

Fitoremediasi Limbah Cair Tekstil Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dalam Meningkatkan Jumlah Helai Daun dan Bobot Basah

Deyana Rose Shinta, Elly Proklamasiningsih*, Slamet Santoso, Ani Widyastuti

Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. dr. Suparno 63 Purwokerto 53122

*Correspondent email : elly.proklamasi@gmail.com

Rekam Jejak Artikel:

Diterima : 21/08/2022

Disetujui : 02/03/2023

Abstract

The textile industry is one of the fastest growing industries and has an important role. Along with the development of the textile industry, it will also produce abundant waste. Textile waste contains sources of pollutants that are difficult to degrade naturally, namely inorganic materials such as Zn, Cu, Pb, Cd, and Cr metals which are harmful to aquatic organisms. Therefore, to reduce the negative impact of heavy metals, it is necessary to use waste treatment methods, such as phytoremediation. One of the plants that can be used is water lettuce (*Pistia stratiotes*). The purpose of this research was to determine the effect of percent cover area, duration of exposure, and their interaction in increasing the number of leaves and plant wet weight, as well as to determine the percent cover area, duration of exposure, and the best interaction between the two in increasing the number of leaves and plant wet weight. The results showed that the percentage of cover area and exposure time were able to increase the number of leaves and plant wet weight, but the interaction of the two was only able to increase the number of leaves. Percentage area of 100% coverage is the best in increasing the number of leaves and plant wet weight. The exposure time of 9 days was the best in increasing the number of leaves and plant wet weight. The interaction of 75% closure with an exposure time of 9 days was the best in increasing the number of leaves.

Key Words: phytoremediation; textile waste water; water lettuce

Abstrak

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berkembang pesat dan memegang peranan yang cukup penting. Seiring dengan berkembangnya industri tekstil, maka akan dihasilkan pula limbah yang melimpah. Limbah tekstil mengandung sumber pencemar yang sulit terdegradasi secara alami, yaitu bahan anorganik seperti logam Zn, Cu, Pb, Cd, dan Cr yang berbahaya bagi organisme perairan. Oleh karena itu untuk mengurangi dampak negatif dari logam berat perlu dilakukan metode pengolahan limbah, misalnya fitoremediasi. Salah satu tanaman yang dapat digunakan adalah kayu apu (*Pistia stratiotes*). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh persen luas penutupan, lama waktu pemaparan, dan interaksi keduanya dalam meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman, serta untuk menentukan persen luas penutupan, lama waktu pemaparan, dan interaksi keduanya yang terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen luas penutupan dan waktu pemaparan mampu meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman, namun interaksi keduanya hanya mampu meningkatkan jumlah helai daun. Persen luas penutupan 100% merupakan yang terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman. Waktu pemaparan 9 hari merupakan yang terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman. Interaksi penutupan 75% dengan waktu pemaparan 9 hari merupakan yang terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun.

Kata kunci: fitoremediasi; kayu apu; limbah cair tekstil

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berkembang pesat dan memegang peranan yang cukup penting. Perkembangan industri tekstil selain memiliki dampak positif, juga memiliki dampak negatif yang sangat berpengaruh terhadap perubahan lingkungan melalui pencemaran. Industri tekstil merupakan salah satu industri yang menyumbang limbah terbesar dalam ekosistem perairan dimana industri ini banyak menghasilkan limbah pewarna yang berbahaya bagi makhluk hidup. Seiring dengan berkembangnya industri tekstil, maka akan dihasilkan pula limbah yang

melimpah. Limbah tekstil mengandung sumber pencemar yang sulit terdegradasi secara alami, yaitu bahan anorganik seperti logam Zn, Cu, Pb, Cd, dan Cr yang berasal dari zat pewarna pada proses pewarnaan dan bahan organik seperti fenol, NaOH, minyak, dan lemak yang berasal dari proses *desizing*, *bleaching*, dan *dyeing* (Busran & Rachmatiah, 2010). Pengolahan limbah dapat dilakukan secara kimia, fisika, dan biologis. Salah satu metode pengolahan limbah secara biologis yang sering diterapkan adalah penggunaan tanaman. Pengolahan limbah atau remediasi menggunakan tanaman air sering digunakan karena memiliki beberapa kelebihan yaitu ramah lingkungan, dapat

dikendalikan, serta mudah diaplikasikan (Ramadhan *et al.*, 2017). Metode ini lebih dikenal dengan sebutan fitoremediasi. Menurut Ningsih *et al.* (2014) fitoremediasi adalah metode penggunaan tanaman untuk menghilangkan atau memecahkan bahan-bahan berbahaya baik organik maupun anorganik dari lingkungan. Tanaman dengan sifat hipertoleran berpotensi sebagai agen fitoremediator. Tanaman yang dapat hidup di lingkungan tercemar menunjukkan kemampuan adaptasi terutama dapat dilihat pada struktur morfologi, anatomi, dan fisiologi. Salah satu tanaman yang berpotensi sebagai fitoremediator yaitu kayu apu (*Pistia stratiotes*).

