

PENGURANGAN KADAR N DAN P PADA LIMBAH CAIR LABORATORIUM SECARA FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN ENCENG GONDOK (*Eichornia crassipes*)

Nurmaya Arofah¹, A. Silvan Erusani^{2*}

¹Jurusan Kimia, FST Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta

²Jurusan Matematika, FST Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta

*Corresponding author: sylvanerusani@uinjkt.ac.id

Abstract

Laboratory liquid waste contains both metal, nonmetal, organic and anorganic content. If it is discharged directly to environment, it will cause pollution that is harmful for living thing. Data of waste survey result in 2009-2010 indicated that liquid waste of Laboratory in Chemical Engineering Department, Gadjah Mada University (JTK UGM) consist of various complex compound such as NH_4^+ , PO_4^{3-} . JTK UGM has wastewater treatment plant (WWTP) to deal with environmental pollution coming from waste of each laboratory and have three process, anaerobe activated sludge, aerobe and phytoremediation. Because the laboratory's waste was very complex, the WWTP have not operated maximally yet. So, it is necessary research on WWTP processing step, particularly for phytoremediation process using water hyacinth. Objective of this research was to study effect of concentrations N and P on adaptability and capability of water hyacinth to grow. In addition it developed a mathematical model to estimate of N and P concentration decrease rate in liquid. The research was done in batch by planting water hyacinth that has been acclimated in wastewater containing N- NH_4OH and P- H_3PO_4 . Parameter observed is N and P concentration in liquid. The result indicated that water hyacinth can absorb N and P. Water hyacinth grow well in N- NH_4OH concentration of 9.651 ppm and 15.573 ppm and P- H_3PO_4 concentration of 2.013 ppm and 2.7373 ppm. It was marked with additional weight and colour of water hyacinth leaves of fresh green. Mathematical model presented to estimate N concentration decrease rate indicated good result in experiment. However, P concentration decrease in liquid phase, the presented model is still not good, because P nutrient decomposition process has not been accommodated during absorption by water hyacinth.

Keywords: water hyacinth, N- NH_4OH concentration, P- H_3PO_4 concentration

PENDAHULUAN

Isu pencemaran lingkungan semakin marak dibahas dewasa ini. Salah satu persoalan yang menjadi prioritas adalah pencemaran air akibat air limbah yang dibuang ke perairan. Air limbah dapat berasal dari berbagai sumber, seperti air buangan rumah tangga, perkantoran, industri, rumah sakit, maupun laboratorium. Limbah cair yang tidak dikelola dengan baik akan memberikan dampak lingkungan yang berbeda-beda, sesuai dengan jumlah limbah dan kandungan yang terdapat dalam limbah tersebut.

Laboratorium merupakan salah satu penghasil air limbah dengan kandungan bahan-bahan berbahaya seperti logam, nonlogam, organik dan anorganik. Air limbah ini berasal dari buangan praktikum dan penelitian. Bila langsung dibuang ke lingkungan akan menimbulkan pencemaran dan berbahaya bagi makhluk hidup. Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada (JTK UGM) merupakan salah satu lembaga pendidikan yang memiliki permasalahan dengan adanya limbah cair laboratorium. Berdasarkan data hasil survei limbah pada tahun 2009-

2010, air limbah laboratorium JTK UGM memiliki karakteristik yang sangat kompleks salah satunya adalah NH_4^+ , PO_4^{3-} .

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 82 tahun 2001, kandungan total fosfat sebagai P (P-PO_3^-) untuk air kelas I dan II tidak boleh melebihi 0,2 mg/L, air kelas III batas maksi-mal adalah 1 ppm dan untuk air kelas IV batas maksimalnya adalah 5 mg/L. Untuk kandungan nitrogen sebagai amonia (N-NH_3), batas maksimal untuk air kelas I adalah 0,5 mg/L dan untuk air kelas II, III, dan IV tidak ada batasan. Untuk kandungan nitrogen sebagai nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) batasan maksimal untuk air kelas I dan II adalah 10 mg/L dan kelas III dan IV adalah 20 mg/L.

