



EFEKTIVITAS RUMPUT BEBEK (*Lemna minor*) DALAM PENYISIHAN KADMIUM (Cd) DAN CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) PADA LINDI TPA SAMPAH GAMPONG JAWA KOTA BANDA ACEH

Juliansyah Harahap¹, Irhamni², Nazri Adhlani^{1*}, T. Muhammad Ashari¹

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh, Indonesia, Kode Pos: 23111

² Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh, Indonesia

*Corresponding Email: 180702068@student.ar-raniry.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.22373/ljee.v3i2.2304>

Abstract

Lemna minor plant have the ability to reduce pollutant levels in Landfill leachate. The use of *Lemna minor* in leachate treatment was considered effective in degrading Cd and COD pollutants. The objective of this study was to determine the effectiveness and absorption rate of *Lemna minor* in degrading heavy metal Cd and reducing COD levels in Gampong Jawa Landfill leachate. This study used the phytoremediation method on a laboratory scale, and the leachate sampling method used the grab sampling technique. In testing both parameters, two types of test variations were carried out. First, in Reactor I, it was carried out without using an aerator, and in Reactor II, the test was carried out with the addition of an aerator. For duration, the variations of retention time were used are the third, sixth, ninth, and 12th days. The weight of the *Lemna minor* were used in each reactor was 35 grams for a leachate volume of 5 Liters. The results showed that *Lemna minor* was able to reduce pollutant levels in the Gampong Jawa Landfill leachate with the most optimal proportion of 15.92% for the heavy metal Cd, and 94.68% for the organic pollutant COD. Treatment on the 12th day for tests carried out in reactors that have an aeration system was the most effective variation in reducing the levels of Cd and COD parameters.

Keywords : *Lemna Minor*, Landfill Leachate, Phytoremediation

1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah penduduk akan mengakibatkan berbagai kerusakan lingkungan sehingga ketersediaan sumberdaya lingkungan menjadi terganggu (Karunia dan Ikhwali, 2021). Kemudian diperparah dengan perubahan iklim yang sangat tidak menentu (Ikhwali dkk., 2022; Ikhwali dkk., 2022; Pawattana dkk., 2021). Kota Banda

Aceh terdiri dari 9 Kecamatan dan 90 Gampong dengan jumlah penduduk pada tahun 2021 adalah 255.029 jiwa (BPS Kota Banda Aceh, 2022). Jumlah penduduk yang terus meningkat menyebabkan volume produksi sampah yang semakin besar sehingga menyebabkan lebih rentan terhadap pengelolaan sampah perkotaan yang baik, tuntas, dan aman terhadap lingkungan. Lindi merupakan cairan yang meresap dan melewati sampah serta mengandung unsur-unsur terlarut dan tersuspensi di dalam sampah tersebut (Tchobanoglous dkk., 1993). Dalam kasus TPA sampah, lindi menjadi suatu cairan yang melewati *Landfill* dan bercampur serta tersuspensi dengan zat-zat atau materi yang ada dalam tempat penimbunan (*Landfill*) tersebut. Secara normal, lingkungan dapat menjadi tercemar oleh lindi dikarenakan konsistensi zat pencemar yang terkandung di dalamnya sehingga mampu menyebabkan pencemaran air permukaan dan air tanah, serta gangguan perkembangan pada manusia seperti cacat bawaan (Sridhar *et al.*, 2020).