Kayu apu diketahui dapat menyerap dan menurunkan berbagai logam berat. Menurut Munawwaroh & Pangestuti (2018), kayu apu dapat menyerap berbagai logam berat seperti, Cu, Cr, Cd, Mn, Ag, Pb, Zn. Busran & Rachmatiah (2010) mengatakan bahwa kayu apu secara luas telah diteliti karena kemampuannya menyerap kontaminan dalam air dan selanjutnya digunakan untuk pengolahan air limbah. Cahyanto *et al.* (2018) menjelaskan bahwa dari beberapa hasil penelitian, kayu apu dapat menunjukkan kemampuannya dalam menyerap logam berat yang ada pada limbah cair dengan efektif. Keefektifan fitoremediasi logam berat menggunakan kayu apu juga telah dilakukan oleh Hernayanti & Proklamasiningsih (2004) dalam penelitiannya dan menjelaskan bahwa kayu apu merupakan tanaman yang memiliki karakteristik akar yang panjang, lebat, bercabang halus, dan sistem perakarannya luas. Akar kayu apu memiliki peranan yang penting dalam proses penyerapan logam berat. Menurut Munawwaroh & Pangestuti (2018), hal ini dikarenakan akar memiliki kemampuan yang besar dalam menyerap logam berat dibandingkan bagian tanaman yang lain. Penyerapan logam berat oleh tanaman air dilakukan pertama kali oleh akar, sebab akar merupakan organ yang langsung berinteraksi dengan pencemar (limbah). Keefektifan penggunaan kayu apu sebagai agen fitoremediator juga sudah banyak diteliti, misalnya pada penelitian yang dilakukan oleh Hariyanti (2016) untuk remediasi limbah pabrik saus, Hernayanti & Proklamasiningsih (2004) untuk remediasi limbah batik, dan Rahadian *et al.* (2017) untuk remediasi limbah laundry.

Menurut Taiz & Zeiger (2002), tumbuhan mampu menghasilkan fitokelatin sebagai pengkhelat logam berat dan metalotionin sebagai cara untuk mempertahankan diri ketika tumbuhan berada pada cekaman logam berat. Novi *et al.* (2019) menjelaskan bahwa fitokelatin merupakan protein yang dihasilkan oleh tumbuhan jika berada pada cekaman logam berat dilingkungannya. Metalotionin merupakan protein transport yang dapat memindahkan kelebihan logam seng dari

satu tempat ke tempat yang lain untuk menghindari efek toksik yang ditimbulkan terhadap tumbuhan. Fitokelatin dan metalotionin akan bekerjasama dalam mengikat logam berat yang ada didalam air. Menurut Mangera & Yusuf (2017), fitokelatin terakumulasi di dalam vakuola sel-sel tumbuhan sebagai indikator dari cekaman logam berat.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh persen luas penutupan, lama waktu paparan, dan interaksi keduanya dalam meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman, serta mengetahui persen luas penutupan, lama waktu paparan, dan interaksi keduanya yang terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman.

MATERI DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Aklimatisasi dan perlakuan dilakukan di green house Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman, serta preparasi dan analisis sampel dilakukan di Laboratorium Lingkungan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.

Materi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air limbah, kayu apu dan akuades.

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah ember, termometer, Lux meter, pH meter, dan kamera.

Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental dengan rancangan percobaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial terdiri dari 2 faktor, yaitu faktor pertama luas penutupan (P) terdiri atas lima taraf (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%) dan faktor kedua lama waktu paparan (T) terdiri atas tiga taraf (3, 6, dan 9) hari sehingga terdapat 15 interaksi perlakuan.

Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel bebas pada penelitian ini terdiri dari persen luas penutupan dan lama waktu paparan, sedangkan variabel terikat pada penelitian ini yaitu pertumbuhan tanaman. Penelitian ini menggunakan dua parameter, dimana parameter utama yang diamati adalah jumlah helai daun dan bobot basah tanaman, sedangkan parameter pendukungnya adalah COD, pH, temperatur media uji, dan intensitas cahaya.