JTK UGM telah memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sendiri untuk mengatasi penumpukan limbah cair laboratorium tersebut dan terdiri dari 3 tahapan proses, yaitu *anaerob*, *aerob* dan fitoremediasi. IPAL yang telah didirikan di JTK belum dapat beroperasi dengan baik, hal ini dikarenakan limbah laboratorium JTK UGM memiliki karakteristik yang sangat kompleks dan mengandung berbagai senyawa kimia.

Oleh karena pentingnya upaya pengelolaan limbah cair tersebut, maka perlu dilakukan pengaktifan kembali IPAL yang sudah ada. Namun pada penelitian ini hanya dibatasi pada proses fitoremediasi saja yaitu teknik pemulihan lahan tercemar dengan menggunakan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, mentransformasi dan mengimobilisasi bahan pencemar, baik itu logam berat maupun senyawa organik baik secara *ex situ* menggunakan kolam buatan atau reaktor maupun *in situ* pada tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah. Tanaman yang digunakan adalah eceng gondok yang memiliki potensi untuk pembersihan air limbah tanpa mengalami gangguan pertumbuhan selain itu juga eceng gondok mengalami pertumbuhan yang cepat (Xia & Ma, 2005). Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh konsentrasi N dan P yang akan digunakan untuk nutrisi eceng gondok serta mengembangkan model persamaan untuk mengestimasi laju penurunan N dan P.

Kinetika model penyerapan unsur N dan P oleh eceng gondok dimodelkan berdasarkan persamaan neraca massa. Asumsi yang diambil dalam pemodelan matematis ini adalah:

1. Proses seri yang terjadi dalam sistem adalah transfer massa nutrisi N dan P dari cairan dan reaksi N dan P untuk metabolisme di dalam tubuh eceng gondok, proses transfer massa N dan P ke *interface* cair-padat (akar) didekati dengan persamaan transfer massa sebagai berikut:

$$N_N = k_{cN}(C_N - C_{Ni}) \quad (1)$$

$$N_P = k_{cP}(C_P - C_{Pi}) \quad (2)$$

Reaksi N dan P untuk metabolisme di dalam tubuh eceng gondok akan menghasilkan senyawa baru yang akan menyebar ke seluruh bagian tubuh tumbuhan dapat didekati dengan model kinetika reaksi orde 1 terhadap N dan P serta proporsional terhadap berat eceng gondok sebagai berikut (Levenspiel, 1999).

$$-r_N = kr_1 \cdot X_N \cdot M \quad (3)$$

$$-r_P = kr_2 \cdot X_P \cdot M \quad (4)$$

2. Konsentrasi senyawa N dan P di dalam cairan dianggap homogen.
3. Laju penguapan air di cairan akibat penguapan dabaikan.
4. Konsentrasi N dan P di *interface* dianggap selalu setimbang dengan konsentrasi di dalam akar eceng gondok. Hubungan kesetimbangan didekati dengan persamaan mirip hukum Henry yang dinyatakan secara matematis sesuai persamaan berikut:

$$X_N = H_N \cdot C_{Ni} \quad (5)$$

$$X_P = H_P \cdot C_{Pi} \quad (6)$$

Agar Persamaan 1 sesuai satuannya dengan Persamaan 3 maka setiap ruas dikalikan dengan luas permukaan akar eceng gondok (A), sehingga persamaannya untuk senyawa N dan P adalah sebagai berikut:

$$N'_N = -r_N = \left(\frac{C_N}{\left(\frac{1}{kr_1 \cdot H_N \cdot M} + \frac{1}{k_{cN} \cdot A} \right)} \right) \quad (7)$$

$$N'_P = -r_P = \left(\frac{C_P}{\left(\frac{1}{kr_2 \cdot H_P \cdot M} + \frac{1}{k_{cP} \cdot A} \right)} \right) \quad (8)$$

