutu
9	*Warna	Pt/Co	2502	-	SNI 06-6989.80-2011

Sumber: LHU Laboratorium PT Envilab Indonesia Tahun 2020 Peraturan Gub. Jatim No. 72 Tahun 2013
 Tahun 2020 Peraturan Gub. Jatim No. 72 Tahun 2013
 (*) KepMenLH No 51 MENLH No 1995

Berdasarkan Tabel 1, nilai COD, BOD, dan Pb limbah cair industri batik X di Kampung Jetis masing-masing sebesar 8366 mg/L, 2150 mg/L dan 0,214 mg/L.

3.2. Kualitas efluen pengolahan kombinasi filtrasi-fitoremediasi

Efluen hasil pengolahan kombinasi filtrasi-fitoremediasi diambil pada setiap outlet reaktor fitoremediasi pada hari ke-4, ke-8 dan ke-12. Hasil konsentrasi COD, BOD, Pb, dan warna pada setiap reaktor masing-masing ditunjukkan pada Tabel 2, 3, 4, dan 5.

Tabel 2. Konsentrasi COD Efluen di Setiap Reaktor

No Reaktor	C ₀	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12	Baku Mutu
	(mg/L)	mg/L	% R	mg/L	% R
1 A	8366	1809	78%	1440	82%
2 B		1095	87%	816	90%
3 K		1651	80%	1434	83%

Sumber: LHU Laboratorium PT Envilab Indonesia Tahun 2020 Peraturan Gub. Jatim No. 72 Tahun 2013

Ket: C₀ = Konsentrasi awal
 % R (Removal) = Persentase penyisihan

Berdasarkan Tabel 2, efisiensi penyisihan COD mulai meningkat dari hari ke-4 sampai hari ke-12, baik pada reaktor dengan tanaman bambu air, melati air, maupun tanpa tanaman. COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Nurdin dkk., 2010). Masing – masing reaktor bambu air dan melati air menghasilkan efisiensi penyisihan COD yang cenderung lebih besar daripada pada kontrol di hari pengamatan ke-0 sampai hari ke-12. Efisiensi penyisihan COD terbesar terjadi pada hari ke-12, baik pada reaktor bambu air maupun melati air, dengan persentase masing-masing sebesar 86% dan 91%. Reaktor kontrol menunjukan efisiensi penyisihan COD terbesar pada hari ke-12, sebesar 84%. Hal ini mengindikasikan bahwa kadar senyawa organik dalam limbah cair semakin lama semakin kecil. Senyawa organik dalam limbah cair kemungkinan besar digunakan pula sebagai nutrisi bagi kedua tanaman air tersebut (Padmaningrum dkk, 2014).

Tabel 3. Konsentrasi BOD di Setiap Reaktor

No Reaktor	C ₀	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12	Baku Mutu
	(mg/L)	mg/L	% R	mg/L	% R
1 A	2150	520	76%	440	79%
2 B		360	83%	222	89%

No Reaktor	C ₀	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12	Baku Mutu
	(Pt/Co)	Pt/Co	R Pt/Co	% R	Pt/Co
3 K	504	77%	468	78%	416

Sumber: LHU Laboratorium PT Envilab Indonesia Tahun 2020 Peraturan Gub. Jatim No. 72 Tahun 2013
 Ket: C₀ = Konsentrasi awal
 % R (Removal) = Persentase penyisihan

Tabel 3 menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan BOD mulai meningkat dari hari ke-4 sampai hari ke-12 pada reaktor dengan tanaman bambu air, melati air, dan tanpa tanaman. Pada masing – masing reaktor bambu air dan melati air, efisiensi penyisihan BOD cenderung lebih besar daripada pada kontrol di hari pengamatan ke-0 sampai hari ke-12. Efisiensi penyisihan BOD paling besar terjadi pada hari ke-12 untuk reaktor bambu air, yaitu sebesar 84% dan melati air sebesar 90%. Reaktor kontrol menunjukkan efisiensi penyisihan BOD sebesar 80%. BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik terlarut dan sebagian zat – zat organik yang tersuspensi dalam air (Purwanto, 2004).

Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumput- rumputan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Chaney dkk., 1995). Dalam penelitian ini, tanaman bambu air dan melati air diduga menyerap polutan bersamaan dengan air.

Tabel 4. Konsentrasi Pb di Setiap Reaktor

No Reaktor	C ₀	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12	Baku Mutu
	(mg/L)	mg/L	% R	mg/L	% R
1 A	0,214	0,05	76%	0,029	86%
2 B		0,025	88%	0,006	97%
3 K		0,145	32%	0,122	42%

Sumber: LHU Laboratorium PT Envilab Indonesia Tahun 2020 Peraturan Gub. Jatim No. 72 Tahun 2013

Ket: C₀ = Konsentrasi awal
 % R (Removal) = Persentase penyisihan

Berdasarkan Tabel 4, terjadi peningkatan efisiensi penyisihan Pb dari setiap reaktor. Reaktor dengan bambu air menghasilkan efisiensi penyisihan Pb sebesar 98% pada hari ke-12, sedangkan reaktor dengan bambu air menghasilkan efisiensi penyisihan Pb sebesar 94%. Reaktor kontrol hanya mampu mencapai efisiensi penyisihan Pb sebesar 51%.

Tabel 5. Kadar Warna di Setiap Reaktor

No Reaktor	C ₀	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12	Baku Mutu
	(Pt/Co)	Pt/Co	R Pt/Co	% R	Pt/Co
1 A	2502	467,3	81%	236,7	90%
2 B		527,9	79%	349,9	86%
3 K		673	73%	628,5	75%

Sumber: LHU Laboratorium PT Envilab Indonesia Tahun 2020

KepMen LH No 51 MENLH No 1995

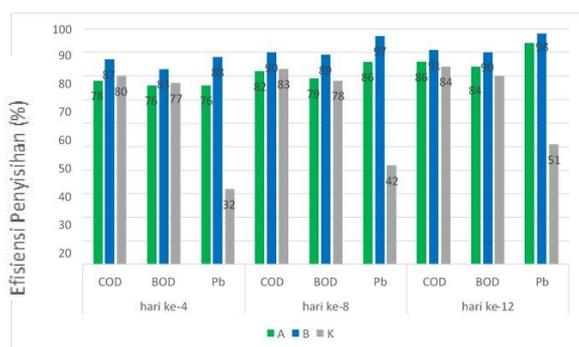
Ket: C₀ = Konsentrasi awal

% R (Removal) = Persentase penyisihan

Warna limbah cair industri batik adalah coklat kehitaman. Pada Tabel 5, nilai kadar warna efluen pengolahan kombinasi filtrasi-fitoremediasi pada masing-masing reaktor mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena adanya proses degradasi warna limbah cair industri batik. Salah satu contoh warna yang umum digunakan pada industri tekstil, khususnya batik adalah remazol *black*, *red* dan *golden yellow*. Senyawa ini hanya digunakan dalam proses pewarnaan sekitar 5%, sedangkan 95% akan dibuang sebagai limbah. Senyawa ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan (Suprihatin, 2014). Selain itu, pada konsentrasi yang sangat besar, senyawa pewarna ini berpotensi untuk menaikkan konsentrasi COD (Suprihatin, 2014). Kenaikan efisiensi penyisihan zat warna dalam penelitian ini menggambarkan terjadinya proses rizodegradasi, yaitu penguraian oleh mikroorganisme yang terjadi di zona akar (Mangkoedihardjo dan Samudro 2010). Pengolahan limbah cair industri batik dengan metode fitoremediasi dapat menurunkan kadar warna, melalui proses penyerapan oleh akar tanaman dan terjadinya proses sedimentasi pada media tanam (Ningsih, 2017).

