

Bioremediasi Fosfat Limbah Detergen dan Model Kinetika Reaksi SPIROFILTER Berbasis *Spirogyra porticalis* (O.F. Mueller) Cleve

Phosphate Bioremediation of Detergent Waste and Kinetic Model of SPIROFILTER Based on *Spirogyra porticalis* (O.F. Mueller) Cleve

Oryza Enwiera Rain¹, Benn Gerson Juan Moreno Sinambela¹, Dwi Umi Siswanti^{2,*}

¹SMAS Taruna Nusantara, Jl.Raya Purworejo Km5, Magelang, Jateng 56172, Indonesia

²Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55182, Indonesia.

*Corresponding Author: dwiumi@ugm.ac.id

Abstrak: Air limbah telah menjadi sumber masalah pada lingkungan yang disebabkan oleh kandungan zat kimia yang membahayakan lingkungan, salah satunya limbah detergen. Detergen adalah bahan pembersih yang mengandung surfaktan, senyawa fosfat, dan zat aditif lainnya. Upaya menangani limbah detergen ini telah dilakukan secara komunal atau skala besar dalam reaktor yang disebut IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Hingga saat ini belum ditemukan prototipe IPAL skala rumah tangga yang efektif mengembalikan kualitas air limbah menjadi air baku mutu yang dapat dimanfaatkan kembali. Prototipe IPAL yang diberi nama SPIROFILTER ini menggabungkan proses filtrasi oleh zeolit, arang aktif dan kapas sekaligus bioremediasi oleh *Spirogyra porticalis*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran *S. porticalis*, sebagai bioremediator limbah, menganalisis kualitas air limbah, menganalisis pertumbuhan *S. porticalis* dan menentukan model kinetika reaksi (PFO atau PSO) dalam penyerapan fosfat air limbah yang telah disaring dengan SPIROFILTER. Rancangan penelitian berupa Rancangan Acak Lengkap dengan tiga kali pengulangan. Parameter yang diukur adalah parameter pertumbuhan *S. porticalis*, kandungan klorofil dan kualitas air sebelum penyaringan (kontrol), air setelah hari ke-3, dan air setelah hari ke-5. Parameter kualitas air berupa suhu, pH, salinitas, fosfat total, amonia total, BOD, COD, dan jumlah koloni mikroba. Penelitian ini menggunakan UV-vis spektrofotometer untuk uji kandungan fosfat dan amonia total. SPIROFILTER berupa akuarium dengan ukuran 40x60x20 cm³ yang ditambahkan 132 mL detergen dalam 22 liter air. Hasil penelitian membuktikan bahwa *S. porticalis* berperan sebagai bioakumulator limbah detergen. Kualitas air hasil penyaringan SPIROFILTER telah memenuhi baku mutu air, pertumbuhan *S. porticalis* tetap optimum dalam kondisi lingkungan limbah detergen, model kinetika reaksi pengikatan unsur fosfor dari limbah detergen menggunakan model *Pseudo Second Order* dalam SPIROFILTER.

Kata Kunci : Baku mutu air, Kinetika reaksi, Limbah deterjen, SPIROFILTER, *Spirogyra porticalis*.

Abstract: Wastewater has become a source of environmental problems caused by the content of chemicals harmful to the environment, one of which is detergent waste. Detergent is a cleaning agent that contains surfactants, phosphate compounds, and other additives. Efforts to handle this detergent waste have been carried out communally or on a large scale in a reactor called IPAL (Wastewater Treatment Plant). Until now, there has been no effective household-scale IPAL prototype that restores the quality of wastewater to raw water that can be reused. The IPAL prototype named SPIROFILTER combines the filtration process by zeolite, activated charcoal, and cotton as well as bioremediation by *Spirogyra porticalis*. This study aims to determine the role of *S. porticalis*, as a waste bioremediator, analyze wastewater quality, analyze the growth of *S. porticalis* and determine the reaction kinetics model (PFO or PSO) in the absorption of phosphate from air waste that has been filtered with SPIROFILTER. The research design was a Completely Randomized Design with three repetitions. The parameters measured were the growth parameters of *S. porticalis*, chlorophyll content and air quality before filtration (control), air after day 3, and water after day 5. Air quality parameters were temperature, pH, salinity, total phosphate, total ammonia, BOD, COD, and the number of microbial colonies. This study used a UV-vis spectrophotometer to test the total phosphate and ammonia content. SPIROFILTER was an aquarium measuring 40x60x20 cm³ to which 132 mL of detergent was

added in 22 liters of air. The study's results proved that *S. porticalis* acted as a bioaccumulator of detergent waste. The air quality from SPIROFILTER filtration had met air quality standards, the growth of *S. porticalis* remained optimal in detergent waste environmental conditions, and the kinetic model of the phosphorus binding reaction from detergent waste used the Pseudo Second Order model in SPIROFILTER.

