

KINETIKA PENYISIHAN FOSFAT DARI AIR LIMBAH LAUNDRY MENGUNAKAN SISTEM *CONSTRUCTED WETLAND* DENGAN *EQUISETUM HYMALE*

Wulanda Anggi Munuqy^{1*}, Prayatni Soewondo¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat,
Indonesia

*e-mail: anggimunuqy16@gmail.com

diterima: 21 September 2024; direvisi: 18 Oktober 2024; disetujui: 24 Oktober 2024

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah usaha laundry menyebabkan meningkatnya jumlah air limbah yang dihasilkan. Limbah laundry yang dihasilkan mengandung fosfat yang jika dibuang tanpa pengolahan dapat menyebabkan eutrofikasi pada badan air. Tujuan penelitian ini adalah menurunkan kadar fosfat yang terdapat dalam air limbah laundry di kawasan Dipatiukur, Bandung dengan menggunakan sistem *constructed wetland* menggunakan tanaman *Equisetum hymale*. Penurunan kadar fosfat menggunakan tanaman *Equisetum hymale* dengan variasi waktu tinggal 1, 2, 3, 4, dan 5 hari dengan sistem batch. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar fosfat pada limbah sebelum pengolahan sebesar 7,155 mg/L. Nilai tersebut lebih besar dari baku mutu yang ditetapkan pemerintah sebesar 0,2 mg/L. Uji pengolahan dengan *constructed wetland* menunjukkan bahwa tanaman *Equisetum hymale* mampu menyisihkan fosfat secara signifikan. Kadar fosfat terendah setelah proses pengolahan mencapai 0,227 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 96,75% waktu kontak selama 5 hari. Laju penyisihan fosfat oleh tanaman dapat berkurang seiring dengan waktu kontak limbah dengan tanaman. Mekanisme yang terjadi ialah proses adsorpsi oleh tanaman *Equisetum hymale* dengan mengacu pada model kinetika orde pertama dengan menunjukkan nilai koefisien regresi (R^2) 0,9014.

Kata Kunci: fosfat, fitoremediasi, *Equisetum hymale*, lahan basah buatan.

KINETICS OF PHOSPHORUS REMOVAL FROM LAUNDRY WASTEWATER USING CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM WITH *EQUISETUM HYMALE*

ABSTRACT

The increasing number of laundry businesses leads to an increasing amount of wastewater produced. The resulting laundry waste contains phosphates that if disposed of without treatment can provide eutrophication in the body of water. This study aims to lower phosphate levels found in laundry wastewater in the Dipatihukur area, Bandung using a constructed wetland system using the *Equisetum hymale* plant. Lowering phosphate levels using *Equisetum hymale* plants with variations of stay time of 1, 2, 3, 4, and 5 days with batch system. The results obtained showed that phosphate levels in waste before treatment of 10,846 mg/L. The value is greater than the standard of quality set by the government of 0.2 mg/L. Test Processing with Constructed Wetland shows that the plant *Equisetum hymale* can set aside phosphate significantly. The lowest phosphate rate after processing reached 0.227 mg/L with 96.75% contact time for 5 days. Phosphate preliminary rate by plants can be reduced with time of contact with the plant. The mechanism is the process of adsorption by the plant *Equisetum hymale* by referring to the first-order kinetic model by showing the value of regression coefficient (R^2) 0.9014.

Keywords: constructed wetland, *Equisetum hymale*, phosphate, phytoremediation.

PENDAHULUAN

Perkembangan perindustrian saat ini kian pesat terutama pada industri skala

rumah tangga seperti industri laundry. Industri laundry merupakan industri yang menawarkan jasa mencuci pakaian dengan

efisien. Air sisa proses kegiatan laundry mengandung kadar amonium (NH_3), fosfat (PO_4), dan deterjen yang tinggi (Ratnawati & Talarima, 2017). Setiap industri laundry menggunakan detergent dan air dalam pengoperasiannya. Air limbah yang dihasilkan oleh industri laundry mengandung senyawa fosfat sebagai *builders* pada detergent yang dapat berbentuk *natrium tripolifosfat* dan *natrium pirofosfat* (Agbazue et al., 2015) jika dibuang langsung ke badan air dapat meningkatkan kesuburan. Perairan yang terlalu banyak menerima senyawa fosfat akan menyebabkan terjadi bloomig alga yang akan mengganggu ekosistem perairan (Wimbaningrum et al., 2020).