3.3. Efisiensi penyisihan pengolahan kombinasi filtrasi-fitoremediasi

Kombinasi filtrasi-fitoremediasi mampu menyisihkan pencemar dalam limbah cair industri batik, seperti COD, BOD, Pb dan warna. Efisiensi penyisihan setiap pencemar ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Total Efisiensi Penyisihan Kadar Pencemar Limbah Cair Industri Batik pada Pengolahan Kombinasi Filtrasi-Fitoremediasi

Peningkatan efisiensi penyisihan tersebut disebabkan oleh proses fitoremediasi yang terjadi pada tanaman bambu air dan melati air, dimana kedua tanaman ini mampu menyerap zat-zat organik yang terdapat pada air limbah batik tersebut. Berdasarkan Anam (2013), fitoremediasi merupakan suatu sistem dimana tanaman

tertentu yang bekerja sama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya.

Penurunan konsentrasi COD tersebut disebabkan karena bahan padatan telah mengendap sehingga bahan buangan di air limbah juga berkurang. Selain itu, sebagian bahan buangan telah teroksidasi dan sebagian lagi juga telah terserap oleh tanaman sehingga juga mengurangi konsentrasi COD. Penurunan ini juga dikarenakan suplai oksigen terlarut cukup banyak terutama dari hasil fotosintesis tanaman sehingga menyebabkan dekomposisi bahan organik menjadi lebih efektif.

Proses penurunan BOD₅ terjadi melalui proses fisik dan biologis. BOD₅ terlarut disisihkan oleh pertumbuhan mikroba pada permukaan media dan menempel pada akar tumbuhan serta penetrasi rhizoma pada *bed* (Reed, 1993). Senyawa organik yang terkandung di dalam limbah pewarnaan menjadi sumber nutrisi bagi mikroba yang selanjutnya diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pada fitoremediasi, proses penurunan pencemar dalam limbah terjadi melalui tumbuhan, dimana merupakan kerjasama antara tumbuhan dan mikroba yang berada pada tumbuhan tersebut (Hayati, 1992).

Jenis tanaman berpengaruh terhadap penurunan kandungan BOD. Pada penelitian ini keberadaan tanaman bambu air dan melati air dapat menyerap zat organik yang terdapat dalam limbah cair. Semakin banyak tanaman, maka semakin banyak bahan organik yang terserap. Hal ini berakibat pada menurunnya konsentrasi BOD, sehingga semakin baik kualitas limbah cair tersebut.

Schnoor dkk. (1995), menjelaskan bahwa mekanisme tanaman dalam proses penurunan Pb, adalah melalui 3 cara, yaitu menyerap secara langsung bahan kontaminan, mengakumulasi metabolisme *non* fitotoksik ke sel-sel tanaman, dan melepaskan eksudat dan enzim yang dapat menstimulasi aktivitas mikroba, serta menyerap mineral pada daerah akar/rizosfer. Penyerapan logam berat oleh tanaman dilakukan pertama kali oleh akar kemudian menuju ke batang dan daun. Penyerapan unsur-unsur tersebut dilakukan dengan penyerapan akar melalui membran sel secara osmosis selanjutnya diangkut oleh xilem dan floem ke bagian tumbuhan lain seperti batang dan daun (Umroh 2011). Menurut Fahn (2004), penurunan kadar Pb pada air limbah batik ini tidak lepas dari proses fitoremediasi.

Penyerapan logam berat oleh tanaman bambu air dan melati air mengalami peningkatan. Hasil penyerapan logam berat pada fitoremediasi dengan melati air lebih tinggi dikarenakan tanaman melati air memiliki volume perakaran yang banyak. Melalui akar, tanaman tersebut, polutan yang diserapnya kemudian dapat disebarkan ke seluruh bagian tanaman. Selain itu, melalui akar, tanaman tersebut dapat melakukan difusi antara zat yang ada di dalam tanaman menuju air. Akar pada tanaman mempunyai peranan penting dalam proses penyerapan logam. Hal ini dikarenakan akar langsung bersinggungan dengan media tumbuh yang terkontaminasi oleh reaktor limbah. Proses penyerapan zat pencemar yang terdapat pada limbah cair industri batik di tanaman melati air dilakukan keluar di ujung akar dengan jaringan. Hal ini terjadi karena gaya tarik oleh molekul udara yang ada di tumbuhan. Penyerapan polutan organik dan anorganik oleh akar tanaman dilakukan dalam bentuk ion yang larut di udara. Zat itu yang diserap akar akan masuk ke batang melalui pembuluh angkut (xilem), yang selanjutnya akan diteruskan ke batang dan daunnya (Nur dan Isworo, 2020).