Keywords: Detergent waste, Reaction kinetics, SPIROFILTER, *Spirogyra porticalis*, Water quality standards

Dikumpulkan: 24 Maret 2025

Direvisi: 16 April 2025

Diterima: 26 April 2025

Dipublikasi: 30 April 2025

Pendahuluan

Air limbah rumah tangga atau *grey water* (GW) adalah air yang berasal dari kegiatan rumah tangga seperti dapur, mandi, cucian, dan sisa air pel namun tidak termasuk yang berasal dari WC (*water closet*) (Nazir, 2016). Air limbah rumah tangga dibedakan menjadi dua jenis, yaitu limbah organik dan limbah anorganik. Limbah yang sering ditemukan pada air limbah rumah tangga adalah air cucian atau deterjen. Kandungan yang dimiliki oleh deterjen umumnya dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *Surface Active Agent* (surfaktan), *builders* (senyawa fosfat), dan pewangi atau bahan aditif lainnya.

Limbah *builder agent* jenis fosfat memiliki dampak yang buruk terhadap lingkungan, dimana senyawa fosfat yang berlebihan dalam air akan mengakibatkan penyuburan unsur hara perairan (eutrofikasi) (Selvina *et al.*, 2021). Eutrofikasi akan menyebabkan fenomena lingkungan yang disebut *algae blooming*, yaitu terjadi ledakan populasi fitoplankton pada perairan yang menyebabkan perubahan kualitas warna, bau, dan rasa pada air menurun. *Algae blooming* menyebabkan kadar oksigen terlarut pada air menurun dan menurunkan konsentrasi cahaya matahari pada permukaan air (Setiawati

Spirogyra porticalis merupakan alga yang hidup di perairan air tawar yang berbentuk filamen. *Spirogyra* mudah ditemukan pada ekosistem air tawar (sungai, danau) yang memiliki kadar nutrisi terlarut tinggi pada air. *S. porticalis* mampu menyerap 2% nitrogen dan 8,5 mg/L fosfat pada limbah cair dengan kadar 100% (Baihaqi *et al.*, 2017. Di sisi lain, Zeolite adalah bahan an organik yang mampu mengikat logam berat hingga 98% (Prasetya *et al.*, 2020) begitu

juga arang aktif yang mempunyai kemampuan menetralkan racun (Hutami, 2006). Komponen *S. porticalis*, zeolit, arang aktif dan kapas dimasukkan dalam bioreaktor berbahan kaca bertingkat disebut dengan SPIROFILTER.

Proses pengikatan bahan toksik pada limbah detergen oleh *S. porticalis* dan komponen lain dalam SPIROFILTER belum dikaji oleh peneliti lain. Model kinetika reaksi digunakan untuk mengolah data dalam penanganan limbah cair dengan adsorpsi untuk menentukan variabel yang terlibat (Ho & McKey, 1999). Shukla *et al.* (2020) menyelidiki mekanisme remediasi merkuri oleh sel nano silika bio-hibrida mengikuti model *Pseudo second order*, artinya merkuri terikat dengan adsorben (dalam hal ini sel nano silika bio-hibrida) secara absorpsi (masuk ke dalam jaringan tidak hanya menempel di permukaan) (Revellame *et al.*, 2020). Ghayedi *et al.* (2019) meneliti kemampuan *Chlorella vulgaris* dalam meremediasi arsenik dan menemukan bahwa arsenik terikat dengan organisme ini dengan model *Pseudo second order*. Proses kinetika biosorpsi yang terjadi pada adsorben dan adsorbat dapat dibuktikan dengan model kinetika *Pseudo-First-Order* (PFO) dan *Pseudo-Second-Order* (PSO). Model *Pseudo-First-Order* (PFO) membuktikan bahwa konsentrasi adsorbat lebih banyak dari jumlah sisi aktif pada permukaan adsorben sedangkan model *Pseudo-Second-Order* (PSO) menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi adsorbat proporsional terhadap jumlah sisi aktif pada adsorben (Ho & McKey, 1999; Widodo *et al.*, 2020; Robiah *et al.*, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pertumbuhan *S. porticalis*, menganalisis kualitas air limbah detergen dengan bioremediasi *S. porticalis* dan menentukan

