

Penyisihan Kandungan Perak dalam Limbah Cair Pencucian Film Melalui Proses Biofiltrasi dengan Tanaman Eceng Gondok

Siti Diyar Kholisoh¹, Tunjung Wahyu Widayati², Zubaidi Achmad³, Faizah Hadi⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta

¹E-mail: diyar.kholisoh@upnyk.ac.id

ABSTRACT

Wastewater produced from the film washing process in photo studios generally has very high contents of heavy metals, such as silver (Ag). This situation can cause various health and environmental problems if it is not treated before disposal. Therefore, this research was aimed to reduce the silver content in the wastewater through biological processes. This study was conducted using a biofiltration process using water hyacinth plants. Film washing waste was first acclimatized into concentration of 2.5% and the initial silver content was measured. Afterwards, water hyacinth of 600, 900, 1200, and 1500 g, respectively, was planted into the wastewater. Waste samples were subsequently taken and analyzed every 2 days. The highest removal efficiency of 99.94% was yielded for 1500 g of plant. In this condition, the silver content in wastewater met the environmental quality standards.

Keywords: biofiltration, photographic wastewater, removal efficiency, silver, water hyacinth

INTISARI

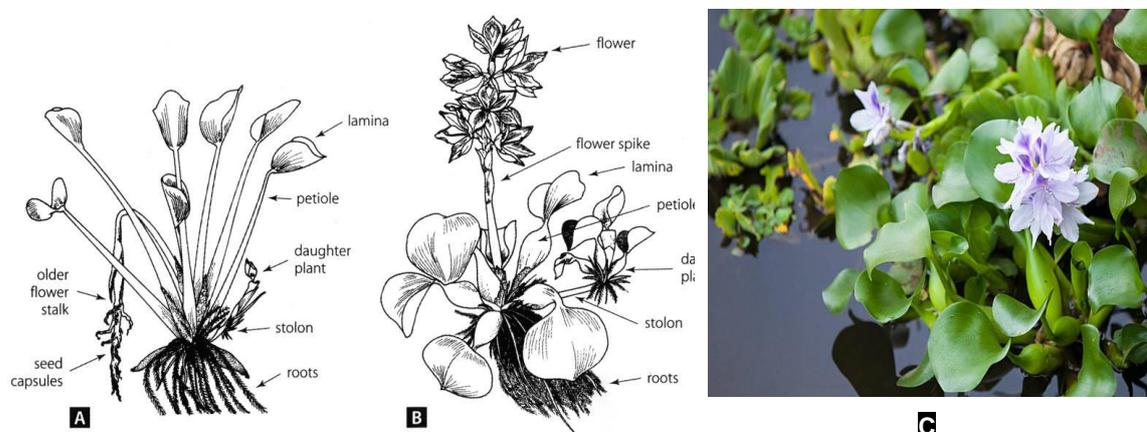
Limbah cair yang dihasilkan dari proses pencucian film pada studio foto mempunyai kandungan logam berat berupa perak (Ag) yang sangat tinggi. Hal ini dapat menimbulkan berbagai persoalan terhadap kesehatan dan lingkungan jika tidak diolah lebih dahulu sebelum dibuang. Oleh karenanya, penelitian ini dilakukan untuk menurunkan kandungan perak dalam air limbah melalui proses biologis. Penelitian dilakukan dengan proses biofiltrasi menggunakan tanaman eceng gondok. Limbah pencucian film diaklimatisasi lebih dahulu dengan konsentrasi air limbah 2,5% dan diukur kandungan perak awalnya. Selanjutnya, eceng gondok dengan variasi berat 600, 900, 1200, dan 1500 g ditanam ke dalam air limbah tersebut. Sampel limbah diambil dan dianalisis kandungan peraknya setiap 2 hari sekali. Penelitian ini menghasilkan efisiensi penyisihan kandungan perak rerata tertinggi pada berat 1500 g eceng gondok, yaitu sebesar 99,94%. Pada kondisi ini, kandungan perak dalam air limbah sudah memenuhi persyaratan baku mutu untuk dibuang ke lingkungan.