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang tidak memiliki fungsi fisiologis dan sering dianggap sebagai racun (Genchi dkk., 2020). Logam berat seperti ini berpotensi membahayakan organisme walaupun dalam konsentrasi yang rendah. Dari berbagai penelitian, Cd telah dinyatakan sebagai polutan lingkungan yang berbahaya dan dapat terakumulasi sepanjang rantai makanan di perairan serta berdampak buruk bagi hewan dan kesehatan manusia (Kaoud dan Eldah, 2010). Menurut Kumar dan Sharma (2019), paparan Cd pada level rendah dapat menyebabkan kerusakan pada ginjal, hati, sistem rangka, dan sistem kardiovaskular, serta dapat pula menurunkan penglihatan dan pendengaran. Seiring dengan efek teratogenik dan mutagenik yang kuat terkait dengan Cd, dosis rendah pada unsur kimia ini juga menunjukkan efek samping terhadap reproduksi pria dan wanita serta mempengaruhi kehamilan. Parameter lain dalam penelitian untuk kualitas lindi dalam penelitian ini adalah parameter senyawa organik *Chemical Oxygen Demand* (COD). Keberadaan COD dalam lindi dianggap penting karena nilai COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik yang ada di dalam air secara kimiawi (Lumaela dkk., 2013), yang menjadi salah satu parameter indikator adanya pencemaran pada lingkungan perairan.

Lemna minor memiliki ciri berbunga kecil dan tanpa akar, ukuran tumbuhan ini kurang lebih 2 mm hingga diameter 20 mm dan hidup bebas mengapung di permukaan air (Alahmady dkk., 2013). Tumbuhan dari familia *Lemnaceae* ini dapat berfungsi sebagai fitoremediator karena memiliki kemampuan menyerap senyawa organik dan anorganik yang terdapat dalam limbah (Ilyas dkk., 2014). Tumbuhan ini mampu menurunkan kadar polutan pada lindi. Dari penelitian Nofiyanto dkk., (2019) *Lemna minor* selama 5 hari mampu tumbuh pada lindi dan dapat mengurangi bahan organik serta warna hingga 52%. Penelitian Verma dan Suthar (2015) menyatakan bahwa tanaman *Lemna minor* mampu menurunkan kadar Cd 84,8%, sedangkan menurut penelitian Abadi dkk. (2021), efektivitas penurunan kadar COD pada limbah industri periode hari ke 10 sampai 15 mencapai 76,2%. Dari beberapa penelitian tersebut, maka *Lemna minor* diprediksi dapat efektif untuk mendegradasi dan mereduksi kadar polutan pada lindi di TPA sampah Gampong Jawa, khususnya untuk parameter Cd dan COD.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental sungguhan (*true experimental*) di lapangan dan di laboratorium dengan beberapa tahap kerja. Tahapan kerja yang digunakan pada penelitian ini dimulai dari studi Literature guna mengidentifikasi permasalahan terkait pencemaran dari logam berat dan senyawa organik yang berasal dari lindi TPA sampah, mulai dari sumber hingga sampai level toksisitasnya. Tahapa berikutnya dilakukan uji pendahuluan yang bertujuan untuk menganalisis kandungan Lindi TPA Gampong Jawa dengan bantuan alat AAS (*Atomic Absobtion Spectrophotometer*) yang diuji pada laboratorium Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala, setelah itu dilanjutkan dengan pencarian serta perizinan pengambilan tumbuhan *Lemna minor* sebanyak 2 kg yang berlokasi pada budidaya bebek milik KODAM Iskandar Muda Gampong Mon Ikeun, Kecamatan Lhoknga yang selanjutnya *Lemna minor* tersebut dipelihara dan dipersiapkan untuk pengujian.

Pada tahap pemeliharaan, tanaman *Lemna minor* ditempatkan pada kolam yang berdimensi 1×2 meter serta diberikan nutrisi dan sinar matahari guna untuk

keberlangsungan hidup tanaman tersebut. Tahap selanjutnya adalah proses aklimatisasi, dengan memindahkan *Lemna minor* dari kolam pemeliharaan ke wadah yang berisi air sumur selama 2 hari. Setelah masa aklimatisasi selesai maka *Lemna minor* telah siap digunakan dalam penelitian.