Cara Kerja Penelitian

a) Aklimatisasi

Aklimatisasi tanaman kayu apu dilakukan pada ember dengan pH 7 selama 10 hari. Tujuan dari aklimatisasi adalah untuk mengamati adaptasi kayu apu pada lingkungan baru, yaitu ember dan tidak mengandung substrat (tanah).

b) Pengukuran tanaman

Tanaman kayu apu yang digunakan untuk perlakuan ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan. Hasil pengukuran dicatat sebagai bobot basah awal dengan satuan gram. Jumlah helai daun tanaman kayu apu yang digunakan untuk perlakuan dihitung terlebih dahulu dan hasilnya dicatat sebagai jumlah helai daun awal.

c) Perlakuan Air Limbah dengan Kayu Apu

Limbah cair tekstil diencerkan dengan aquades dengan perbandingan 1:1, sehingga konsentrasi limbah yang digunakan adalah 50%. Limbah yang sudah dicampur dengan aquades didistribusikan ke dalam 45 ember dengan volume masing-masing 4 liter. Tanaman kayu apu yang sudah diaklimatisasi selama 10 hari kemudian dipilih dengan keadaan morfologi yang baik. Tanaman kayu apu dimasukkan ke dalam ember berisi limbah sesuai dengan luasutupan.

d) Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter dengan cara melakukan kalibrasi dengan memasukkan pH meter ke dalam larutan buffer pH 7,01 kemudian ke dalam larutan buffer pH 10,01 kemudian masukkan alat sampai terendam sampel, tunggu sampai angka yang tertera pada pH meter menjadi stabil. Jika angka pada pH meter sudah tidak naik dan tidak turun, maka itulah hasil pH dari sampel air limbah. Pengukuran pH dilakukan setiap hari pada pukul 14.00 WIB.

e) Pengukuran Temperatur Media Uji

Pengukuran temperatur air limbah dilakukan menggunakan termometer dengan cara memasukkan bagian ujung termometer ke dalam sampel air selama 3 – 5 menit kemudian raksa di dalam termometer menunjukkan hasilnya, kemudian hasil dicatat. Pengukuran temperatur media uji dilakukan setiap hari pada pukul 14.00 WIB.

f) Pengukuran Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya diukur menggunakan Lux meter dengan cara menekan tombol power untuk menyalakan Lux meter, kemudian arahkan sensor pendeteksi cahaya ke arah atas. Jika angka yang tertera di lux meter sudah stabil, pencet tombol hold. Nilai intensitas cahaya yang tertera dicatat. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan setiap hari pada pukul 14.00 WIB.

g) Pengukuran tanaman

Tanaman kayu apu yang sudah diaplikasikan sesuai dengan lama waktu pemaparan ditimbang menggunakan timbangan. Hasil pengukuran dicatat sebagai bobot basah akhir dengan satuan gram. Setelah perlakuan selesai, hitung helai daun sesuai dengan taraf waktu pemaparan masing-masing dan hasilnya dicatat sebagai jumlah helai daun akhir. Tanaman kayu apu diambil pada pukul 14.00 WIB.

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan Uji Anova dengan tingkat kepercayaan 95% dan 99%, kemudian dilanjutkan dengan Uji Duncan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Pertumbuhan Tanaman

Mekanisme terjadinya fitoremediasi menurut Mansawan (2016), meliputi 5 tahap yaitu fitoekstraksi, rhizofiltrasi, rhizodegradasi, fitodegradasi, dan fitovolatilisasi. Fitoekstraksi merupakan tahap penarikan logam berat oleh tanaman. Logam berat ditarik tanaman melalui akar dalam bentuk ion. Rhizofiltrasi merupakan tahap penyerapan atau pengendapan logam berat pada akar. Rhizodegradasi merupakan tahap pemecahan logam berat melalui aktivitas mikroorganisme yang ada pada daerah akar.

Fitodegradasi merupakan tahap pemecahan melalui proses metabolisme di dalam tanaman. Fitovolatilisasi merupakan tahap penguapan logam berat ke atmosfer. Berdasarkan hasil analisis ragam pada data peningkatan jumlah helai daun menunjukkan bahwa adanya pengaruh pada perlakuan luas penutupan, lama waktu pemaparan, dan interaksi keduanya. Tanaman yang digunakan sebagai agen fitoremediasi adalah tanaman yang memiliki sifat hipertoleran, artinya tanaman tersebut mampu mengakumulasi kadar logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya. Sifat hipertoleran suatu tanaman dapat dilihat dari proses pertumbuhannya yang masih cenderung normal dengan mengamati jumlah helai daun yang senantiasa bertambah meskipun hidup pada lingkungan yang tercemar. Peningkatan jumlah helai daun menunjukkan bahwa tanaman mampu bertahan hidup pada lingkungan dengan kadar logam yang tinggi.