Berdasarkan hasil pengujian air limbah laundry di salah satu industri laundry daerah Dipatiukur, Bandung diperoleh kandungan fosfat dalam air limbah laundry mencapai 10.846 mg/L dimana kandungan fosfat pada air limbah yang diperbolehkan sebesar 0,2 mg/L. Baku mutu ini ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Air limbah yang dihasilkan oleh pemilik usaha laundry langsung dibuang ke badan air tanpa proses pengolahan, sehingga badan air di area Dipatiukur telah mengalami eutrofikasi.

Dengan demikian air limbah laundry harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Fitoremediasi sistem *Constructed wetland* atau sistem rawa buatan merupakan salah satu alternatif teknologi yang sederhana, biaya operasional relatif murah untuk mengolah air limbah laundry (Ratnawati & Talarima, 2017). Fitoremediasi adalah pemanfaatan tumbuhan, mikroorganisme untuk mendetoksifikasi polutan karena tanaman memiliki kemampuan sebagai fitoakumulator (Nurfita et al., 2017). Tanaman bambu air (*Equisetum hymale*) dipilih sebagai tanaman fitoakumulator yang akan membantu penyerapan senyawa fosfat pada air limbah laundry. Tanaman bambu air memiliki batang mengandung silikat tinggi yang berguna sebagai pengikat partikel yang

diserap oleh akar tanaman. Selain itu tanaman bambu air juga memiliki kinerja yang baik dalam menyerap berbagai tingkat konsentrasi bahan pencemar termasuk zat organik dan senyawa beracun (Riyanto, 2023). Fosfat adalah jenis polutan dalam sistem perairan yang juga merupakan nutrisi bagi tanaman, sehingga potensi penggunaan fitoremediasi dalam penghilangan senyawa fosfat pada air limbah sangat besar (Chapman & Boucher, 2020). Sehingga metode *constructed wetland* menggunakan tanaman *Equisetum hymale* dapat menjadi teknologi yang dapat mengolah air limbah laundry.

BAHAN DAN METODE

Tahap Aklimatisasi

Tanaman *Equisetum hymale* yang digunakan pada penelitian ini ialah tanaman yang berasal dari bahasa latin *Equs* dan *Saeta* yang berarti paku ekor kuda. Tanaman ini termasuk spesies genus yang dapat tumbuh dilingkungan basah seperti kolam dangkal, daerah sungai maupun rawa (Campbell et al., 2008).

Tahap aklimatisasi tumbuhan bertujuan agar tumbuhan *Equisetum hymale* dapat beradaptasi pada lingkungan baru serta dapat meningkatkan kemampuan fitoremediatif tanaman yang mengarah pada efisiensi penyisihan yang tinggi dalam mengurangi konsentrasi fosfat. Tahapan ini dilakukan selama 5 hari dengan konsentrasi air limbah laundry 100%. Selama proses aklimatisasi berlangsung mengontrol pertumbuhan tanaman dan pH air limbah. Air limbah laundry mungkin mengandung berbagai zat kimia yang dapat mempengaruhi pH. Mengontrol pH dapat membantu mengurangi stres pada tanaman selama fase ini, karena perubahan yang mendadak dalam pH dapat menyebabkan shock pada tanaman dan penurunan pertumbuhan (Oktavia et al., 2020). Hasil kontrol pada proses aklimatisasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Proses Aklimatisasi Tanaman

<i>Equisetum hymale</i>		
Hari	pH	Panjang tanaman (cm)
1	9.53	6
2	8.89	6
3	8.30	6
4	8.04	6.2
5	7.94	6.3

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan tabel 1 diketahui tanaman mengalami pertumbuhan seiring lamanya proses aklimatisasi dan nilai pH yang sebelumnya bersifat basa menjadi netral akibat penyerapan polutan yang terjadi pada akar tanaman. Selama proses aklimatisasi sistem akar berkembang sepenuhnya dan meningkatkan penyerapan nutrisi secara keseluruhan pada air limbah (Zajączkowska et al., 2017). Hasil pada tabel 1 menunjukkan bahwa tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungan yang baru serta dapat menerima kandungan air limbah yang digunakan.