Kata kunci: biofiltrasi, eceng gondok, efisiensi penyisihan, limbah pencucian film, perak

PENDAHULUAN

Studio foto merupakan kegiatan usaha pelayanan jasa dalam bidang fotografi yang banyak dijumpai di berbagai wilayah dan pelosok daerah. Selain menghasilkan barang dan jasa, kegiatan ini juga menghasilkan hasil samping yang berupa air limbah atau limbah cair. Dalam proses fotografi, terdapat tahap kegiatan pencucian film yang menghasilkan limbah cair dengan kandungan logam berat berupa perak (Ag) yang cukup tinggi (Kirk-Othmer (2007), Kuswati (2003), pengolahanlogamemas.wordpress.com (2013), Shreve (1956)). Dalam hal ini, tingginya kandungan Ag dalam proses pencucian film terdapat dihasilkan pada limbah larutan *fixer* dan limbah negatif film. *Fixer* merupakan zat kimia berupa cairan pekat yang biasa digunakan untuk mencuci film dalam fotografi studio, foto *rontgen* untuk rumah sakit, maupun tempat percetakan majalah atau koran yang menggunakan mesin *offset*. Proses pencucian film merupakan kegiatan di dalam dunia fotografi untuk mengubah film yang baru diekspos agar dapat dilihat dengan menggunakan mata telanjang. Logam perak telah lama digunakan dalam dunia fotografi disebabkan oleh kepekaannya terhadap sinar ultraviolet. Jika langsung dibuang dan tidak dilakukan pengolahan lebih lanjut (terhadap limbah cair ini), maka kandungan perak dalam limbah cair pencucian film akan terakumulasi dalam sumber air dan perairan serta berbagai gangguan kesehatan dan persoalan lingkungan lainnya. Di sisi lain, logam perak yang terdapat dalam limbah cair ini sebenarnya dapat dipisahkan atau disisihkan melalui berbagai metode pengolahan secara fisika, kimia, maupun biologi. Logam perak hasil dari pemisahan ini selanjutnya dapat dimanfaatkan kembali, misalnya sebagai bahan baku dalam industri kerajinan perak (Shreve (1956), pengolahanlogamemas.wordpress.com (2013)).

Tanaman eceng gondok, dengan nama latin *Eichhornia crassipes* (Mart), merupakan tanaman air terapung yang dapat dikelompokkan ke dalam *divisio*, *subdivisio*, *kelas*, *ordo*, *familia*, dan *genus* masing-masing adalah *Spermatophyta*, *Angiospermae*, *Monocotyledoneae*, *Farinoseae*, *Pontedericeae*, dan *Eichhornia*. Tanaman ini dapat tumbuh dan berkembang biak secara generatif maupun vegetatif dengan baik dan cepat pada perairan air tawar yang tenang dan dangkal. Eceng gondok dapat tumbuh secara optimum pada rentang suhu antara 25–30 °C dan pH antara ± 7 (pH netral). Eceng gondok kerap dianggap sebagai gulma yang dapat merusak ekosistem perairan (Suriawiria (1999), liputan6.com, kompas.com). Tumbuhan ini dapat dijumpai dalam morfologi tangkai daun ramping maupun tangkai daun bulat (ilustrasinya disajikan pada **Gambar 1**).



Gambar 1. Ilustrasi tanaman eceng gondok: A = morfologi tangkai daun ramping, B = tangkai daun bulat, C = keberadaannya di kolam atau perairan (sumber: istockphoto.com)

Eceng gondok merupakan salah satu jenis tanaman mengambang atau mengapung (*floating plants*) pada air yang mengandung mikroorganisme *rhizosfera*, di mana mikroorganisme ini dapat digunakan untuk mengolah air buangan karena dapat menguraikan zat-zat organik dan anorganik di dalam air buangan (Suriawiria (1999), liputan6.com). Mikroorganisme ini hidup dan bersimbiosis di sekitar bagian akar tanaman. Menurut Suriawiria (1999), biofiltrasi merupakan proses penyerapan dan akumulasi zat-zat polutan dan lainnya yang terkandung dalam air ke dalam struktur tumbuhan. Biofiltrasi merupakan salah satu cara pengolahan air buangan dengan memanfaatkan tanaman yang mempunyai mikroorganisme *rhizosfera*, di mana mikroorganisme ini mempunyai kemampuan untuk menurunkan kandungan BOD (*biochemical oxygen demand*) dan COD (*chemical oxygen demand*), meningkatkan kelarutan oksigen, menguraikan zat-zat organik, serta menurunkan kandungan sejumlah logam berat dalam air buangan (termasuk logam perak (Ag)). (Suriawiria (1999), infostudikimia.blogspot.com)