Penurunan kadar pencemar air limbah pada proses fitoremediasi dengan tanaman bambu air dan melati air terjadi melalui proses rhizofiltrasi, yaitu proses penyerapan zat-zat yang terdapat dalam media tanam, yang dilakukan oleh ujung-ujung akar dengan jaringan meristem. Hal ini terjadi karena adanya gaya tarik-menarik oleh molekul-molekul air yang ada pada tumbuhan (Rusyani, 2014). Sistem perakaran melati air bersifat kuat, panjang dan menjalar sehingga sangat efektif dalam memperluas area tempat mikroorganisme melekat (Sasono dan Pungut, 2013). Berbeda dengan bambu air yang memiliki batang tumbuhan beruas-ruas dan berlubang di tengahnya. Peran lubang di tengah batang bambu air adalah sebagai organ fotosintetik menggantikan daun pada bamboo air (Permadi, 2019).

Efisiensi penyisihan pencemar dalam penelitian ini juga ditentukan oleh proses filtrasi. Proses filtrasi menggunakan media pasir silika yang memiliki fungsi menghilangkan polutan fisik seperti kekeruhan, TSS, dan bau (Puspawati, 2017). Sedangkan media karbon aktif memiliki fungsi menghilangkan bau, warna, bahan kimia gas, logam berat dan pengotor organik (Nasruddin, dkk., 2018). Selain itu, media sabut kelapa berpotensi sebagai biosorben dan bioakumulator logam berat (Pinandari, dkk., 2011). Media pasir juga memiliki fungsi yang sama dengan karbon aktif, yaitu menyaring partikel kasar dan memberikan stabilitas mekanik

(Nasruddin, dkk., 2018), sedangkan media kerikil berfungsi sebagai media penyaring dari suspensi atau padatan dari limbah atau sampel cair (Puspawati, 2017).

Pengolahan dengan kombinasi filtrasi-fitoremediasi menghasilkan efluen dengan konsentrasi pencemar Pb yang telah sesuai dengan standar baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Namun, parameter COD dan BOD belum sesuai dengan standar baku mutu yang disyaratkan. Hal ini dimungkinkan karena dalam penelitian ini tidak dilakukan proses *Range Finding Test* (RFT), dimana RFT ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tumbuhan dalam menyerap polutan pada konsentrasi tertentu. Proses *Range Finding Test* (RFT) tidak dilakukan dalam penelitian ini, karena karakteristik tanaman bambu air memiliki sistem kekebalan yang cukup kuat. Menurut Anam dkk. (2013), beberapa tanaman dapat bertahan hidup di suatu lingkungan yang tercemar. Selain itu, berdasarkan Sutiyasmi dan Susanto (2013), penggunaan tanaman air (bambu air dan melati air) pada pengolahan air limbah penyamakan kulit mampu menurunkan kadar pencemar tanpa menggunakan proses *Range Finding Test* (RFT) namun dengan menggunakan rangkaian simulasi air limbah skala laboratorium, susunan rangkaian terdiri dari bak homogenisasi, bak flokulasi dan koagulasi, bak pengendap I, bak aerasi, bak pengendap II dan bak adsorpsi/ saringan pasir. Walaupun pada pengolahan dengan metode ini terjadi penurunan pada kadar pencemar (COD, BOD dan Pb), namun hasil yang didapatkan masih belum memenuhi Baku Mutu sesuai dengan Pergub Jawa Timur No. 72 tahun 2013, dimana kadar COD sebesar 150mg/L, BOD yang diperbolehkan maksimum 60mg/L dan kadar Pb sebesar 0,1 mg/L.