Dari persamaan (7) dan (8) maka diperoleh persamaan laju penurunan konsentrasi N dan

laju penurunan konsentrasi P di fasa cair sebagai berikut:

$$\frac{dC_N}{dt} = - \left(\frac{C_N}{\left(\frac{1}{kr_2 \cdot H_N \cdot \frac{M}{V}} + \frac{1}{k_c N \cdot \frac{A}{V}} \right)} \right) \quad (9)$$

$$\frac{dC_P}{dt} = - \left(\frac{C_P}{\left(\frac{1}{kr_2 \cdot H_P \cdot \frac{M}{V}} + \frac{1}{k_c P \cdot \frac{A}{V}} \right)} \right) \quad (10)$$

MATERIAL DAN METODE

Bahan yang digunakan adalah air yang mengandung unsur N yang terbuat dari NH_4OH teknis 21% dan air yang mengandung unsur P yang terbuat dari senyawa H_3PO_4 teknis 85%. Enceng gondok dengan berat basah total antara 300-400 gram, memiliki spesifikasi jumlah daun antara 8-15 lembar, dan ketinggian antara 20-30 cm. Alat yang digunakan adalah bak penampung sampel yang terbuat dari plastik berukuran 55 liter, timbangan digital, alat analisis UV-1601 UV-Visible Spectrophotometer Shimadzu, pipet ukur 50 mL, botol sampel plastik.

Aklimatisasi dan Uji Pendahuluan

Aklimatisasi dilakukan selama 1 minggu dengan mencuci tanaman enceng gondok hingga bersih dari lumpur dan kandungan senyawa lain (Widyaningsih, 2007), kemudian menumbuhkan tanaman pada air bersih di dalam kolam. Pada uji pendahuluan penyerapan N dan P, enceng gondok ditanam dalam air limbah yang mengandung unsur N dan P dengan berbagai variasi konsentrasi.

Enceng gondok yang sudah diaklimatisasi, ditanam dalam wadah plastik berukuran 55 L, dengan variasi konsentrasi N- NH_4OH dan P- H_3PO_4 adalah 9,6 mg/L dan 2 mg/L, 15,5 mg/L dan 2,5 mg/L, serta 26 mg/L dan 4 mg/L. Pengambilan sampel pada jam 08.00 WIB, konsentrasi N- NH_4OH dianalisis pada hari ke-1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, dan 15 menggunakan metode titrasi, konsentrasi P- H_3PO_4 dianalisis pada hari ke-2, 4, 6, dan 11 dengan UV/Vis Spectrophotometer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis N- NH_4OH dan P- H_3PO_4 tersisa dalam limbah cair simulasi tiap waktu pada berbagai variasi konsentrasi awal tercantum pada Tabel 1 dan Tabel 2. Data menunjukkan penurunan konsentrasi N- NH_4OH dalam limbah cair simulasi yang cukup signifikan terhadap waktu. Penurunan konsentrasi menunjukkan bahwa enceng gondok sangat membutuhkan unsur nitrogen untuk tumbuh dan merupakan unsur makro-nutrien yang dibutuhkan enceng gondok salah satunya untuk melakukan proses fotosintesis.