Selain bersifat intens menyebabkan perubahan air, gangguan biota akuatik, kelebihan evapotranspirasi, dan dampak lainnya yang merugikan, tanaman eceng gondok mempunyai sejumlah manfaat, seperti: untuk bioremediasi (fitoremediasi), sebagai stabilisator suhu perairan, untuk memproduksi kompos, sebagai pakan ikan dan ternak, untuk memproduksi biogas, *biofuel*, sebagai pengendali pertumbuhan ganggang yang menyerap oksigen di perairan, dan sebagainya. Fitoremediasi merupakan metode yang memanfaatkan tanaman untuk membersihkan tanah atau air dari kotoran organik dan anorganik. Eceng gondok dapat mengolah air limbah yang mengandung logam berat dan ion terlarut. Daun, akar, dan jaringan bohlam tanaman menunjukkan kemampuan hiperakumulasi untuk logam berat. Eceng gondok juga menyerap hidrokarbon minyak bumi dan dapat digunakan untuk fitoremediasi ekosistem perairan yang tercemar minyak mentah (Suriawiria (1999), liputan6.com, kompas.com, infostudikimia.blogspot.com).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi penggunaan tanaman eceng gondok untuk mengurangi kandungan logam berat dalam air limbah, seperti penyisihan logam berat tembaga (Cu) dan perak (Ag) dalam limbah cair industri kerajinan perak di Kotagede, Yogyakarta (Sekarwati (2015)) yang berhasil menurunkan kandungan logam berat rata-rata sebesar 65,5% (dari 2,38 mg/liter menjadi 1,56 mg/liter). Penyisihan ion logam tembaga II (Cu(II)) dengan eceng gondok juga dilakukan oleh Lestari (2021) yang menghasilkan efisiensi penyisihan hingga mencapai 99,62% dengan media berupa air. Savira (2024) mengkombinasikan penggunaan

eceng gondok dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) pada penyisihan kandungan logam zink (Zn) dalam buangan limbah industri, serta menghasilkan rerata tingkat penyisihan logam tertinggi hingga sebesar 99,2% (dari kandungan Zn awal sebesar 4 ppm). Kandungan logam timbal (Pb) dalam air limbah juga berhasil diturunkan menggunakan eceng gondok dengan efisiensi penyerapan Pb hingga sebesar 98,33% (Zahro (2020)). Logam berat kromium heksavalen (Cr^{6+}) pada limbah cair industri batik di Yogyakarta telah dapat disisihkan dengan efisiensi sebesar 81,04% dan menghasilkan air buangan yang memenuhi persyaratan baku mutu lingkungan melalui proses fitoremediasi dengan tanaman eceng gondok (Nugroho (2021)). Irhamni (2018) juga telah berhasil menguji efektivitas penggunaan sejumlah tanaman fitoremediasi (berupa tanaman obor (*Typha latifolia*), eceng gondok, dan kiambang (*Pistia stratiotes*)) dalam penyisihan logam-logam berat berupa kromium (Cr), merkuri (Hg), dan timbal (Pb) dengan limbah cair sintesis. Pemanfaatan eceng gondok untuk penyisihan kandungan logam berat merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) juga telah diteliti oleh Resmianty (2012), dengan mengkombinasikannya melalui penggunaan tanaman kijang Taiwan (*Anadonta woodiana*) sebagai tanaman biofilter. Selain itu, Afkar (2020) juga melakukan riset tentang efisiensi penggunaan tanaman biofilter lainnya, yaitu tumbuhan paku (*Pteridophyta*) untuk menurunkan kandungan logam berat merkuri (Hg), tembaga (Cu), dan perak (Ag).