Lindi yang digunakan pada penelitian ini adalah lindi yang berasal dari TPA sampah Gampong Jawa dengan kadar Cd sebanyak 0.147 mg/l. Setelah tahap eksperimen dilakukan, maka dilakukan tahap analisis data dengan melakukan uji regresi linier dan uji korelasi terhadap kandungan logam berat Cd dan senyawa organik COD yang dilakukan melalui variasi perlakuan pada sampel dengan aerasi dan perlakuan pada sampel non-aerasi.

2.1 Prosedur Eksperimen

Eksperimen kemampuan remediasi *Lemna minor* dalam mendegradasi kadar polutan lindi di TPA sampah Gampong Jawa dilakukan dengan prosedur :

1. Penyiapan wadah aklimatisasi berukuran 30 × 30 × 50 cm yang telah berisikan air sumur sebanyak 10 Liter (Kolam Aklimatisasi)
2. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara mengambil *Lemna minor* yang sudah dipelihara menggunakan saringan dan dipindahkan ke dalam kolam aklimatisasi untuk didiamkan selama dua hari.
3. Setelah dua hari, *Lemna minor* diambil menggunakan saringan dan ditimbang sebanyak 35 gram, penimbangan ini diulangi hingga dua kali.
4. Penyiapan dua reaktor yang berukuran masing-masing 28 × 28 × 16 cm, dimana salah satu reaktor sudah dilengkapi dengan sistem aerasi menggunakan *difusser aerator*.
5. Pada masing-masing reaktor diisi lindi sebanyak 5 Liter yang diukur menggunakan gelas ukur.
6. *Lemna minor* yang sudah ditimbang masing-masing seberat 35 gram kemudian dimasukkan ke dalam dua reaktor, dan *difusser aerator* pada salah satu reaktor dinyalakan.

7. Setelah semua perlakuan metode fitoremediasi telah dilakukan, maka dilakukan pengambilan sampel lindi pada variasi waktu hari ke tiga, ke enam, ke sembilan, dan ke-12 menggunakan pipet ukur dari masing-masing reaktor sebanyak 100 mL
8. Seluruh sampel lindi dengan variasi perlakuan dianalisis level parameter Cd dan COD nya di laboratorium, yang dilanjutkan dengan observasi terhadap morfologi dari *Lemna minor* dan perubahan warna dari lindi sesuai dengan masing-masing variasi perlakuan.

2.2 Analisis Data

1. Efektifitas

Tahap analisis data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui persentase penurunan beban pencemar pada air lindi dari masing-masing parameter yang telah diuji pada saat dan sesudah dilakukannya pengolahan dengan menggunakan metode fitoremediasi.

$$X = L_0 - L_s$$

$$E = (X / L_0) \times 100\%$$

Dengan X adalah Konsentrasi yang di remediasi oleh *Lemna minor*, L_0 adalah konsentrasi sebelum diremediasi, L_s adalah konsentrasi setelah dilakukan remediasi menggunakan metode fitoremediasi dan E adalah efisiensi remediasi kontaminan yang telah dipisahkan.

2. Analisis Statistik

Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini menggunakan software untuk melakukan pengolahan data dan menganalisis data yaitu Microsoft Excel. Microsoft Excel berfungsi membantu dalam hal menghitung dan mempresentasikan data dalam bentuk informasi (Pratiwi, 2012). Analisis yang digunakan adalah analisis data regresi linier dan korelasi. Analisis ini merupakan salah satu teknik analisis dalam statistik yang digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel yang bersifat kuantitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum eksperimen kemampuan mendegradasi polutan dari *Lemna minor* dengan metode fitoremediasi terhadap kandungan parameter Cd dan COD di dalam lindi TPA sampah Gampong Jawa dilaksanakan, maka dilakukan uji pendahuluan untuk mengetahui karakteristik dari lindi TPA sampah Gampong Jawa. Hasil uji pendahuluan dari lindi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Pendahuluan Lindi TPA Sampah Gampong Jawa

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Uji
1	COD	mg/L	300	4984,8
2	Kadmium (Cd)	mg/L	0,100	0,147

(Sumber: hasil uji laboratorium, 2022)

Berdasarkan Tabel 1., dapat diketahui bahwa limbah lindi TPA sampah Gampong Jawa belum layak untuk dibuang langsung ke perairan karena level parameter COD dan Cd masih melebihi ambang baku mutu lindi atau belum sesuai dengan standar baku mutu lindi yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi. Dengan demikian, lindi yang ada perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan atau badan air.