Seperti yang dijelaskan oleh Kurniadie (2011), bahwa nitrogen sangat dibutuhkan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, menyehatkan pertumbuhan daun, daun tanaman lebar dengan warna yang lebih hijau, dan meningkatkan kadar protein dalam tubuh tanaman. Dari hasil pengamatan yang dilakukan bahwa pada variasi konsentrasi awal limbah N- NH_4OH sebesar 9,651 mg/L dan 15,573 mg/L, enceng gondok dapat tumbuh subur dari hari pertama pengamatan sampai hari terakhir pengamatan yaitu hari ke lima belas, hal ini ditandai dengan bertambahnya berat basah enceng gondok, daunnya yang berwarna hijau segar dan jumlah tunas enceng gondok yang bertambah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa enceng gondok sangat cepat menyerap nitrogen, hal ini mungkin disebabkan oleh limbah N yang digunakan adalah NH_4OH . Hal ini sesuai dengan yang dijelaskan oleh Saeed (2012), bahwa pada umumnya tanaman lebih banyak menyerap $\text{NH}_4\text{-N}$ dibanding N-NO_3 sebagai sumber nitrogen, sehingga pada penelitian ini tanaman bisa langsung menyerap $\text{NH}_4\text{-N}$ tanpa harus merubahnya ke dalam bentuk N yang lain terlebih dahulu kemudian digunakan untuk proses metabolisme dan sebagian terakumulasi pada bagian tubuh tumbuhan. Akan tetapi untuk konsentrasi N- NH_4OH sebesar 26,101 mg/L akan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan enceng gondok. Hal ini ditandai dengan warna daun yang kuning kecokelatan dan juga daun-daun yang rontok dan busuk, seperti penelitian yang dilakukan oleh Shamir *et al.*, (2001), bahwa tanaman dapat mengakumulasi

60% N total dan setelah jenuh tanaman tersebut membusuk hal itu disebabkan karena konsentrasi nitrogen dalam air limbah meningkat. Hasil yang sama ditunjukkan pula oleh Petrucio & Esteves (2000) bahwa enceng gondok dapat merespon positif terhadap penambahan nitrogen hingga 5,5 mg/L dan ketika konsentrasi limbah lebih tinggi maka enceng gondok tidak menunjukkan peningkatan pertumbuhan.

Pada Tabel 2 dapat dilihat terjadi penurunan konsentrasi P-H₃PO₄ tiap waktu. Penurunan konsentrasi ini disebabkan penyerapan oleh enceng gondok, namun pada konsentrasi awal P-H₃PO₄ sebesar 2,737 mg/L dan 4,389 mg/L menunjukkan hasil analisis konsentrasi P-H₃PO₄ setiap waktu yang cenderung fluktuatif. Hal ini mungkin terkait dengan konsentrasi N-NH₄OH yang cukup besar yaitu 15,573 mg/L dan 26,101 mg/L, yang menyebabkan banyak bagian tubuh enceng gondok yang menjadi layu, daun berubah warna menjadi kuning kecokelatan dan rontok. Akibatnya pelepasan fosfat akibat dekomposisi tanaman juga menjadi besar Reddy & D'angelo (1997). Mereka menekankan juga bahwa konsentrasi fosfor lebih dari 1,06 mg/L akan menghambat pertumbuhan enceng gondok. Cary & Weerts (1983) dalam penelitiannya menyatakan bahwa tumbuhan *Salvinia auriculata* tidak

menunjukkan peningkatan berat ketika konsentrasi fosfor dalam air lebih tinggi dari 2 mg/L.

Gambar 1 menunjukkan kecenderungan yang sama antara nilai data dengan simulasi model laju penurunan konsentrasi N terhadap waktu. Data simulasi sudah mendekati data pengamatan, sehingga model matematis yang diajukan sudah cukup baik. Hasil perhitungan simulasi dengan menggunakan MATLAB diperoleh nilai parameter kr_1' dan kc_{NA} sebesar 1,489 L/jam dan 15,066 m³/jam. Nilai kr_1' merupakan parameter kinetika yaitu konstanta kecepatan reaksi metabolisme dalam tumbuhan enceng gondok untuk senyawa N yang dikalikan dengan tetapan kesetimbangan pada *interface*. Nilai kc_{NA} merupakan perkalian antara koefisien transfer massa dari fasa cair ke fasa padat untuk N dengan luas area akar enceng gondok.