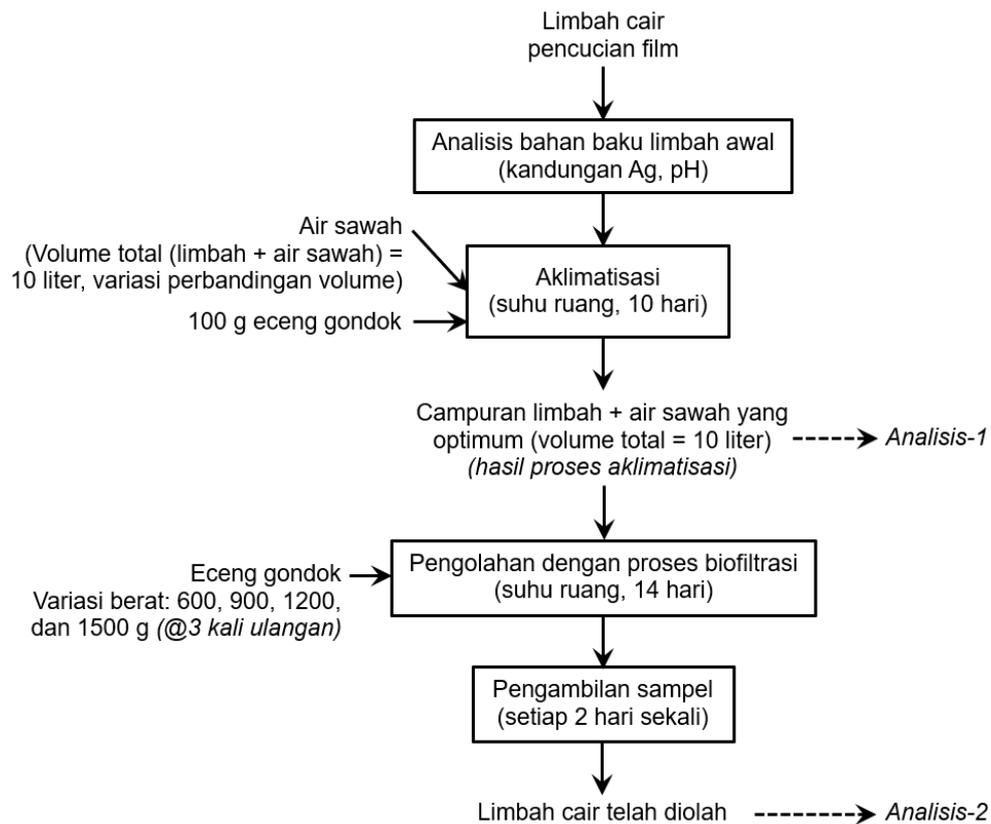
Berdasarkan semua paparan tersebut di atas, penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan tujuan untuk mempelajari efisiensi penggunaan tanaman eceng gondok dalam proses biofiltrasi dan mengetahui berat eceng gondok yang optimum untuk menurunkan atau menyisihkan kandungan logam perak (Ag) dalam limbah cair pencucian film (yang mengandung perak dengan konsentrasi tinggi).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian. Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian percobaan dan pengambilan data di laboratorium. Bahan-bahan yang digunakan meliputi: tanaman eceng gondok yang diperoleh dari kolam dekat Balai Sabo, Maguwoharjo, Sleman; limbah cair pencucian film yang diperoleh dari Kodak Film, Jalan Gejayan, Yogyakarta; dan air sawah dari persawahan milik Bapak Mursid, Maguwoharjo, Sleman. Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan sederhana berupa: 15 buah ember plastik berkapasitas 15 liter (dengan ukuran: diameter 45 cm, tinggi 20 cm, dan diameter alas 30 cm); gelas ukur bervolume 1 liter; timbangan; botol sampel; serta jerigen plastik berkapasitas 10 liter.

Prosedur Penelitian. Kegiatan penelitian ini dilakukan melalui tahap-tahap: aklimatisasi, pengolahan, serta pengambilan dan analisis sampel. Tahap aklimatisasi limbah dilakukan untuk mengetahui konsentrasi limbah cair pencucian film di mana tanaman eceng gondok dapat tumbuh dengan baik. Pada tahap ini, tanaman eceng gondok diambil dari habitat alamnya, dibersihkan dari tanah yang melekat dengan dicuci menggunakan air mengalir, dan kemudian dipindahkan ke dalam sejumlah ember supaya dapat beradaptasi lebih dahulu sebelum perlakuan. Tahap ini ditempuh dengan cara menanam 100 gram eceng gondok ke dalam 10 liter campuran limbah cair pencucian film dan air sawah (dengan beberapa variasi perbandingan volume) pada suhu ruangan selama kira-kira 10 hari. Suhu optimum untuk pertumbuhan eceng gondok berkisar antara 25–30 °C. Variasi percobaan diambil pada konsentrasi 0%; 2,5%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; dan 35%-volume limbah cair (terhadap volume air sawah). Hasil yang diperoleh dari tahap aklimatisasi ini selanjutnya digunakan untuk melakukan tahap penelitian berikutnya (yaitu tahap pengolahan). Sebelum diaklimatisasi, limbah cair awal dianalisis kandungan perak dan juga pH-nya.