Luas penutupan 100% merupakan luas penutupan terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun dengan rata-rata peningkatan sebesar 34,78 dan lama waktu pemaparan 9 hari merupakan lama waktu pemaparan terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun dengan rata-rata 28,60. Interaksi keduanya yang terbaik untuk meningkatkan jumlah helai daun adalah luas penutupan 75% dengan lama waktu pemaparan 9 hari dengan rata-rata peningkatan sebesar 47,33. Hal ini dikarenakan kayu apu memiliki kemampuan untuk mengakumulasi unsur-unsur berlebih maupun yang tidak diperlukan untuk menghindari toksisitas logam berat yang dapat mengganggu proses metabolisme dan fotosintesis. Adanya peningkatan jumlah helai daun merupakan respon kayu apu terhadap lingkungannya yang mengandung kadar logam tinggi. Perbedaan hasil

Tabel 1. Rataan Jumlah Helai Daun Kayu Apu pada Limbah Cair Tekstil Setelah Diberi Perlakuan Persen Luas Penutupan, Waktu Pemaparan, dan Interaksi Keduanya

Persen Luas Penutupan		Waktu Pemaparan		Interaksi Luas Penutupan dan Waktu Pemaparan	
P ₀	0,00 ^a	T ₁	9,47 ^a	P ₀ T ₁	0,00 ^a
P ₁	12,78 ^b	T ₂	22,13 ^b	P ₀ T ₂	0,00 ^a
P ₂	22,11 ^c	T ₃	28,60 ^c	P ₀ T ₃	0,00 ^a
P ₃	30,67 ^d			P ₁ T ₁	5,33 ^{ab}
P ₄	34,78 ^e			P ₁ T ₂	10,33 ^{bc}
				P ₁ T ₃	22,67 ^{de}
				P ₂ T ₁	9,67 ^{bc}
				P ₂ T ₂	27,33 ^e
				P ₂ T ₃	29,33 ^e
				P ₃ T ₁	15,00 ^{cd}
				P ₃ T ₂	29,67 ^e
				P ₃ T ₃	47,33 ^f
				P ₄ T ₁	17,33 ^{cd}
				P ₄ T ₂	43,33 ^{ef}
				P ₄ T ₃	43,67 ^{ef}

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan.

Tabel 2. Rataan Bobot Basah Kayu Apu pada Limbah Cair Tekstil Setelah Diberi Perlakuan Persen Luas Penutupan dan Waktu Pemaparan

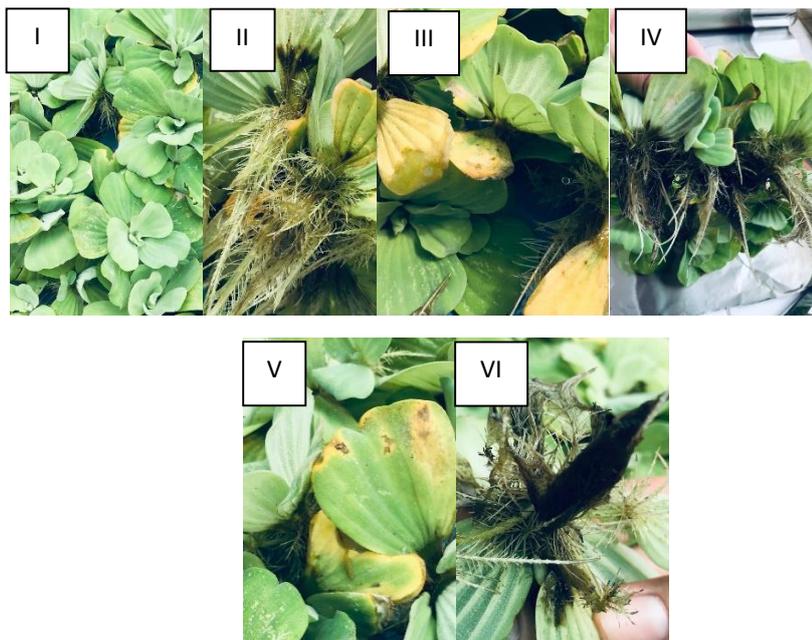
Persen Luas Penutupan		Waktu Pemaparan	
P ₀	0,00 ^a	T ₁	18,53 ^a
P ₁	17,11 ^b	T ₂	28,33 ^b
P ₂	34,56 ^c	T ₃	32,33 ^c
P ₃	33,89 ^c		
P ₄	46,44 ^d		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan.