Gambar 2 menampilkan hasil pendekatan yang kurang begitu baik terhadap model laju penurunan P yang diajukan. Hal ini dapat disebabkan oleh belum diakomodasinya proses dekomposisi nutrisi P yang terjadi selama penyerapan oleh enceng gondok. Hasil perhitungan simulasi menggunakan MATLAB diperoleh nilai parameter kr_2' dan kc_{PA} masing-masing sebesar 0,047 L/jam.mg enceng gondok dan 4,441 m³/jam.

Tabel 1. Hasil analisis N-NH₄OH tiap waktu pada berbagai variasi konsentrasi awal

Waktu (hari)	C _{N1} (mg/L)	C _{N2} (mg/L)	C _{N3} (mg/L)
0	9,651	15,573	26,101
1	6,361	11,624	21,495
2	4,387	8,993	17,547
3	2,413	7,457	15,573
4	0,658	5,045	12,721
5	0	3,071	10,967
6	0	0	9,651
8	0	0	4,167
11	0	0	0
15	0	0	0

Catatan: C_{N1} = Konsentrasi awal N-NH₄OH 9,651 mg/L

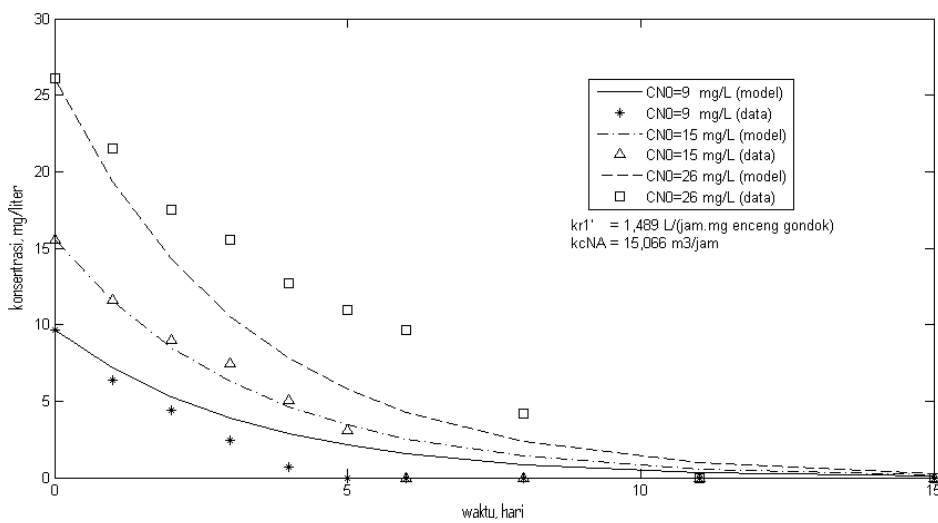
C_{N2} = Konsentrasi awal N-NH₄OH 15,573 mg/L

C_{N3} = Konsentrasi awal N-NH₄OH 26,101 mg/L

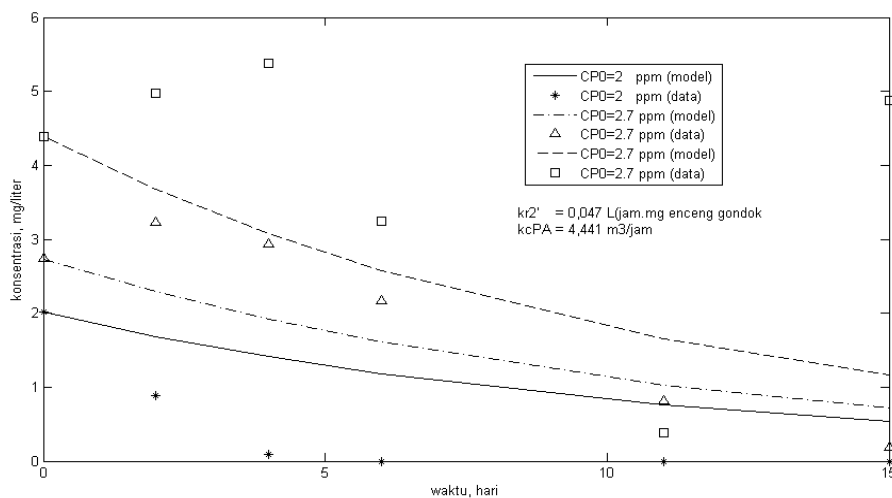
Tabel 2. Hasil analisis P-H₃PO₄ tiap waktu pada berbagai variasi konsentrasi mula-mula