Tahap pengolahan limbah dimaksudkan untuk mengetahui tingkat penyisihan kandungan perak di dalam limbah cair pencucian film setelah ditanami eceng gondok. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan berat tanaman eceng gondok (yaitu sebesar 600, 900, 1200, dan 1500 gram) ke dalam 10 liter campuran limbah dan air sawah. Masing-masing perlakuan pada variasi percobaan diulang sebanyak 3 kali, sehingga tahap pengolahan ini dilakukan dalam 12 buah ember. Sampel campuran limbah dari masing-masing ember (sebanyak @±5 ml) diambil setiap 2 hari sekali dan kemudian diukur kandungan peraknya. Bagan alir langkah-langkah penelitian ini disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Bagan alir prosedur penelitian

Keterangan: Analisis-1 berupa pengukuran kandungan Ag awal (sebelum diolah); analisis-2 berupa pengukuran kandungan Ag setelah dilakukan pengolahan.

Analisis dan pengukuran kandungan perak dalam limbah cair dilakukan dengan metode spektroskopi serapan atom (*atomic absorption spectroscopy*, AAS, pada panjang gelombang 328,1 nm, Wahab (2024)) di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Selanjutnya, efisiensi penyisihan kandungan perak dalam limbah ($\eta_{\text{penyisihan}}$) dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$\eta_{\text{penyisihan}} = \frac{\text{kandungan Ag awal} - \text{kandungan Ag setelah pengolahan}}{\text{kandungan Ag awal}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

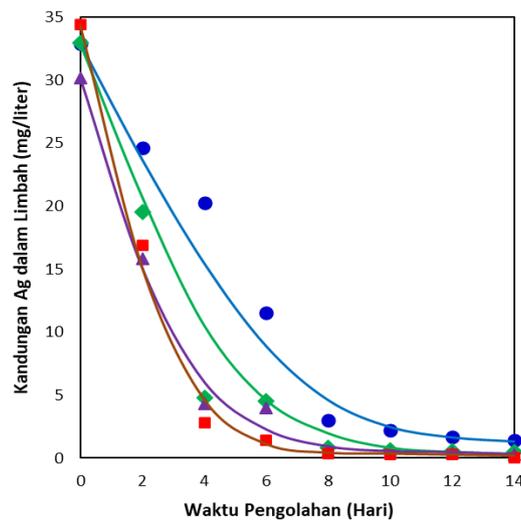
Hasil Analisis Limbah Awal dan Setelah Proses Aklimatisasi

Limbah cair hasil pencucian film (sebagai bahan baku awal) yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kandungan perak (Ag) rerata sebesar 5716,68 mg/liter dan pH sebesar 6,22. Hasil proses aklimatisasi terhadap limbah ini memperlihatkan bahwa tanaman eceng gondok masih dapat tumbuh dengan baik pada penggunaan campuran sebesar 2,5%-volume limbah cair (dalam air sawah). Pada kondisi tersebut, dilakukan pencampuran antara 250 ml limbah cair dengan 9750 ml air sawah sehingga ember terisi 10 liter. Penggunaan konsentrasi limbah cair yang melebihi 2,5%-volume mengakibatkan tanaman eceng gondok tidak dapat tumbuh dan beradaptasi dengan baik. Tanaman menjadi cenderung layu, warna daun menguning, tanaman mengalami kerusakan (tidak segar), dan bahkan hampir mati sebelum periode waktu aklimatisasi selesai. Fenomena ini bersesuaian dengan hasil-hasil penelitian yang dilakukan antara lain oleh Fatoni (2020), Nugroho (2021), dan Savira (2024).