3.4. Kondisi Fisik Tanaman Setelah Proses Fitoremediasi

Pengamatan kondisi fisik tanaman berfungsi untuk mengetahui pengaruh tanaman terhadap limbah cair industri batik. Berikut merupakan hasil pengamatan pada masing-masing tanaman:

1). Kondisi Fisik Tanaman Bambu Air

Tanaman bambu air selama penelitian mengalami perubahan yang fisiologis dimana pada proses aklimatisasi terdapat warna coklat pada ujung batang. Saat proses fitoremediasi pada hari ke-8 - ke-12, banyak ditemukan bagian batang tanaman bambu air yang berubah warna dari hijau tua ke hijau muda kekuningan. Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman bambu air memiliki sistem kekebalan yang cukup kuat, sehingga mampu bertahan hidup di

lingkungan yang tercemar (Anam dkk., 2013). Perubahan warna dan beberapa tanaman yang mati ini disebabkan adanya aktivitas kimiawi antara tanaman dengan air limbah yang mengandung konsentrasi polutan BOD, COD, dan Pb yang tinggi.

Akar, pada tumbuhan seperti spesies bambu, berperan penting dalam menghilangkan logam berat dengan melepaskan protein dalam akumulasi berlebih. Pada sel akar, sebagian besar logam berat berikatan dengan gugus peptida dan anionik kemudian disimpan dalam vakuola. Hal ini menunjukkan besarnya peran akar tanaman dalam akumulasi logam berat (Rascio dan Navarilzo, 2011).

Tanaman mampu menyerap logam-logam yang larut dalam air melalui akar-akarnya. Didalam akar, tanaman melakukan perubahan Ph oleh akar dan membentuk suatu zat kelat yang disebut fitosiderofor. Fitosiderofor yang terbentuk ini akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui transport aktif. Setelah logam dibawa masuk ke dalam akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut xylem dan floem ke bagian tumbuhan lain, yaitu batang. Dan untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, dengan menimbun logam didalam organ batang, tepatnya pada jaringan sklerenkim, yang mana salah satu fungsi jaringan sklerenkim yaitu untuk menjaga aktivitas tanaman dari faktor lingkungan. Mekanisme yang dilakukan oleh sklerenkim yaitu diserapnya zat polutan yang telah terserap oleh akar lalu akan diakumulasi oleh sklerenkim dikarenakan jaringan ini memiliki kandungan silikat sehingga zat polutan tidak mempengaruhi bagian-bagian tumbuhan yang lain (Hardiani, 2008).

Menurut Fitria dan Eko (2016), penelitian yang sama dengan tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) bisa mengurangi kadar Pb dalam detergen, itu dikarenakan tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) mampu mengikat polutan dengan baik, polutan dapat diserap dan disimpan sebagai cadangan makanan oleh tanaman bambu air kemudian dilepaskan ke udara ambien berbentuk kristal. Selama penelitian 12 hari tidak ditemukan adanya perubahan warna air yang cukup signifikan.

2). Kondisi Fisik Tanaman Melati Air

Kondisi tanaman melati air pada hari ke - 0 masih terlihat segar, yang ditunjukkan melalui daunnya yang masih terlihat hijau. Namun pada hari ke-4, tanaman melati air mulai mengalami kekeringan dan beberapa daun mulai berubah coklat pada tepinya, dengan menunjukkan gejala klorosis yaitu perubahan warna daun menjadi kuning kecoklatan. Selain itu, terdapat beberapa daun yang mengering. Tanaman melati air tersebut diduga mengalami paparan suhu tinggi dari lingkungan dengan diletakkan pada tempat dengan suhu mencapai 31-33°C.