terbaik pada variabel masing-masing dengan interaksi keduanya dikarenakan terdapat hubungan yang tidak sinergis antara luas penutupan dengan lama waktu pemaparan jika di interaksikan. Menurut Darmawan (2015), jumlah helai daun sangat bergantung pada tinggi rendahnya kadar logam dan unsur hara. Jumlah helai daun dapat menunjukkan kemampuan kayu apu dalam memanfaatkan unsur hara yang hidup pada lingkungan mencekam. Menurut Hapsari *et al.* (2016), peningkatan jumlah helai daun pada kayu apu dipengaruhi oleh fotosintesis. Hasil dari proses fotosintesis diangkut ke bagian tumbuhan lainnya agar dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan. Bobot basah merupakan salah satu indikator yang dapat menunjukkan kemampuan kayu apu untuk dapat hidup pada lingkungan mencekam. Berdasarkan hasil analisis ragam pada data peningkatan bobot basah tanaman menunjukkan bahwa adanya perbedaan yang sangat nyata pada pengaruh perlakuan luas penutupan dan lama waktu pemaparan, serta tidak adanya interaksi keduanya. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada perlakuan luas penutupan dan lama waktu

pemaparan, serta tidak terdapat pengaruh pada interaksi keduanya dalam meningkatkan bobot basah tanaman kayu apu.

Berdasarkan hasil pengamatan, dapat diketahui luas penutupan 100% merupakan luas penutupan terbaik dalam meningkatkan bobot basah tanaman dengan rata-rata 46,44. Lama waktu pemaparan terbaik dalam meningkatkan bobot basah tanaman adalah lama waktu pemaparan 9 hari dengan rata-rata sebesar 32,33 (Tabel 2). Peningkatan bobot basah tanaman berbeda-beda pada setiap luas penutupannya. Semakin luas penutupan dan lama waktu paparan, maka semakin meningkat pula bobot basah kayu apu. Peningkatan bobot basah berkaitan erat dengan peningkatan jumlah helai daun. Semakin meningkat pertumbuhan helai daun, maka semakin meningkat pula bobot basah tanaman pada tiap ember perlakuan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ningsih *et al.* (2014) bahwa meningkatnya bobot basah tanaman dipengaruhi oleh helai-helai daun baru yang tumbuh. Menurut Hapsari *et al.* (2016), jumlah tumbuhan yang berbeda pada tiap ember perlakuan menyebabkan cemaran yang didapatkan tumbuhan pada tiap taraf luas penutupannya juga



Gambar 1. Morfologi Daun dan Akar Kayu Apu (*P. stratiotes*).

Keterangan: (I) Daun kayu apu hari ke-3; (II) Akar kayu apu hari ke-3; (III) Daun kayu apu hari ke-6; (IV) Akar kayu apu hari ke-6; (V) Daun kayu apu hari ke-9; (VI) Akar kayu apu hari ke-9.

berbeda. Kadar logam berat yang diserap oleh tanaman dengan perlakuan luas tutupan yang semakin rapat akan lebih sedikit. Tanaman dengan perlakuan luas tutupan yang tidak terlalu rapat akan menyerap logam berat lebih banyak ke dalam tubuhnya sehingga menimbulkan kemungkinan penghambatan pertumbuhan terjadi lebih signifikan dibandingkan dengan tanaman dengan perlakuan luas tutupan yang rapat. Pertumbuhan kayu apu dalam media yang mengandung limbah tekstil akan berpengaruh terhadap kondisi morfologi. Tanaman pada waktu pemaparan 3 hari memiliki morfologi daun yang masih baik dan sehat. Daun tanaman saat hari ke-3 memiliki warna hijau sehat dengan tekstur daun seperti tekstur awal sebelum ditumbuhkan pada air limbah tekstil. Akar kayu apu terlihat lebat dan bersih. Morfologi kayu apu tidak mengalami perubahan yang signifikan pada hari ke-3 baik pada bagian daun maupun akar (Gambar 1). Helai daun kayu apu pada hari ke-6 menunjukkan bahwa tanaman mulai mengalami klorosis, diduga tanaman mulai mengalami dampak dari toksisitas logam berat. Akar yang semula lebat dan bersih mulai mengalami kerontokan. Hari ke-9 daun yang mengalami klorosis kian bertambah bahkan disertai dengan nekrosis. Hal ini dikarenakan penghambatan sintesis klorofil semakin tinggi. Akar yang rontok dan terjatuh di dasar reaktor (ember) semakin banyak. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hasyim (2016), bahwa semakin lama tanaman berada pada

lingkungan yang mencekam maka semakin buruk pula kondisi morfologinya.