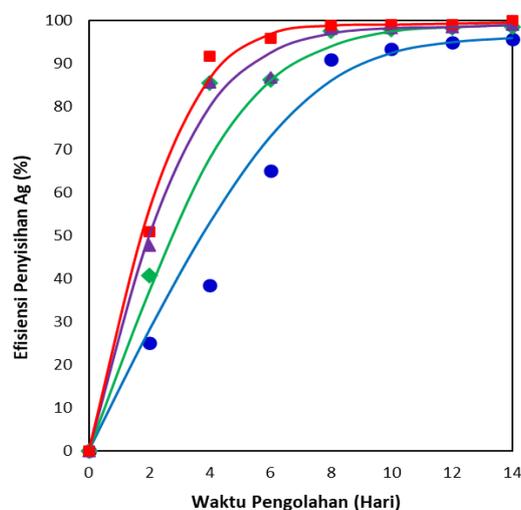
Hasil pengukuran sampel terhadap campuran 2,5%-volume limbah cair pencucian film (dalam air sawah) pada akhir periode aklimatisasi memperlihatkan kandungan Ag rerata sebesar 32,59 mg/liter. Meskipun terjadi penurunan kandungan Ag yang relatif sangat signifikan dibandingkan dengan limbah cair awalnya (yaitu: dari semula sebesar 5716,68 mg/liter dan kemudian berkurang menjadi 32,59 mg/liter), namun campuran limbah ini masih memerlukan pengolahan lebih lanjut. Hal ini dikarenakan campuran limbah belum memenuhi persyaratan baku mutu air limbah, sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 5 tahun 2014 dan Peraturan Daerah di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) nomor 7 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah, yaitu kandungan Ag maksimum sebesar 0,5 mg/liter.

Kandungan Perak dalam Limbah Setelah Proses Pengolahan Lanjut

Pengolahan lanjut limbah cair hasil pencucian film secara biofiltrasi dilakukan dengan mencampurkan limbah dan air sawah (dengan konsentrasi 2,5%-volume) serta menanamkan eceng gondok ke dalamnya. Berat eceng gondok divariasikan mulai 600 g, 900 g, 1200 g, dan hingga 1500 g. Pengambilan sampel dan pengamatan kandungan Ag dilakukan setiap 2 hari sekali dan selama 14 hari. Profil kandungan Ag dalam limbah dan besarnya efisiensi penyisihan Ag seiring dengan waktu pengolahan divisualisasikan melalui **Gambar 3**, **Gambar 4**, dan **Tabel 1**.



Gambar 3. Profil kandungan Ag dalam limbah seiring dengan waktu pengolahan (● ≡ berat eceng gondok 600 g; ◆ ≡ 900 g; ▲ ≡ 1200 g; ■ ≡ 1500 g)



Gambar 4. Besarnya efisiensi penyisihan Ag dalam limbah seiring dengan waktu pengolahan (*relatif dibandingkan dengan kandungan Ag setelah proses aklimatisasi*) (● ≡ berat eceng gondok 600 g; ◆ ≡ 900 g; ▲ ≡ 1200 g; ■ ≡ 1500 g)

Tabel 1. Penurunan kandungan Ag dalam limbah selama proses pengolahan, efisiensi penyisihan yang dihasilkan, dan kandungan Ag sesuai dengan persyaratan baku mutu

Parameter	Berat eceng gondok				Rerata
	600 g	900 g	1200 g	1500 g	
Kandungan Ag pada hari ke-0 (mg/liter)	32,87	32,92	30,18	34,37	32,59
Kandungan Ag pada hari ke-14 (mg/liter)	1,13	0,49	0,30	0,02	0,49
Efisiensi penyisihan (%)	95,63	98,52	99	99,94	98,27
Kandungan Ag sesuai persyaratan baku mutu (mg/liter, maksimum)					0,5