model kinetika reaksi fosfat oleh SPIROFILTER.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan

Data diperoleh dari pengukuran parameter diantaranya: kandungan fosfat total, amonia total, kandungan klorofil *S. porticalis*, jumlah koloni mikroba dihitung dengan metode hitung cawan, BOD (*Biochemical Oxygen Demand* diukur dengan metode Winkler dan COD (*Chemical Oxygen Demand* diukur dengan metode spektrofotometri), pH air, salinitas, dan suhu.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pH meter, termometer, *lux meter*, pengukur salinitas digital, UV-vis spektrofotometer untuk menguji kandungan fosfat dan amonia total, SPAD meter (*Soil Plant Analysis Development*) untuk mengukur klorofil secara cepat. Alat replika Instalasi Pengolahan Air Limbah yang terdiri dari Akuarium yang telah dimodifikasi menjadi prototipe IPAL dengan dengan komponen zeolit, arang aktif, kapas dan *S. porticalis*.

Bahan yang digunakan adalah limbah deterjen. Limbah deterjen berupa air deterjen dengan komposisi 22% Natrium Alkilbenzena Sulfonate, 10% Natrium Fosfat, 30% Sodium karbonat (Sumber : Kemasan deterjen). Bahan yang diperlukan untuk remediasi berupa zeolit, arang aktif, kapas dan mikroalga dari spesies *S. porticalis*. Zeolit mengandung Al_2O_3 ; SiO_2 ; K_2O dan CaO (Putri, dan Side, 2020). Karbon aktif adalah suatu bahan yang mengandung unsur karbon 85-95% dan merupakan padatan berpori. Karbon aktif ini merupakan hasil pemanasan bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi tetapi tidak teroksidasi (Dewi *et al.*, 2020).

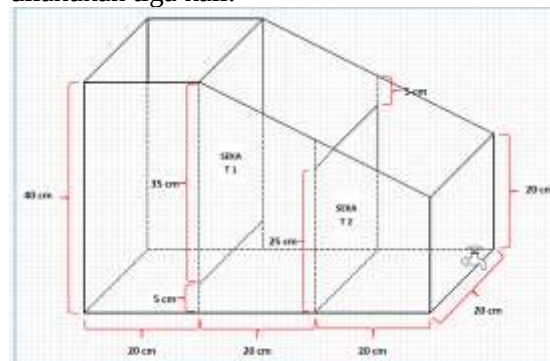
Desain Penelitian

Kultur *S. porticalis* diperoleh dari kolam ikan di Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. *S. porticalis* ditumbuhkan dalam bioreaktor bernama SPIROFILTER yang berisi *S. porticalis*, zeolit, arang aktif dan kapas. Air yang dimasukkan ke dalam bioreaktor sebanyak 22 liter dengan *S. porticalis* seberat 300 gram. Alga dibagi dalam enam lapisan di dalam SPIROFILTER, masing-masing layer berisi 50 gr *S. porticalis*. Prototipe Instalasi

Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang disebut dengan SPIROFILTER menggunakan akuarium yang dibuat sedemikian rupa agar menyerupai model rancangan dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Model yang digunakan dalam prototipe ini diambil dari Instalasi Pengolahan Air Limbah yang umumnya digunakan dalam pengolahan air limbah rumah tangga pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal. Perbedaan dari prototype IPAL yang digunakan dengan model IPAL komunal terletak pada filtrasi limbah yang menggunakan *S. porticalis* sebagai organisme bioremediator. Pencahayaannya dari sinar matahari tanpa halangan atau naungan.