3.1 Pengaruh Variasi Masa Tinggal *Lemna minor* dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Konsentrasi Kadmium (Cd) Lindi TPA Gampong Jawa

Hubungan variasi masa tinggal *Lemna minor* dan variasi reaktor dalam penurunan kadar Cd pada lindi TPA sampah Gampong Jawa, dapat dilihat pada Tabel 2.

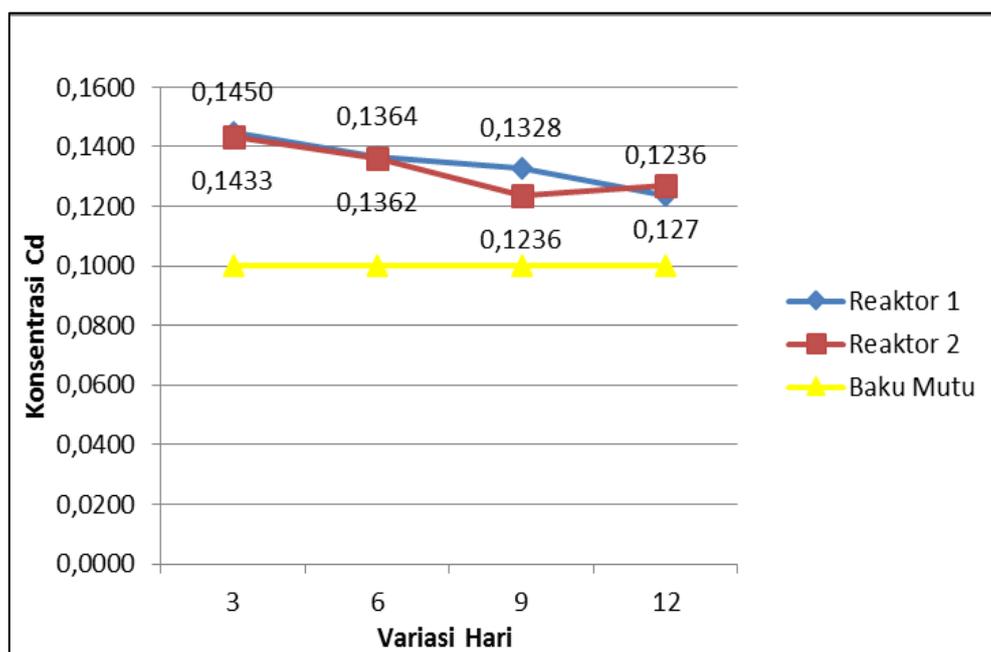
Tabel 2. Pengaruh variasi masa tinggal *Lemna minor* dan variasi reaktor terhadap penurunan nilai Cd pada lindi TPA Sampah Gampong Jawa

No	Parameter	Variasi Reaktor	Variasi masa hidup	Nilai Cd (mg/L)
1	Kadmium (Cd)	Reaktor I	3	0,1450
2		Reaktor II		0,1433
3		Reaktor I	6	0,1364
4		Reaktor II		0,1362
5		Reaktor I	9	0,1238
6		Reaktor II		0,1236

7	Reaktor I		0,1236
8	Reaktor II	12	0,1270

(Sumber: hasil uji laboratorium, 2022)

Berdasarkan hasil analisis awal pada Tabel 1, tingginya kadar Cd awal sebelum dilakukan pengolahan yaitu sebesar 0,147 mg/L. Nilai awal Cd ini, belum memenuhi nilai baku mutu. Pencemaran Cd umumnya berasal dari limbah elektronik, baterai, korosi pipa-pipa air, dan air limpasan dari tanah pertanian yang terdampak dari kandungan fosfat pada pupuk yang mengandung Cd (Fadhila dan Purwati, 2022). Penurunan kadar Cd di dalam lindi oleh *Lemna minor* pada reaktor I maupun reaktor II dari hari ke hari dapat dilihat pada grafik di dalam Gambar 1 dengan penurunan kadar Cd terbaik pada reaktor I menjadi sebesar 0,1236 mg/L dan pada reaktor II turun menjadi sebesar 0,1270 mg/L.