Berdasarkan *trendline* data pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**, terinvestigasi bahwa kandungan Ag mengalami penurunan dan efisiensi penyisihan Ag dalam limbah mengalami peningkatan seiring dengan semakin lamanya waktu pengolahan, yaitu dalam 14 hari pengamatan. Selain itu, teramati juga bahwa tingkat atau laju penurunan kandungan Ag dan peningkatan efisiensi penyisihan Ag paling signifikan terjadi pada penggunaan berat tanaman eceng gondok yang paling tinggi, yaitu 1500 g (dalam 15 liter campuran limbah cair dan air sawah, dengan perbandingan konsentrasi 2,5%-volume limbah). Pada akhir periode waktu pengolahan (yaitu hari ke-14), sampel limbah pada berat 600 g eceng gondok masih belum memenuhi persyaratan kualitas buangan air limbah (yaitu sebesar 1,13 mg/liter, di mana angka ini masih berada di atas ambang batasnya yang sebesar 0,5 mg/liter). Namun demikian, sampel akhir limbah dengan penggunaan berat 900, 1200, dan 1500 g eceng gondok sudah memenuhi persyaratan baku mutu lingkungan. Dengan kata lain, sampel limbah dengan 600 g eceng gondok dimungkinkan untuk perlu diolah dalam waktu yang lebih lama dari 14 hari.

Seperti yang tersaji pada **Tabel 1**, penurunan rerata kandungan Ag paling tinggi atau relatif terbaik (yang dihasilkan dari penelitian ini) diperoleh pada penggunaan berat eceng gondok sebesar 1500 g, di mana kandungan Ag dalam limbah berkurang dari 34,37 mg/liter menjadi 0,02 mg/liter, atau diperoleh efisiensi penyisihan kandungan Ag sebesar 99,94%. Profil besarnya efisiensi penyisihan kandungan Ag ($\eta_{\text{penyisihan}}$) sebagai fungsi waktu pengolahan (t) pada kondisi ini selanjutnya dapat dinyatakan melalui model persamaan *saturation growth curve* sebagai berikut:

$$\eta_{\text{penyisihan}} = \frac{68 t}{1 + 0,583 t}$$

di mana: $\eta_{\text{penyisihan}}$ dalam %; t dalam satuan hari. Model persamaan ini merujuk pada kurva dengan berat eceng gondok sebesar 1500 g (■) dalam **Gambar 4**. Berdasarkan pendekatan metode *least-squares* terhadap data yang tersedia, diperoleh *coefficient of determination* (R^2) sebesar 98,4%.

Jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian yang mirip sebelumnya (sebagaimana yang telah dilakukan oleh Afkar (2020), Sekarwati (2015), maupun Kuswati (2003)), maka dapat disimpulkan bahwa tanaman fitoremediasi atau biofilter seperti eceng gondok terbukti sangat efektif untuk menyisihkan atau menurunkan kandungan logam berat (seperti perak (Ag)) dalam air limbah, termasuk limbah pencucian film. Hasil investigasi dalam laboratorium ini menghasilkan air limbah (terolah) yang telah memenuhi persyaratan baku mutu lingkungan.