Baku Mutu Air Limbah Laundry

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Sabun, Deterjen dan Produk-produk Minyak Nabati, baku mutu air limbah laundry dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Baku Mutu Air Limbah Laundry

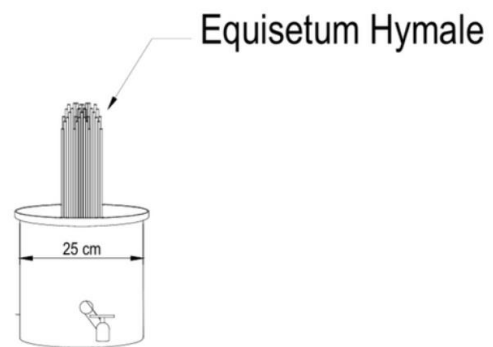
Parameter	Baku Mutu
BOD ₅	0,075
COD	0,180
TSS	0,06
Minyak dan Lemak	0,015
Fosfat	0,2
Surfaktan	0,2
pH	6,0-9

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014

Uji Kinetika Penyisihan Fosfat

Pada tahap ini disiapkan kolam rawa menggunakan 5 reaktor seperti pada gambar

1 kapasitas 8 L, kerikil untuk menopang tanaman dan tanaman *Equisetum hymale* dengan panjang 50 cm yang telah melalui proses aklimatisasi. Proses pengolahan dilakukan dengan sistem batch dengan waktu kontak 1, 2, 3, 4, dan 5 hari untuk masing-masing unit *constructed wetland*. Pengujian senyawa fosfat pada air limbah dilakukan setiap hari guna mengetahui berapa lama waktu yang dapat digunakan untuk menyerap senyawa fosfat pada tanaman *Equisetum hymale*. Pengujian senyawa fosfat pada sampel dilakukan dengan menggunakan metode sesuai SNI 06-6989.31-2005.



Gambar 1. Reaktor Constructed Wetland

Perhitungan persentase penyisihan dan persamaan model polutan orde satu digunakan untuk mencari model kinetika pada *constructed wetland* dengan *Equisetum hymale* yang dinyatakan dalam persamaan 1 dan 2 (Wahyudianto et al., 2019).

$$Removal (\%) = \frac{Inletconcentration - Outletconcentration}{Inletconcentration} \times 100\% \tag{1}$$

$$\frac{S_i - S_e}{HRT} = K_1 S_e \tag{2}$$

Pada persamaan 2 S_i adalah konsentrasi influent (mg/L), S_e adalah konsentrasi effluent (mg/L), HRT adalah waktu tinggal (hari), dan K₁ adalah koefisien kinetik orde pertama.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Uji Karakteristik Air Limbah Laundry

Air limbah laundry yang digunakan ialah air limbah yang berasal dari satu usaha laundry di daerah Dipatiukur, Bandung. Uji karakteristik air limbah laundry ini digunakan untuk mengetahui konsentrasi fosfat dan pH apakah sudah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 104 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Tabel 3. Karakteristik Air Limbah Laundry

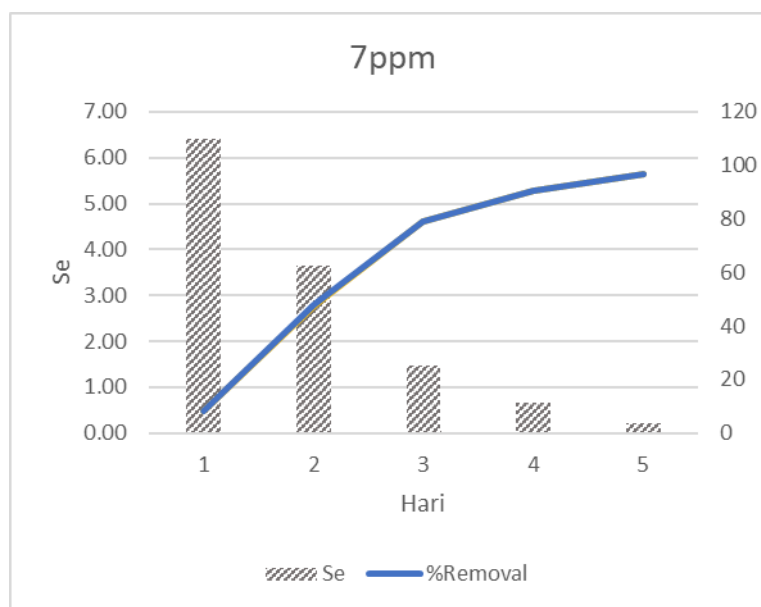
No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Baku Mutu
1	Fosfat	mg/L	7.155	0.2
2	pH	-	10.8	6-9

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik yang dilakukan diketahui kadar fosfat dan pH pada air limbah laundry tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

Analisis Kinetika Penyisihan Fosfat pada *Equisetum hyemale*

Persentase penyisihan fosfat telah dihitung menggunakan persamaan 1 dengan membandingkan nilai konsentrasi awal dan konsentrasi akhir pada masing-masing reaktor. Hasil analisa penyisihan ditunjukkan pada gambar 2. Nilai konsentrasi awal fosfat (Si) pada air limbah laundry sebesar 7.155 mg/L.