Proses yang kami gunakan dalam pengolahan limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) SPIROFILTER dengan *Aerobic Baffled Reactor* (ABR) dan *Filter Anaerobic*. Penggunaan metode ini didasari oleh faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan *S. porticalis* pada reaktor Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). *S. porticalis* membutuhkan oksigen untuk tumbuh pada lingkungan dengan sirkulasi yang baik. Keunggulan dengan menggunakan metode *Aerobic Baffled Reactor* (ABR) diantaranya desain yang sederhana, biaya konstruksi relatif rendah, dan lumpur yang dihasilkan rendah (Trilitai *et al.*, 2015; Wahyudi, 2022). Air dialirkan dari inlet diproses pertama kali kemudian masuk ke ruang proses dan keluar dari outlet setelah melewati arang aktif dan kapas.

Bahan limbah yang digunakan berupa larutan deterjen cair dengan dosis sesuai takaran kemasan, yaitu 60 ml deterjen dalam setiap 10 liter air. SPIROFILTER menggunakan air sebanyak 22 liter, oleh karena itu dibutuhkan deterjen cair sebanyak 132 ml. Pengambilan data dilakukan tiga kali.



Gambar 1. Model Instalasi Pengolahan Air Limbah.



Gambar.2. Alat Instalasi Pengolahan Air Limbah.

Keterangan:

Kiri: *inlet* dan proses pertama

Tengah: proses ke-dua

Kanan: proses ke-tiga dan *outlet*

Pengolahan dan Analisis data

Data yang diperoleh berupa intensitas cahaya, suhu air, pH air, salinitas, amonia total, fosfat total, BOD, COD, jumlah koloni mikroba dan klorofil *S. porticalis*. Data parameter lingkungan (suhu, pH dan salinitas) dianalisis menggunakan SPSS IBM Statistics 20 dan disajikan dalam grafik Excel. Data amonia total, fosfat total, jumlah koloni mikroba dalam air dan klorofil dianalisis menggunakan regresi linier dan disajikan dalam grafik oleh Excel. Data P total dibandingkan dengan waktu diolah dengan permodelan *Pseudo First Order* dan *Pseudo Second Order* untuk memprediksi mekanisme penyerapan atau absorpsi P oleh *S. porticalis* dan komponen dalam SPIROFILTER.

Rumus penghitungan PFO dan PSO =

Model kinetika reaksi *Pseudo-First-Order* (PFO) dihitung menggunakan rumus

$$\ln\left[\frac{q_0}{(q_e - q_t)}\right] = \ln\left[\frac{q_0}{(q_e - k_1 t)}\right]$$

Model kinetika reaksi *Pseudo-Second-Order* (PSO) dihitung menggunakan rumus

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{(k_2 q_e^2)} + \frac{1}{q_e} t$$

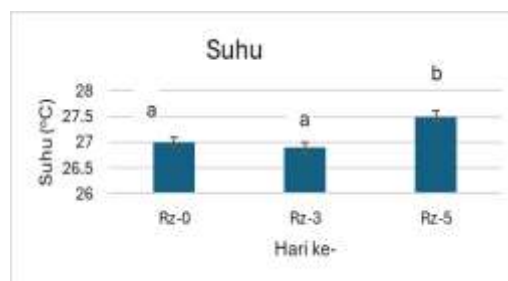
q_e kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan atau ekuilibrium (mg/g); q_t adalah kapasitas

adsorpsi pada waktu t (mg/g); k_1 adalah konstanta laju *Pseudo-First-Order* (PFO); dan k_2 adalah konstanta laju *Pseudo-Second-Order* (PSO) (Alkadir *et al.*, 2021).

Hasil dan Pembahasan

Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan diambil pada hari ke-0 hingga hari ke-5 dan dilakukan pada pukul 07.00 pagi. Intensitas cahaya rata-rata 1.230 lux. Intensitas ini optimum untuk pertumbuhan *S. porticalis* maupun mikrobia dalam badan air. Parameter lingkungan lain berupa salinitas, suhu, dan pH. Salinitas terukur antara 476-609 dan suhu 27-27,5°C sedangkan pH antara 6-7,8.



Gambar 3. Suhu air dalam SPIROFILTER.