KESIMPULAN

Tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) telah terbukti efektif untuk menyisihkan atau menurunkan kandungan Ag dalam limbah cair pencucian film melalui proses biofiltrasi. Tahap aklimatisasi limbah menyimpulkan bahwa tanaman eceng gondok mampu tumbuh paling baik pada konsentrasi 2,5%-volume limbah cair (dalam campuran dengan air sawah). Semakin berat eceng gondok yang digunakan berakibat pada tingkat penyisihan kandungan Ag yang semakin besar. Penurunan rerata kandungan Ag yang paling tinggi tercapai pada berat eceng gondok sebesar 1500 g, di mana kandungan Ag dalam limbah berkurang dari 34,37 mg/liter menjadi 0,02 mg/liter, atau diperoleh efisiensi penyisihan kandungan Ag sebesar 99,94%. Sampel limbah yang telah mengalami tahap aklimatisasi dan tahap pengolahan lanjut dalam penelitian ini sudah memenuhi baku mutu air limbah yang dipersyaratkan oleh pemerintah, yaitu kurang dari 0,5 mg/liter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada saudari Jati Palupi dan saudara Indra Ashari yang telah membantu dalam kegiatan *survey* lapangan dan pengambilan data percobaan di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Afkar, Majral. 2020. *Analisis Kadar Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), dan Perak (Ag) pada Tumbuhan Paku (Pteridophyta) di Desa Pantan Bayam, Kecamatan Beutong, Kabupaten Nagan Raya*. Banda Aceh: Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Daerah Istimewa Yogyakarta. 2016. Peraturan Daerah – Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) Nomor 7 Tahun 2016 tentang *Baku Mutu Air Limbah*. Yogyakarta.
- Fatoni, Achmad Aji. 2020. *Fitoremediasi Logam Berat (Zn) Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dengan Sistem Batch*. Surabaya: Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Irhamni, Setiaty Pandia, Edison Purba, dan Wirsal Hasan. 2018. Analisis Limbah Tumbuhan Fitoremediasi (*Typha latifolia*, Eceng Gondok, Kiambang) dalam Menyerap Logam Berat. *Serambi Engineering*, Vol. III (Edisi Khusus) (Februari 2018): 344–351.
- istockphoto.com. “Eceng Gondok”. 9 November 2013. <https://www.istockphoto.com/id/search/2/image-film?phrase=eceng+gondok+gondok> [Diakses 13 April 2024]
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2014. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Jakarta.
- Kirk-Othmer. 2007. “*Encyclopedia of Chemical Technology*”. 5th Edition. Volume 19. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- kompas.com (. Setiawan, Sakina R. D). “*Simak, Manfaat Eceng Gondok di Kolam Ikan*”. 12 September 2022. <https://www.kompas.com/home/read/2022/04/25/074400876/simak-manfaat-eceng-gondok-di-kolam-ikan?page=all> [Diakses 11 April 2024]
- Kuswati, Hari, Darmo Handoyo, dan Indrajati Kohar. 2003. Perolehan Kembali Logam Perak dari Limbah Cair Pencucian Film Studio Dibanding Film X-Ray dengan Menggunakan Metode SN Flake. *Jurnal Unitas*, Vol. 11 (2) (Maret 2003): 46–56.
- Lestari, Intan, Shinta Putri Ayu, dan Ngatijo. 2021. Penyerapan Ion Logam Cu(II) Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Secara Fitoremediasi. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, Vol. 6 (01) (April 2021): 46–55.
- liputan6.com. “*10 Manfaat Eceng Gondok Bagi Kehidupan, Bisa Jadi Bahan Biogas*”. 23 September 2022. <https://www.liputan6.com/hot/read/5078230/10-manfaat-eceng-gondok-bagi-kehidupan-bisa-jadi-bahan-biogas?page=4> [Diakses 11 April 2024]
- Nugroho, Pratama Aji. 2021. Efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Sebagai Fitoremediator Logam Krom Heksavalen (Cr⁶⁺) pada Limbah Cair Industri Batik di Yogyakarta. Jakarta: Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Resmianty, Teti. 2012. *Efektifitas Kitosan dan Biofilter Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dan Kijing Taiwan (Anadonta woodiana) Sebagai Adsorben pada Pengolahan Limbah yang Mengandung Logam Hg, Cd, dan Pb*. Bogor: Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Savira, W. dan Fitrihidajati, H. 2024. Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai Agen Fitoremediasi Pencemaran Air oleh Logam Berat Zink (Zn). *Jurnal LenteraBio*, Vol. 13 (1): 191–197.
- Sekarwati, Novita, Bardi Murachman, dan Sunarto. 2015. Dampak Logam Berat Cu (Tembaga) dan Ag (Perak) pada Limbah Cair Industri Perak terhadap Kualitas Air Sumur dan Kesehatan Masyarakat serta Upaya Pengendaliannya di Kota Gede Yogyakarta. *Jurnal EKOSAINS*, Vol. VII (1) (Maret 2015): 64–76.
- Shreve, R. Norris. 1956. “*The Chemical Process Industries*”. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., pp. 480–493.
- Suriawiria, U. 1999. “*Pengantar Mikrobiologi Umum*”. Bandung: Aksara.
- Wahab, Nurhikmah, Ida Irdaliah Amin, dan Dian Prasetya. 2024. Analisis Kadar Au, Ag, Pb, dan Zn dalam Sampel Tanah dengan Metode Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 4 (1) (Februari 2024): 24–32. e-ISSN 2623-2294.
- Zahro, Ni'matul dan Varradiah Choirun Nisa. 2020. Fitoremediasi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) pada Limbah Domestik dan Timbal di Hilir Sungai Bengawan Solo Gresik Sebagai Solusi Ketersediaan Air Bersih Sekarang dan Masa Depan. *Journal of Chemistry And Education (JCAE)*, Vol. 4 (2): 73–83.