Perubahan morfologi, anatomi, serta fisiologi kayu apu disebabkan kayu apu telah aktif menyerap logam berat dari lingkungan yang mengandung limbah tekstil dan berusaha untuk mempertahankan diri dan beradaptasi pada lingkungan tersebut agar tetap hidup. Menurut Munawwaroh & Pangestuti (2018), kelemahan metode fitoremediasi yaitu dapat diterapkan pada waktu yang tidak terlalu lama dan kondisi dengan tingkat pencemaran rendah. Jika fitoremediasi diterapkan pada lingkungan dengan tingkat pencemaran yang tinggi, maka tanaman tidak akan mampu bertahan lama. Efektivitas kayu apu dalam menurunkan kadar logam pada kondisi lingkungan dengan tingkat pencemaran tinggi akan cepat mengalami titik jenuh, dimana saat tanaman sudah mengalami titik jenuh dalam menyerap logam berat, maka tingkat penyerapannya tidak akan maksimal

b) Faktor Lingkungan

Berdasarkan hasil analisis ragam pada persentase penurunan kadar COD dapat diketahui bahwa adanya pengaruh luas penutupan, waktu pemaparan, dan interaksi keduanya terhadap penurunan kadar COD.

Tabel 3. Rataan Persentase Penurunan Kadar COD pada Limbah Cair Tekstil Setelah Diberi Perlakuan Persen Luas Penutupan, Waktu Pemaparan, dan Interaksi Keduanya

Persen Luas Penutupan		Waktu Pemaparan		Interaksi Luas Penutupan dan Waktu Pemaparan	
P ₀	22,10 ^a	T ₁	54,35 ^a	P ₀ T ₁	13,65 ^a
P ₁	57,896 ^b	T ₂	62,50 ^b	P ₀ T ₂	18,05 ^a
P ₂	71,86 ^c	T ₃	63,51 ^c	P ₀ T ₃	34,60 ^b
P ₃	76,85 ^e			P ₁ T ₁	50,30 ^c
P ₄	71,90 ^d			P ₁ T ₂	68,53 ^{fg}
				P ₁ T ₃	54,85 ^{cd}
				P ₂ T ₁	73,01 ^{gh}
				P ₂ T ₂	80,13 ^{hi}
				P ₂ T ₃	62,45 ^{de}
				P ₃ T ₁	66,59 ^{efg}
				P ₃ T ₂	86,32 ^{ij}
				P ₃ T ₃	77,63 ^h
				P ₄ T ₁	68,20 ^{fg}
				P ₄ T ₂	59,47 ^{de}
				P ₄ T ₃	88,03 ^j

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan.

Luas penutupan 75% merupakan luas penutupan terbaik dalam menurunkan kadar COD dengan persentase penurunan 76,85%, waktu pemaparan 9 hari merupakan waktu pemaparan terbaik dalam menurunkan kadar COD dengan persentase penurunan 63,51%, dan interaksi antara luas penutupan 100% dengan lama waktu pemaparan 9 hari merupakan interaksi terbaik dalam menurunkan kadar COD dengan persentase penurunan 88,03%. Perbedaan hasil terbaik pada variabel masing-masing dengan interaksi keduanya dikarenakan terdapat hubungan yang sinergis antara luas penutupan dengan lama waktu pemaparan jika diinteraksikan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3. bahwa persen penurunan COD interaksi lebih tinggi daripada luas penutupan atau lama waktu pemaparan yang tidak diinteraksikan. Jumlah tanaman memberikan pengaruh besar dalam menurunkan nilai COD. Semakin banyak tanaman, maka semakin tinggi pula aktivitas fotosintesis pada ember perlakuan tersebut. Aktivitas fotosintesis yang tinggi akan menghasilkan oksigen yang banyak yang akan berpengaruh pada nilai COD. Menurut Rahadian *et al.* (2017), proses fotosintesis menghasilkan oksigen yang kemudian dilepas dalam lingkungan yang dapat mengoksidasi senyawa organik. Selain itu terdapat aktivitas *rhizobacteria* pada akar kayu apu juga mampu menurunkan nilai COD.