Gambar 1: Grafik Penurunan Parameter Cd Menggunakan *Lemna Minor*
(Sumber : Analisis, 2022)

Gambar 1 menunjukkan bahwa *Lemna minor* mampu menurunkan konsentrasi Cd pada lindi TPA sampah Gampong Jawa setelah dilakukannya proses fitoremediasi, namun level Cd yang di dapatkan belum memenuhi nilai baku mutu yang telah diatur. Berdasarkan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, efektifitas

Lemna minor dalam mereduksi konsentrasi Cd dapat mencapai 84,8% pada limbah buatan Verma, R (2015). Rendahnya efektifitas penurunan konsentrasi Cd pada lindi TPA sampah Gampong Jawa yang terjadi pada penelitian dapat disebabkan oleh banyaknya kandungan logam berat lain yang terkandung pada lindi sehingga kemampuan *Lemna minor* menjadi menurun.

3.2 Pengaruh Variasi Masa Tinggal *Lemna minor* dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Nilai COD pada Lindi TPA Sampah Gampong Jawa

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan parameter yang perlu diperhatikan dalam pengolahan air limbah karena semakin tinggi jumlah nilai COD yang terdapat dalam air limbah maka semakin besar pula senyawa organik yang berada di dalamnya sehingga menyebabkan semakin tinggi kebutuhan akan oksigen di perairan, apabila suatu perairan kekurangan oksigen dapat mengakibatkan kematian pada makhluk hidup perairan. Hubungan variasi masa tinggal *Lemna minor* dan variasi perlakuan pada reaktor dalam menurunkan kadar COD di dalam lindi TPA sampah Gampong Jawa, dapat dilihat pada Tabel 3.

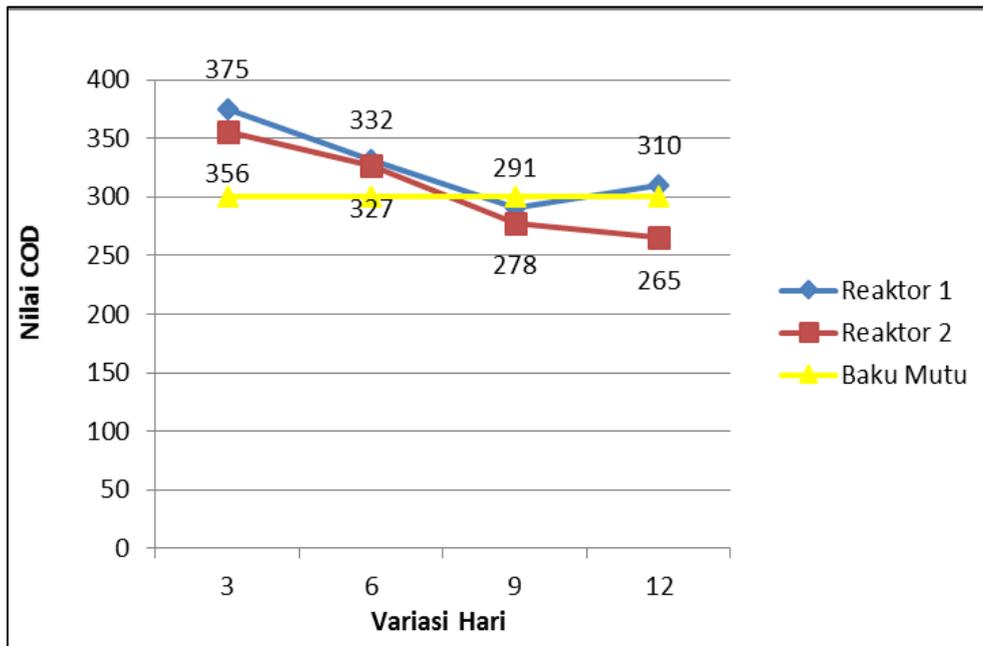
Tabel 3. Pengaruh Variasi Masa Tinggal *Lemna Minor* dan Variasi Reaktor Terhadap Penurunan Nilai *Chemical Oxygen Demand* (Cod) Lindi TPA Sampah Gampong Jawa