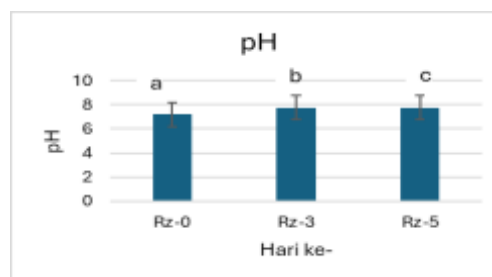
Keterangan :

Keterangan:

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER

Rz-3 : Air hasil penyaringan setelah hari ke-3 di dalam SPIROFILTER

Rz-5: Air hasil penyaringan setelah hari ke-5 di dalam SPIROFILTER



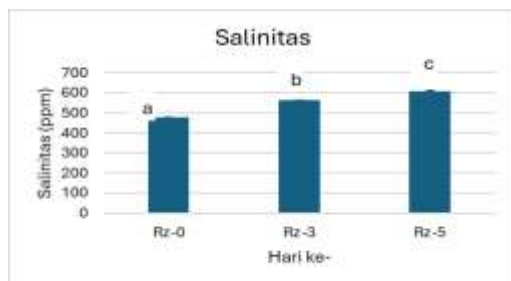
Gambar 4. Kadar Keasaman (pH) air dalam SPIROFILTER.

Keterangan:

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER

Rz-3 : Air hasil penyaringan setelah hari ke-3 di dalam SPIROFILTER

Rz-5: Air hasil penyaringan setelah hari ke-5 di dalam SPIROFILTER



Gambar 5. Kadar salinitas air dalam SPIROFILTER.

Keterangan:

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER

Rz-3 : Air hasil penyaringan setelah hari ke-3 di dalam SPIROFILTER

Rz-5: Air hasil penyaringan setelah hari ke-5 di dalam SPIROFILTER

Suhu berperan dalam mempengaruhi pertumbuhan dan juga produksi tanaman karena berkaitan dengan proses fotosintesis, transpirasi, dan juga respirasi (Hatfield & Prueger, 2015). *Spirogyra* sp. dapat tumbuh dengan optimal pada kisaran suhu 25-35 °C (Setiyanto *et al.*, 2016). Dari hasil penelitian yang dilakukan, perbandingan suhu pada air sebelum difilter dan setelah difilter relatif stabil (Gambar 3). Jangkauan suhu berkisar 26,9°C - 27,5°C dalam waktu 5 hari. Hari ke - 0 sampai hari ke - 3 mengalami penurunan suhu yang tidak signifikan, yaitu perbedaan sebesar 0,1°C. Ini disebabkan oleh tertutupnya permukaan air sehingga tidak dapat menangkap sinar cahaya matahari secara langsung. Selanjutnya, pada hari ke - 3 hingga hari ke - 5 terjadi kenaikan suhu yang signifikan, yaitu 0,6°C. Hal ini terjadi karena proses produksi tanaman seperti fotosintesis.

Air hasil penyaringan menunjukkan kenaikan pH yang signifikan (berbeda nyata) seiring dengan waktu penyaringan (Gambar 4). Air ber-pH sekitar 7-8 menunjukkan air yang layak konsumsi. Terjadinya kenaikan tingkat pH dalam hari ke-0, 3 dan, 5 disebabkan oleh kandungan mineral alkali yang terkandung pada pasir zeolit. Tingkat pH pada hari ke-0, 3 dan 5 terhitung pada angka ambang pH normal pada air yaitu ada di range pH 6-8.

Salinitas yang terukur pada hari ke-0, ke-3 dan ke-5 menunjukkan kenaikan signifikan yang disebabkan oleh reaksi bertemunya asam dan basa, sehingga menjadi garam. Salinitas air hasil pengukuran pada hari ke-0, 3 dan 5 menunjukkan kenaikan salinitas yang signifikan namun masih di rentang aman. Kenaikan dari hasil salinitas disebabkan oleh ion dan mineral yang terdapat pada pasir zeolit pada filter air SPIROFILTER.

Salinitas juga dapat mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, dan juga aktivitas metabolisme suatu tanaman (Tootoonchi & Gettys, 2019). Kadar optimal salinitas yang sesuai untuk tanaman air tawar adalah di bawah 1000 ppm. Maka salinitas pada SPIROFILTER ini masih dapat mendukung pertumbuhan *S. porticalis*.