Pada hari ke-5 - ke-7, tanaman melati air pada reaktor fitoremediasi sudah mengalami perubahan secara morfologi, dengan tumbuhnya daun muda pada beberapa tanaman. Selanjutnya pada hari ke-8 - ke-10, tanaman melati air mulai menunjukkan gejala klorosis, yaitu daun berubah warna menjadi kuning kecoklatan. Hal ini diduga tanaman mengalami toksisitas akibat cekaman abiotik oleh limbah cair industri batik. Gejala toksisitas pada tanaman ini diduga akibat tanaman mengalami keracunan BOD, COD dan logam berat Pb.

Kemudian pada hari ke-11 - ke-12, daun pada tanaman berwarna coklat dan adanya bintik-bintik coklat. Selain itu beberapa akar tanaman pada perlakuan limbah juga mengalami pembusukan dan beberapa tangkai tanaman mengering. Hal ini dikarenakan tumbuhan terpapar logam berat Pb dalam waktu yang semakin lama, sehingga terjadi penghambatan sintesis klorofil (Caroline dan Moa, 2015).

Uji Signifikansi

Penelitian ini menggunakan uji signifikansi secara statistik, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh antar masing-masing variabel. Uji signifikansi dalam penelitian ini menggunakan uji normalitas kemudian dilanjutkan dengan uji Kruskal Wallis menggunakan *software* SPSS 25. Hasil dari uji normalitas pada penelitian ini menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) yang lebih kecil dari 0,05 (P-value < 0,05). Hal ini mengindikasikan bahwa data penelitian tidak berdistribusi normal, sehingga uji non-parametrik Kruskal Wallis digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara variabel bebas (jenis tanaman dan lama waktu tunggu) terhadap variabel terikat (konsentrasi COD, BOD, Pb, dan kadar warna pada efluen limbah cair industri batik).

Berdasarkan uji statistik Kruskal Wallis, perbedaan atau pengaruh yang signifikan dari variabel terhadap efisiensi penyisihan COD, BOD, Pb, dan warna ditunjukkan dengan p-value lebih kecil dari 0,05 (p-value <0,05). Sebaliknya, apabila p-value lebih besar dari 0,05 (p-value >0,05), maka menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan atau tidak ada pengaruh yang signifikan dari variabel terhadap efisiensi penyisihan COD, BOD, Pb, dan warna pada efluen limbah cair industri batik. Nilai p-value hasil uji Kruskal Wallis pada parameter COD, BOD, Pb dan warna masing-masing adalah 0,304 pada parameter COD, 0,385 pada parameter BOD, 0,241 pada parameter Pb, dan 0,496 parameter warna. Nilai - nilai p-value tersebut menunjukkan nilai p-value > 0,05. Hal ini berarti bahwa tidak ada perbedaan atau tidak ada pengaruh yang signifikan dari variabel jenis tanaman dan waktu tunggu pada pengolahan kombinasi filtrasi-fitoremediasi terhadap kandungan pencemar COD, BOD, Pb dan warna

4. KESIMPULAN

Pada sistem kombinasi filtrasi-fitoremediasi dengan tanaman melati air menghasilkan efisiensi penyisihan COD, BOD, dan Pb pada efluen masing-masing sebesar 91%, 90%, dan 98%. Sedangkan pada reaktor dengan tanaman bambu air memiliki efisiensi penyisihan COD, BOD, dan Pb pada efluen masing-masing sebesar 86%, 84%, dan 94%. Variabel jenis tanaman dan waktu tunggu dalam sistem pengolahan kombinasi filtrasi-fitoremediasi tidak memberikan perbedaan atau pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penyisihan pencemar COD, BOD, Pb, dan warna pada efluen limbah cair industri batik.

DAFTAR PUSTAKA

Anam, M., Kurniati, E., & Suharto B. (2013). Penurunan Kandungan Logam Pb dan Cr Leachate melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum Hyemale*) dan *Zeolit*. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 1(2), 43-59.

Anonim. (1995). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 1995, Tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri.