Gambar 2. Penyisihan fosfat (PO₄-P) pada *constructed Wetland* dengan *Equisetum hymale*

Hasil penelitian pengolahan air limbah laundry menggunakan teknologi fitoremediasi sistem *constructed wetland* dengan *Equisetum hymale* pada gambar 2 menunjukkan penyisihan terbesar terjadi pada hari ke-5 dimana tanaman *Equisetum hymale* dapat menyerap senyawa fosfat (PO₄-P) menjadi 0.434 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 96.75%. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian yang

dilakukan Violenta dkk., (2022) dimana efisiensi penyisihan hingga 83.28%.

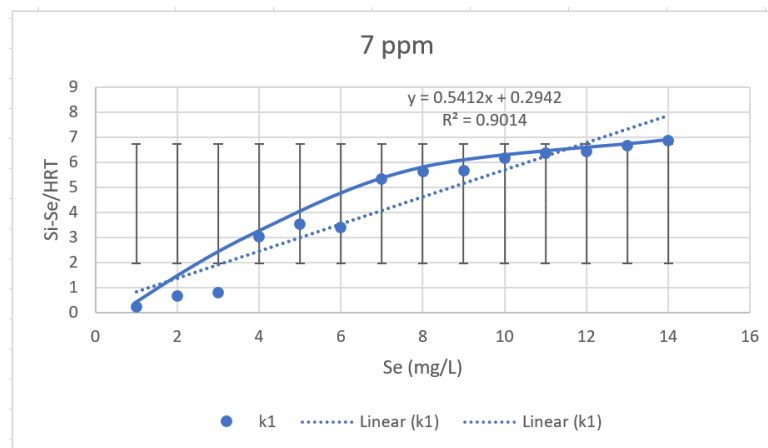
Equisetum hyemale mampu menyerap senyawa fosfat pada air limbah laundry melalui proses fitoakumulasi dari akarnya. Proses ini memungkinkan tanaman mengakumulasi nutrisi, termasuk fosfat, yang diperlukan untuk pertumbuhannya. Tanaman *Equisetum hymale* dapat berkontribusi secara signifikan dalam menurunkan konsentrasi fosfat dalam limbah

air laundry (Sitia & Juswardi, 2022). Pada lahan basah yang dibangun, tanah yang secara alami mengandung mineral dan logam dapat memfiksasi ortofosfat, menyebabkan pengendapan fosfat di lapisan tanah. Selain itu, mikroorganisme di lahan basah, termasuk yang ada di rizosfer *Equisetum hymale*, dapat mengubah fosfat yang tidak larut menjadi fosfat yang dapat larut, sehingga memudahkan penyisihannya (Violenta et al., 2022). Tanaman seperti *Equisetum hymale* berkontribusi pada proses ini dengan melepaskan eksudat akar yang dapat mengubah pH tanah dan meningkatkan aktivitas mikroba, yang selanjutnya meningkatkan kelarutan fosfor dan

ketersediaan untuk diserap (Wahyudianto et al., 2019).

Model Kinetika

Pada studi kinetika ini, model yang digunakan adalah model kinetika orde satu yang dijelaskan pada persamaan 2. Model ini digunakan untuk mengetahui kecenderungan proses yang terjadi pada *constructed wetland* dengan *Equisetum hymale* dalam mereduksi kandungan fosfat dari air limbah laundry (Wahyudianto et al., 2019). Hasil model yang didapatkan dari percobaan batch pada *constructed wetland* dengan *Equisetum hymale* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Model kinetika orde pertama

Pada gambar 3 menunjukkan penyisihan fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) dimana korelasi antara konsentrasi limbah (Se) dengan reduksi konsentrasi (Si-Se) untuk setiap variasi waktu (HRT). Berdasarkan hasil yang diperoleh diketahui regresi linier $y = 0.5412x + 0.2942$ dengan koefisien regresi (R^2) adalah 0.9014 dimana proses penyisihan fosfat yang terjadi pada *constructed wetland* dengan *Equisetum hymale* terjadi secara kimiawi. Pada model kinetika orde pertama menunjukkan laju penghilangan fosfat oleh tanaman dapat berkurang seiring dengan menurunnya konsentrasi fosfat dalam media. Kinetika orde pertama dapat diterapkan juga dalam penyisihan ion logam (Kurniawan et al., 2016).