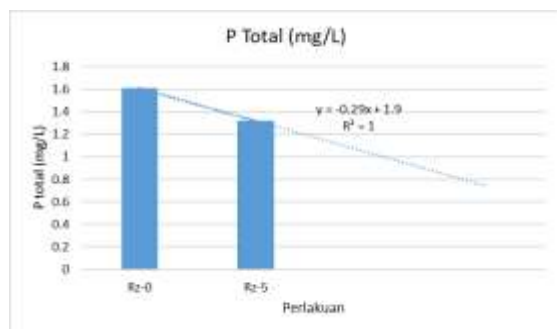
Menurut Iwata *et al.* (2001), salinitas ini yang akan menentukan osmosis sel. Pada salinitas yang lebih tinggi, sel akan mengalami adaptasi dengan cara isi sel berkumpul di bagian tengah hingga membentuk bulat. Hal ini dilakukan untuk menyelamatkan sel dari bentuk cekaman dengan mengurangi biomassa sel sehingga sel lebih efisien dalam melakukan metabolismenya.

Kadar Fosfat Total pada Air Limbah Detergen

Kandungan P total (Gambar 6.) menunjukkan adanya penurunan yang signifikan pada hari ke-0 dan hari ke-5. Terjadinya penurunan kadar fosfat pada air disebabkan oleh biomassa *S. porticalis*. *S. porticalis* sebagai agen fikoremediasi yang dapat menyerap zat fosfat yang terlarut pada air. Hal ini membuktikan bahwa *S. porticalis* dapat menjadi fikoremediator yang sangat baik dalam menyerap fosfat dalam limbah deterjen rumah tangga. Bukti dari keefektifan *S. porticalis* dalam menyerap kandungan fosfat pada limbah deterjen juga menunjukkan bahwa Instalasi Pengolahan Air Limbah SPIROFILTER dapat diterapkan sebagai Instalasi yang berpotensi mengatasi permasalahan limbah deterjen hasil kegiatan rumah tangga.

Kandungan P dalam media dikendalikan oleh siklus redoks Fe yang dimediasi mikroba (Ding *et al.*, 2018) oleh karena itu penurunan kandungan P pada Gambar 6. seiring dengan hasil pengukuran jumlah koloni mikroba pada

Gambar 7. yang mengalami penurunan seiring dengan waktu penyaringan SPIROFILTER. Sanusi (2006) menyebutkan bahwa sumber utama fosfat adalah pelapukan batuan selain itu buangan limbah organik seperti deterjen serta hasil degradasi bahan organik. Hasil penelitian Effendi (2003) menyebutkan bahwa kandungan fosfat yang disertai dengan keberadaan nitrogen (amonia total) dapat meningkatkan pertumbuhan alga sehingga penggunaan *S. porticalis* dalam SPIROFILTER ini tepat. Phospat dan nitrat juga ditemukan dalam limbah industri, termasuk limbah detergen. Nitrogen dan fosfat merupakan nutrisi bagi organisme autotrof yang meningkatkan pertumbuhan organisme termasuk alga (*Enviromental Protection Agency*).



Gambar 6. Fosfat total pada air limbah detergen sebelum dan sesudah hari ke-5 perlakuan.

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER
Rz-5: Air hasil penyaringan setelah hari ke-5 di dalam SPIROFILTER

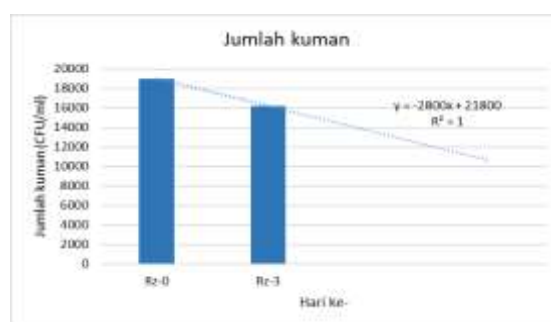
Jumlah Koloni Mikroba pada Air Limbah Detergen

Jumlah koloni mikroba pada Gambar 7. menunjukkan terjadinya penurunan dalam total jumlah koloni mikroba pada air limbah deterjen yang terdapat pada IPAL SPIROFILTER. Kontrol pada Hari ke-0 menunjukkan jumlah koloni mikroba pada angka 19.000 CFU/mL.