Anonim. (2013). Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Industri

Caroline J. & Moe, G. (2015). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. *Prosiding*.

Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

Chaney R L., Brown S., Li Y. M., Angle J. S., & Homer F. G. C. (1995). Potential use of metal hyperaccumulators. *Mining Environ Manag.*, 3, 9-11.

Dewi, M. T. K. (2017). Fitoremediasi Limbah Binatu Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius L.*) dan Jerami Hasil Fermentasi *Pseudomonas aeruginosa*. *Skripsi*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Fahn, A. (1994). *Anatomi Tumbuhan*. Edisi ketiga. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.

Fitria W. & Eko H. (2016). Pengolahan Limbah Cair Rumah Tangga Menggunakan Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*). Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 15(2), 121 – 127.

Hardiani, H. (2009). Potensi Tanaman dalam Mengakumulasi Logam Cu pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *BS*, 44(1), 27-40.

Hayati, N. 1992. Kemampuan Eceng Gondok dalam Mengubah Sifat Fisik Kimia Limbah Cair Pabrik Pupuk Urea dan Asam Formiat. *Tesis*. Pasca Sarjana Biologi, Institut Teknologi Bandung.

Irawanto, R. (2010). Fitoremediasi Lingkungan dalam Taman Bali. *Local Wisdom Scientific Online Journal*, 2(4). 29-35.

Irhamni, Setiaty P., Edison P., & Wirsal H. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2), 75-84.

Mangkoedihardjo S. & Samudro. (2010). *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Mohan, S. V., Prasad, K. K., Rao, N. C., & Sarma, P. N. (2005). Acid Azo Dye Degradation by Free and Immobilized Horseradish Peroxidase (HRP) Catalyzed Process. *Chemosphere*, 58, 1097–1105.

Murniati T. (2014). Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik dengan Metode Elektrolisis sebagai Upaya Penurunan Tingkat Konsentrasi Logam Berat di Sungai Jenes, Laweyan, Surakarta. *Tesis*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Murniati, T. & Muljadi. (2013). Pengolahan Limbah Batik Cetak dengan Menggunakan Metode Filtrasi-Elektrolisis untuk Menentukan Efisiensi Penurunan Parameter COD, BOD, dan Logam Berat (Cr) setelah Perlakuan Fisika-Kimia. *Ekilibrium Journal of Chemical Engineering*, 12(1), 27-36.