No	Parameter	Variasi Reaktor	Variasi masa hidup	Nilai COD (mg/L)
1	COD	Reaktor I	3	375
2		Reaktor II		356
3		Reaktor I	6	332
4		Reaktor II		327
5		Reaktor I	9	291
6		Reaktor II		278
7		Reaktor I	12	310
8		Reaktor II		265

(Sumber: hasil uji laboratorium, 2022)

Berdasarkan hasil uji pendahuluan pada lindi nilai COD awal sebelum dilakukan fitoremediasi adalah sebesar 4984,8 mg/L. Nilai awal COD ini, sangat jauh melebihi nilai baku mutu yang telah diatur. Tingginya kadar nilai COD pada lindi TPA Gampong Jawa berasal dari aktivitas mikroorganisme yang sangat banyak pada lindi sehingga

meningkatkan nilai COD (Sari, 2018). Penurunan nilai COD setelah dilakukan perlakuan menggunakan *Lemna minor* pada reaktor I maupun reaktor II dari hari ke hari secara signifikan terjadi di hari ke-12 pada reaktor I yaitu menjadi sebesar 310 mg/L dan pada reaktor II yaitu menjadi sebesar 265 mg/L.



Gambar 2: Grafik Penurunan Parameter COD Menggunakan *Lemna Minor*
(Sumber : Analisis, 2022)

Dari visualisasi grafik pada Gambar 2, terlihat bahwa tanaman *Lemna minor* mampu menurunkan kadar COD secara signifikan setelah dilakukannya proses fitoremediasi. Kadar polutan COD yang diperoleh setelah fitoremediasi telah memenuhi nilai baku mutu Lindi yang diatur dalam Permen LHK No. 59 Tahun 2016. Penurunan kadar COD terjadi akibat adanya proses kimia yang disebabkan oleh interaksi antara tanaman, substrat dan mikroorganisme. Proses-proses tersebut terjadi karena tanaman berperan penting sebagai media tumbuh mikroorganisme dan juga menyediakan kebutuhan oksigen bagi akar dan daerah perakaran melalui proses fotosintesis. Selain itu tanaman juga menjadi komponen penting dalam proses transformasi nutrisi yang berlangsung secara fisik dan kimia yang membantu proses pengendapan terhadap partikel tersuspensi (Erwin *et al.*, 2017).

Data yang disajikan baik pada grafik maupun tabel dapat dilihat kecenderungan penurunan konsentrasi yang terjadi dari hari ke hari. Pada hari ke-12, reaktor I mulai

menunjukkan kejenuhan *Lemna minor* dalam meremediasi lindi, hal ini disebabkan oleh kandungan bahan organik tinggi yang menyebabkan mikroorganisme mengalami kejenuhan dan kematian sehingga materi organik tidak terurai. Hal tersebut ditunjukkan dengan meningkatkan nilai COD dari lindi.