Nilai pH awal limbah cair tekstil yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 9,8 dimana nilai tersebut sudah melebihi ambang batas dari yang seharusnya. Ambang batas pH limbah cair (Tabel 4)

Tabel 4. Kisaran Nilai Faktor Lingkungan

Parameter	Nilai
pH	6,62 – 8,81 (7,47 ± 0,41)
Temperatur	28,2 – 45 (31,04 ± 3,03)
Intensitas cahaya	1420 – 2550 (2074,4 ± 364,6)

tekstil menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik berkisar 6 – 9. Setelah diberi perlakuan, pH pada media uji terus menurun setiap harinya berkisar 8,71 – 6,62 dimana rentang tersebut merupakan rentang pH yang diperuntukkan pada limbah cair tekstil, artinya dengan rentang tersebut limbah cair tekstil sudah layak untuk dibuang ke lingkungan ditinjau dari aspek pH. Selama masa pengujian kayu apu mampu tumbuh dan tetap bertahan hidup, artinya kayu apu mampu tumbuh pada media uji yang memiliki pH berkisar 8,71 – 6,62. Hal ini sesuai dengan pernyataan Layla (2008), bahwa kayu apu mampu bertahan hidup pada media yang memiliki pH 3,5 – 10, namun pertumbuhan terbaiknya ada pada kisaran pH 4,5 – 7. Nilai pH pada reaktor akan menurun seiring waktu pemaparan yang semakin lama. Hal ini disebabkan banyaknya bagian daun yang mengalami nekrosis, sehingga jika daun tersebut masuk ke dalam media uji akan terdekomposisi dan menghasilkan asam humat yang dapat menyebabkan pH menurun (Ningsih *et al.*, 2014).

Temperatur awal limbah cair tekstil yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 47°C

dimana nilai tersebut sudah melebihi ambang batas dari yang seharusnya. Temperatur maksimum pada limbah cair tekstil menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil dan Batik adalah 38°C. Setelah diberi perlakuan, temperatur pada media uji terus menurun dengan rentang 45 – 28,1°C. Saat penelitian, temperatur cenderung mengalami penurunan drastis mulai dari hari kedua dimana temperatur pada hari tersebut sudah memenuhi syarat atau tidak melebihi ambang batas. Perubahan temperatur media uji dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan cuaca yang tidak tetap. Menurut Sohety *et al* (2020), temperatur lingkungan merupakan faktor utama penyebab temperatur mengalami kenaikan yang fluktuatif. Cuaca yang tidak menentu saat pengukuran temperatur dapat berpengaruh pada nilai temperatur media uji. Perubahan temperatur pada media uji berpengaruh terhadap tingkat penyerapan kayu apu karena temperatur berpengaruh terhadap proses metabolisme dan fotosintesis. Menurut Layla (2008), temperatur optimum untuk pertumbuhan kayu apu berkisar 20 – 30°C.

Cahaya matahari merupakan faktor penting untuk mendukung fotosintesis dan pertumbuhan tanaman. Jika tanaman tidak mendapat intensitas cahaya yang cukup, maka proses fotosintesis tidak berjalan secara optimal. Pengukuran intensitas cahaya selama masa penelitian dilakukan di tempat perlakuan, yaitu green house Fakultas Biologi dengan nilai intensitas cahaya berkisar 1420 – 2550 Lux. Menurut Ni'ma *et al.* (2014), intensitas cahaya terbaik untuk pertumbuhan tanaman kayu apu berkisar antara 2200 – 2400 Lux. Menurut Layla (2008), intensitas cahaya berpengaruh dalam pertumbuhan kayu apu karena jika tidak mendapat penyinaran yang cukup, maka pertumbuhan kayu apu akan terhambat

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa persen luas penutupan mampu meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman. Waktu pemaparan mampu meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman. Interaksi keduanya tidak mampu meningkatkan bobot basah tanaman, namun mampu meningkatkan jumlah helai daun. Luas penutupan 100% merupakan luas penutupan terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun serta bobot basah tanaman. Waktu pemaparan 9 hari merupakan waktu terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun dan bobot basah tanaman. Interaksi keduanya yang terbaik dalam meningkatkan jumlah helai daun adalah interaksi penutupan 75% dengan waktu pemaparan 9 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami diberikan kepada tim Riset Unggulan Terapan yang telah mendanai penelitian ini sepenuhnya berdasarkan Keputusan Ketua LPPM Unsoed Nomor: kept. 118/UN23.18/PT.01.05/2020.