- Nasruddin, Isnasyauqiah, Nurandini, D., Halang, B., Normelani, E., Kumalawati, R., Syaharuddin, Aristin, N. F., & Riadi, S. (2018). Identifikasi Potensi Limbah Cair Zat Pewarna Sasirangan terhadap Pencemaran di Kota Banjarmasin. *Laporan Akhir Penelitian*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Lambung Mangkurat.
http://eprints.ulm.ac.id/5591/1/Nasruddin_Laporan%20Penelitian%20LIMBAH%20CAIR%20SASIRANGAN_FINAL_2018.pdf
- Ningsih, D. A. (2017). Uji Penurunan Kandungan BOD, COD, dan Warna pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dengan Sistem Pemaparan *Intermittent*. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Nur, F. & Isworo, S. (2020). The Phytoremediation of *Echinodorus palaefolius* (Water Jasmine) in Reducing BOD and COD of Liquid Waste - Batik Industry "X" in Pekalongan. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 12(3), 215-222.
- Nurdin, M., Natsir, M., Maulidiyah, & Gunlazuardi, J. (2010). Pengembangan Metode Analisis *Chemical Oxygen Demand* Model Baru. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 13(2).
- Nurmalinda, Yuliansyah, A. T., & Prasetya, A. (2018). Aklimatisasi Tanaman *Lemna minor* dan *Azolla microphylla* terhadap Lindi TPA Piyungan pada Tahap Awal Fitoremediasi. *Prosiding*. Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Eknologi Nuklir. Pusat Sains dan Teknologi Akselerator.
- Padmaningrum, R. T., Tien A., & Yuliaty. (2014). Pengaruh Biomasa Melati Air (*Echinodorus paleafolius*) dan Teratai (*Nyphaea firecrest*) terhadap Kadar Fosfat, BOD, COD, TSS, dan Derajat Keasaman Limbah Cair *Laundry*. *Jurnal Penelitian Saintek*, 19(2).
- Permadi, M. I. (2019). Pemanfaatan Bambu Air (*Equisetum Sp.*) untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Menggunakan Fitoremediasi Sistem Batch. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Pinandari, A. W., Fitriana D. N., Nugraha A., & Suhartono, E. (2011). Uji Efektifitas dan Efisiensi Filter Biomassa Menggunakan Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai Bioremoval untuk Menurunkan Kadar Logam (Cd, Fe, Cu), Total Padatan Tersuspensi (TSS) dan Meningkatkan pH pada Limbah Air Asam Tambang Batubara. *Prestasi*, 1 (1), 1-12.
- Purwanto, D. S. (2004). Pengelolaan Limbah Cair. *Skripsi*. Jurusan Kesehatan Lingkungan, Politeknik Kesehatan Surabaya.
- Puspawati S. W. (2017). Alternatif Pengolahan Limbah Industri Tempe dengan Kombinasi Metode Filtrasi dan Fitoremediasi. *Prosiding*. Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV Universitas Indonesia.
- Rachmi, I. S. & Muzayanah (2018). Tingkat Pengetahuan, Sikap dan Perilaku Pemilik Industri Batik dalam Mengolah Limbah Produksi Batik di Kampung Batik Jetis Kecamatan Sidoarjo Kabupaten Sidoarjo. *Swara Bhumi e-Journal Pendidikan Geografi FIS Unesa*, 5(6), 0-206.
- Rascio, N. & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? and what makes them so interesting? *Plant Science*, 180, 169-181.
- Reed, S. C. (1993). *Subsurface Flow Constructed Wetland for Wastewater Treatment a Technology Assesment*. New Orleans: U.S. Environmental Protection Agency.
- Rusyani, R. (2014). Potensi Tumbuhan Genjer sebagai Agen Fitoremediasi pada Limbah yang Mengandung Logam Timbal (Pb). *Skripsi*. Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo.
- Sasono, E. & Pungut. (2013). Penurunan Kadar BOD dan COD Air Limbah UPT Puskesmas Janti Kota Malang dengan Metode *Constructred Wetland*. *Waktu Jurnal Teknik UNIPA*, 11(1), 60-70.
- Schnoor, J. L., Licht, L. A., Mc Cutcheon, S. C., Wolfe, N. L., & Carreira, L. H. (1995). Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants. *Environ. Sci. Technol.*, 29, 318–323.
- Suharty, N. S. (1999). *Dasar-dasar Pengelolaan Limbah Industri*. Jakarta: Cetakan pertama. Penerbit UI- Press.
- Suprihatin, H. (2014). Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya. Surabaya. *Tugas Akhir*. Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Pembangunan.
- Sutyasmi, S. & Susanto, H. B. (2013). Penggunaan Tanaman Air (Bambu Air dan Melati Air) pada Pengolahan Air Limbah Penyamakan Kulit untuk Menurunkan Beban Pencemar dengan Sistem Wetland dan Adsorpsi. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 29(2), 69-76.
- Umroh. (2011). Kemampuan Tanaman Air Purun (*Lepiromia micronata*) dalam Menyerap Logam Berat (Pb, Cu, dan Zn) di Bekas Penambangan

Timah. *Akuatik Jurnal Sumberdaya Perairan*, 5(1).

Watini. (2009). Pengaruh Waktu Kontak Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap Penurunan Kadar Cd dan Cr pada Air Limbah Industri Batik (Home Industry Batik di Desa Sokaraja Lor) Kota Purwokerto. *Skripsi*. Fakultas Kedokteran dan Ilmu-Ilmu Kesehatan Universitas Jenderal Soedirman.