Pada reaktor I yang hanya mengandalkan *Lemna minor* sendiri dalam meremediasi polutan tanpa adanya bantuan proses lainnya, mengalami penyisihan yang masih berada dibawah reaktor II, dimana pada reaktor II dilengkapi dengan aerator (sistem aerasi) yang berfungsi sebagai penyuplai udara dari luar masuk ke dalam lindi. Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh nilai efektivitas dari masing-masing parameter yaitu Cd dan COD yang disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Persentase Efektivitas Penurunan Kadar Pencemar Sesudah Perlakuan Terhadap Lindi TPA Sampah Gp. Jawa

Varias Hari	Variasi Reaktor	Efektivitas (%) Penurunan Kadar Cd	Efektivitas (%) Penurunan Kadar COD
Hari ke-3	Reaktor I	1,4%	92.48%
	Reaktor II	2,5%	92.86%
Hari ke-6	Reaktor I	7,2%	93.34%
	Reaktor II	7,3%	93.44%
Hari ke-9	Reaktor I	15,8%	94.16%
	Reaktor II	15,9%	94.42%
Hari ke-12	Reaktor I	15,9%	93.78%
	Reaktor II	13,6%	94.68%

(Sumber : Analisis, 2022)

Berdasarkan data dari tabel 4, dapat dilihat penyisihan kadar polutan Cd dan COD paling optimal dalam proses fitoremediasi lindi menggunakan tanaman *Lemna minor* terjadi di hari kesembilan. Tanaman *Lemna minor* mampu menurunkan parameter dengan baik, hal ini menunjukkan bahwa *Lemna minor* dapat menurunkan kadar polutan Cd dan COD sejak mulai hari ketiga hingga hari ke 12. Untuk kondisi fisik pada tanaman *Lemna minor*, pada saat perlakuan terutama sejak hari kelima, memperlihatkan *Lemna minor* mengalami perubahan fisik antara lain berupa kondisi warna daun yang mulai memucat dan layu. Pada hari kesepuluh tanaman *Lemna minor* mulai menurun kemampuannya diakibatkan oleh banyak tanaman yang telah

tenggelam. Hal ini dapat terjadi karena kerusakan pada pigmen tanaman *Lemna minor*. Sejalan dengan Santriyana (2013), yang menyatakan bahwa gejala toksisitas diperlihatkan oleh ukuran daun yang menjadi lebih kecil dan warna daun menjadi kuning, hal ini menunjukkan adanya penghambatan terhadap pembentukan klorofil. Kehadiran konsentrasi pencemar yang tinggi mengambil bagian terhadap terganggunya proses fotosintesis karena terganggunya enzim yang berperan terhadap biosintesis klorofil hingga menyebabkan tanaman *Lemna minor* menjadi mati.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

1. Tanaman *Lemna minor* memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar polutan pada lindi TPA Gampong Jawa dengan persentase paling optimal yaitu untuk parameter Cd sebesar 15,92%, dan parameter COD sebesar 94,68%.
2. Perlakuan pada variasi reaktor yang dilengkapi sistem aerasi dan durasi waktu pada hari ke-12 merupakan variasi yang paling efektif dalam menurunkan kadar polutan untuk parameter Cd dan COD.

4.2 Saran

Saran dan masukan dalam penelitian ini yaitu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitas tanaman *Lemna minor* dengan lebih memperhatikan jenis limbah yang digunakan agar dapat digunakan lebih lama dan kemampuannya tidak menurun serta penambahan pengecekan parameter logam berat pada air lindi seperti pH, BOD, TSS, N total, dan Merkuri (Hg).

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, A. H. S., Najafi, P., Baharlouei, J., dan Mohammadi Ghahsareh, A. (2021). Evaluation of *Lemna minor* and cyanobacteria effect in aerated and non-aerated conditions on biological oxygen demand (BOD), dissolved chemical oxygen (COD), total coliform and faecal coliform of municipal and industrial wastewater. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1933463>
- Andre. (2017). Penggunaan Tepung Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan Kadar Fosfat Dan COD Pada Air Limbah Usaha

- Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(4)
- Badan Pusat Statistik. (2022). Kota Banda Aceh Dalam Angka 2022. BPS Kota Banda Aceh BPS-Statistics of Banda Aceh Municipality
- Erwin, E., Joko, T., dan D, H. L. (2017). Efektifitas Constructed Wetlands Tipe Subsurface Flow System Dengan Menggunakan Tanaman Cyperus Rotundus Untuk Menurunkan Kadar Fosfat dan COD Pada Limbah Cair Laundry. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(1), 444–449.
- Fadhila, D., dan Purwanti, I. F. (2022). Kajian Fikoremediasi pada Air Tanah Tercemar Timbal dan Kadmium di Sekitar TPA Wukirsari, Gunungkidul. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), D34-D40.
- Gaur, R. Z., dan Suthar, S. (2017). Nutrient scaling of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) biomass in urban wastewater and its utility in anaerobic co-digestion. *Process Safety and Environmental Protection*, 107, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.005>
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., dan Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., dan Catalano, A. (2020). The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Ikhwal, M F, Nur, S., Darmansyah, D., Hamdan, A. M., Ersa, N. S., Aida, N., Yusra, A., dan Satria, A. (2022). A review of climate change studies on paddy agriculture in Indonesia. *ICATES 22*, 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1116/1/012052>
- Ikhwal, M Faisi, Rau, M. I., dan Pawattana, C. (2022). *Evaluation of Flood and Drought Events Using AR5 Climate Change Scenarios in Indonesia*. 9(January), 37–46. <https://doi.org/10.22146/icef.4721>
- Karunia, T. U., dan Ikhwal, M. F. (2021). Effects of population and land-use change on water balance in DKI Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012045>
- Kumar, S., dan Sharma, A. (2019). Cadmium toxicity: Effects on Human Reproduction and Fertility. *Reviews on Environmental Health*. <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0016>
- Langkap, Karismawati. (2019). *Pengaruh Kepadatan Lemna Sp. Sebagai Agen Fitoremediasi Dalam Meningkatkan Kualitas Air (DO, TDS, pH dan Kekeruhan)*. Universitas Sanata Dharma. <http://repository.usd.ac.id/id/eprint/33812>

- Lumaela, A. K., Otok, B. W., dan Sutikno. (2013). Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) Sungai di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(1), 100–105.
- Nofiyanto, E., Soeprbowati, T. R., dan Izzati, M. (2019). Fikoremediasi Kualitas Lindi TPA Jatibarang Terhadap Efektifitas *Lemna minor* L dan *Ipomoea aquatica* Forkks. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 107. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.107-112>
- Pawattana, C., Panasontorn, S., dan Pooipiwkham, S. (2021). Assessment of Water Shortage Situations in Lower Nam Pong Basin under Climate Change. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 4(29), 52–61. DOI: <https://doi.org/10.14456/nujst.2021.35>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016. tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah., Jakarta; Departemen Lingkungan Hidup dan Kehutanan
- Santriyana, D. D. (2013). *Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang ditumbuhkan pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak*. Doctoral dissertation. Tanjungpura University.
- Sari, E. A. (2018). *Kandungan Limbah Cair Berdasarkan Parameter Kimia Di Inlet Dan Outlet Rumah Potong Hewan (Studi Di Rumah Pemotongan Hewan Kecamatan Kaliwates Kabupaten Jember)*. Skripsi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Jember
- SNI 6989.59:2008. (2008). Air Dan Air Limbah-Bagian 59: Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Badan Standardisasi Nasional
- Sridhar, M. K. C., Coker, A. O., Shittu, O. I., Laniyan, T. A., dan Achi, C. G. (2020). *Chapter 9 - Phytotechnologies in wastewater treatment: A low-cost option for developing countries* (S. B. T.-S. W. E. Charlesworth (ed.); pp. 137–164). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816120-3.00005-1>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S.A. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue*. McGraw Hill Inc., New York.
- Verma, R., dan Suthar, S. (2015). Lead and cadmium removal from water using duckweed - *Lemna gibba* L.: Impa ct of pH and initial metal load. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1297–1304. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.014>