DAFTAR REFERENSI

- Busran, T. P. & Rachmatiah, I., 2010. Pengaruh Penambahan Logam Zn pada Serapan Logam Cu oleh Tanaman Kiapu (*Pistia stratiotes*) pada Air. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 16(2), pp. 199-209.
- Cahyanto, T., Sudjarwo, T., Larasati, S. P. & Fadillah, A., 2018. Fitoremediasi Air Limbah Pencelupan Batik Parakannyasag Tasikmalaya Menggunakan Ki Apu (*Pistia stratiotes* L.). *Scripta Biologica*, 5(2), pp. 83-89.
- Darmawan, T. S., 2015. Pengaruh Interaksi Tanaman Hiperakumulator Bermikoriza pada Fase Pembibitan Terhadap Pertumbuhan Kedelai (*Glycine max*) pada Kondisi Stres Logam Mangan (Mn). *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hapsari, S., Zaman, B. & Andarani, P., 2016. Kemampuan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam Menyisihkan Kromium Total (Cr-T) dan COD Limbah Elektroplating. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(4), pp. 1-9.
- Hariyanti, F., 2016. Efektivitas Subsurface Flow-Wetlands dengan Tanaman Eceng Gondok dan Kayu Apu dalam Menurunkan Kadar COD dan TSS pada Limbah Pabrik Saus. *Skripsi*. Semarang: Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Hasyim, N. A., 2016. Potensi Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dalam Mereduksi Logam Berat Seng (Zn) dari Perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo. *Skripsi*. Makassar: Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Hernayanti & Proklamasiningsih, E., 2004. Fitoremediasi Limbah Cair Batik Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) sebagai Upaya untuk Memperbaiki Kualitas Air. *Jurnal Pembangunan Pedesaan*, 4(3), pp. 164-172.
- Layla, R., 2008. Penggunaan Tanaman Kiapu (*Pistia stratiotes*) sebagai Pengolahan Pendahuluan untuk Air Permukaan dengan Parameter Warna dan TDS “Studi Kasus Selokan Mataram”. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

- Mangera, Y. & Yusuf, M. A., 2017. Kemampuan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai Media Fitoremediasi Air Belerang dengan Perlakuan Aerasi untuk Kualitas Air Pertanian. *AGRICOLA*, 7(1), pp. 25-33.
- Mansawan, L. B. S., 2016. Fitoremediasi Logam Beray (Mn, Pb, Zn) dari Limbah Cair Laboratorium Kimia Universitas Kristen Satya Wacana oleh Kayu Apu Dadak (*Azolla pinnata* R.Br.). *Skripsi*. Salatiga: Universitas Kristen Satya Wacana.
- Munawwaroh, A. & Pangestuti, A. A., 2018. Analisis Morfologi dan Anatomi Akar Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Akibat Pemberian Berbagai Konsentrasi Kadmium (Cd). *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi*, 7(2), pp. 111-122.
- Ni'ma, N., Widyorini, N. & Ruswahyuni., 2014. Kemampuan Apu-apu (*Pistia* sp.) sebagai Bioremediator Limbah Pabrik Pengolahan Hasil Perikanan (Skala Laboratorium). *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(4), pp. 257-264.
- Ningsih, I. S. R., Lestari, W. & Azis, Y., 2014. Fitoremediasi Zn dari Limbah Cair Pabrik Pengolahan Karet Dengan Pemanfaatan *Pistia stratiotes* L. *JOM FMIPA*, 1(2), pp. 1-9.
- Novi, C., Sartika, S. & Shobah, A. N., 2019. Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan *Hydrilla* sp. pada Limbah Industri Kertas. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), pp. 108-114.
- Rahadian, R., Sutrisno, E. & Sumiyati, S., 2017. Efisiensi Penurunan COD dan TSS dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Studi Kasus: Limbah Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), pp. 1-8.
- Ramadhan, A. F., Sutrisno, E. & Sumiyati, S., 2017. Efisiensi Penyisihan BOD dan Phospat pada Air Limbah Pencucian Pakaian (Laundry) dengan Menggunakan Fitoremediasi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), pp. 1-11.
- Soheti, P., Sumarlin, L. O. & Marisi, D. P., 2020. Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) untuk Menurunkan Kadar Torium. *Eksplorium*, 41(2), pp. 139-150
- Taiz, L. & Zeiger, E., 2002. *Plant Physiology*. California: The Benjamin/Cummings Pub. Co. Inc.