KESIMPULAN

Fitoremediasi dengan sistem *constructed wetland* menggunakan *Equisetum hymale* dapat mereduksi senyawa fosfat pada air limbah laundry dengan efisiensi penyisihan sebesar 96.75% dengan waktu kontak selama 5 hari. Mekanisme yang dilakukan ialah proses adsorpsi dan sedimentasi pada tanaman *Equisetum hymale* dan diakulasikan dengan mengacu pada model kinetika orde satu ($R^2 > 0.9014$).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih sebanyak-banyaknya kepada pengelola TPST yang berada pada naungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bandung atas kerjasamanya

dalam proses penelitian serta penyediaan data untuk menunjang penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Agbazue, V., Ekere, N. R., Shaibua, Y. (2015). Assessment of the levels of phosphate in detergent samples. *International Journal of Chemical Sciences*. 13(2): 771–785. www.sadgurupublications.com
- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Jackson, R. B. (2008). *Biologi* (W. Hardani & P. Adhika, Eds.; 8th ed., Vol. 2). Erlangga. <http://www.erlangga.co.id>
- Chapman, K., Boucher, J. (2020). Phosphorus phytoremediation using selected wetland plants in constructed floating mats. *Applied Water Science*. 10(6). <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01215-1>
- Nurfita, A. E., Kurniati, E., Haji, A. T. S. (2017). Efisiensi Removal Fosfat (PO4³⁻) Pada Pengolahan Limbah Cair Laundry dengan Fitoremediasi Kiambang (*Salvinia natans*). *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*. 4(3). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21776/ub.jsal.2017.004.03.3>
- Oktavia, F., Stevanus, C. T., Dessailly, F. (2020). Optimasi Kondisi Suhu Dan Kelembaban Serta Pengaruh Media Tanam Terhadap Keberhasilan Aklimatisasi Tanaman Karet Asal Embriogenesis Somatik. *Jurnal Penelitian Karet*. <https://doi.org/10.22302/Ppk.Jpk.V38i1.677>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014. (2014). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup*. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Sabun, Deterjen dan Produk-produk Minyak Nabati. www.pelatihanlingkungan.com
- Ratnawati, R., & Talarima, A. (2017). Subsurface (SSF) Constructed Wetland Untuk Pengolahan Air Limbah Laundry. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*. 15(2): 1–6. <https://doi.org/10.36456/waktu.v15i2.711>
- Riyanto, A. (2023). Fitoremediasi Kayu Apu, Eceng Gondok, dan Bambu Air untuk Menurunkan Kadar BOD Air Limbah Pabrik Tahu. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*. 12(02): 162–170. <https://doi.org/10.33221/jikm.v12i02.2360>
- Sitia, M., Juswardi. (2022). Potensi Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum hyemale* L.) Dalam Mereduksi Logam Berat Kromium Limbah Cair Kain Jumputan Dengan Sistem Lahan Basah Buatan. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek VII*. 346–353.
- Violenta, N., Sutanto, H. B., Prihatmo, G. (2022). Laundry Wastewater Treatment by Hybrid System of Biofilter and Vertical Surface Flow Constructed Wetland with *Equisetum hyemale*. *SCISCITATIO: Journal for Biological Science*. 3(1): 1-8.
- Wahyudianto, F. E., Oktavriti, N. I., Hariyanto, S. (2019). Kinetics of phosphorus removal from laundry wastewater in constructed wetlands with *Equisetum hymale*. *Journal of Ecological Engineering*. 20(6). 60–65. <https://doi.org/10.12911/22998993/108919>
- Wimbaningrum, R., Arianti, I., Sulistiyowati, H. (2020). Efektivitas Tanaman Lembang (*Typha angustifolia* L.) di Lahan Basah Buatan dalam Penurunan Kadar TSS, BOD dan Fosfat pada Air Limbah Industri Laundry. *BERKALA SAINSTEK*. 8(1): 25. <https://doi.org/10.19184/bst.v8i1.16499>
- Winny Kurniawan, T., Darmawan Panjaitan, S., Sitorus, B., Hadari Nawawi, J. H. (2016). Pemodelan Kinetika Dan Isotherm Adsorpsi Ion Logam Merkuri Menggunakan Karbon Aktif Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Kinetics And Adsorption Isotherm Modelling Of Mercury Ion Using Activated

Carbon From Palm Empty Fruit Bunches. *Orbital*. 1(2): 59–79. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jp>

Zajaczkowska, U., Kucharski, S., Nowak, Z., Grabowska, K. (2017). Morphometric and mechanical characteristics of Equisetum hyemale stem enhance its vibration. *Planta*. 245(4): 835–848. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2648-1>