Waktu (hari)	C _{P1} (mg/L)	C _{P2} (mg/L)	C _{P3} (mg/L)
0	2,013	2,737	4,389
2	0,885	3,225	4,973
4	0,097	2,943	5,376
6	0	2,163	3,25
11	0	0,819	0,385
15	0	0,181	4,883

Catatan: C_{P1} = Konsentrasi awal H₃PO₄ 2,013 mg/L
 C_{P2} = Konsentrasi awal H₃PO₄ 2,737 mg/L
 C_{P3} = Konsentrasi awal H₃PO₄ 4,389 mg/L



Gambar 1. Profil pengaruh konsentrasi N-NH₄OH dalam limbah cair terhadap waktu pada berbagai variasi konsentrasi N-NH₄OH



Gambar 2. Profil konsentrasi P-H₃PO₄ dalam limbah cair simulasi terhadap waktu pada berbagai variasi konsentrasi P-H₃PO₄

KESIMPULAN

Berdasarkan data yang berhasil didapatkan maka penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi konsentrasi N-NH₄OH, dan P-H₃PO₄ maka tingkat pertumbuhannya semakin menurun.
2. Model matematis yang diajukan untuk mengestimasi laju penurunan konsentrasi N menunjukkan hasil pendekatan yang cukup baik terhadap hasil eksperimen. Namun untuk penurunan konsentrasi P di fasa cairan, model yang diajukan masih belum cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Cary & Weerts. (1983). Growth of *Salvinia molesta* as Affected by Water Temperature and Nutrition. I. Effect of Nitrogen Level and Nitrogen Compounds. *Aquat Bot.* 16. 163-172.
- Kurniadie, D. (2011). Teknologi Pengolahan Limbah Cair secara Biologis. Bandung: Penerbit Widya Padjajaran.
- Levenspiel, O. (1999). Chemical Reaction Engineering 3rd. New York: John Wiley and Sons.
- Pemerintah Republik Indonesia. (1999). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta.
- Petrucio, M. & Esteves, F. A. (2000). Uptake Rates of Nitrogen and Phosphorus in the Water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. *Rev Brasil Biol.* 60(2). 229-236.
- Reddy & D'Anggelo. (1997). Biogeochemical Indicators to Evaluate Pollutant Removal Efficiency in Constructed Wetlands. *Wat. Sci. Tech.* Vol 35 No. 5. 1-10 pp
- Saeed, T. & Guangzhi. S. (2012). A Review on Nitrogen and Organics Removal Mechanisms in Subsurface Low Constructed Wetlands: Dependency on environmental Parameters, Operating Conditions and Supporting Media. *J of Environmental Management.* 112. 429-448.
- Shamir, E., Thompson, T. L., Karpiscak, M. M., Freitas R. J., & Zauderer, J. (2001). Nitrogen Accumulation in a Constructed Wetland for Dairy Wastewater Treatment. *J of the American Water Resources Association* 37(2). 315-325.
- Widyaningsih, T. S. (2007). Penyerapan Logam Cr Total dan Cu²⁺ dengan Enceng Gondok pada Sistem Air Mengalir. Tesis. Yogyakarta: MTPPL Teknik Kimia UGM.
- Xia, H. & Ma, X. (2005). Phytoremediation of Ethion by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from Water. *J of Phytoremediation.* 6. 137-148.