Perlakuan pada hari ke-3 menunjukkan jumlah mikroba berada pada angka 16.200 CFU/mL. Penurunan jumlah mikroba pada hari ke-3 membuktikan bahwa *S. porticalis* dalam IPAL SPIROFILTER mampu mengurangi jumlah koloni mikrobial total pada air limbah deterjen hasil kegiatan rumah tangga.

Jumlah koloni mikroba sebelum penyaringan dan setelah penyaringan menunjukkan penurunan yang signifikan (Gambar 7). Penurunan jumlah koloni mikroba ini selaras dengan penurunan kandungan amonia

total (Gambar 8.) dan kandungan P total (Gambar 6.). Hal ini dapat terjadi karena mikroba mengurai bahan organik berbau N dan P menjadi unsur yang tidak bersifat toksik. Mikroba penambat N diantaranya *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp. dan *Rhizobium* sp. Sedangkan mikrobial pelarut fosfat antara lain *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Aspergillus* sp. (Hendra & Andoko, 2014; Kartikawati *et al.*, 2017). Penelitian ini juga menunjukkan bahwa kenaikan salinitas tidak mempengaruhi jumlah mikroba tetapi dapat menghambat penyerapan nutrisi penting, selaras dengan penelitian Rangkuti *et al.* (2023).



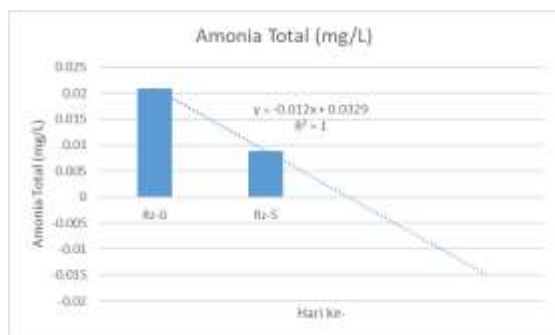
Gambar 7. Jumlah koloni mikroba pada air limbah detergen sebelum dan sesudah hari ke-5 perlakuan.

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER

Rz-3 : Air hasil penyaringan setelah hari ke-3 di dalam SPIROFILTER

Kandungan Amonia Total pada Air Limbah Detergen

Kandungan amonia total pada air limbah deterjen sebelum penyaringan (kontrol/Rz-0) menunjukkan pada angka 0,0209 mg/L. Pada hari ke-5, kandungan amonia total pada air limbah menunjukkan pada hasil 0,0089 mg/L. Data dari kandungan amonia total pada air limbah deterjen pada IPAL SPIROFILTER menunjukkan penurunan yang signifikan. Amonia (NH_3) merupakan nitrogen anorganik yang larut dalam air. Senyawa ini berasal dari nitrogen yang menjadi NH_4 (amonium) pada pH rendah (Connel & Miller, 1995).



Gambar 8. Kandungan Amonia Total pada air limbah sebelum dan sesudah hari ke-5 perlakuan.
Keterangan:

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER

Rz-5: Air hasil penyaringan setelah hari ke-5 di dalam SPIROFILTER

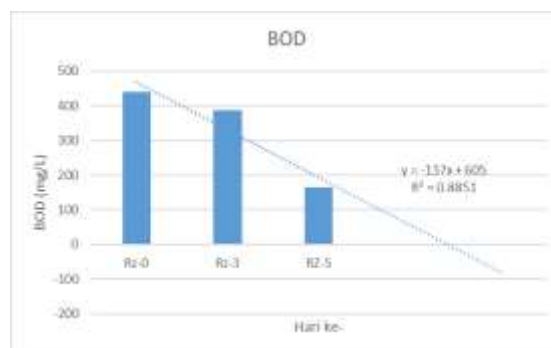
Konsentrasi amonia yang tinggi di suatu perairan dapat menyebabkan penurunan oksigen terlarut yang dapat menimbulkan menurunkan kondisi fisiologis serta respirasi organisme (Zhang *et al.*, 2012). Kandungan amonia yang tinggi akan mempengaruhi perubahan ukuran kloroplas yang semakin kecil berupa disorganisasi tilakoid yang menghambat proses fotosintesis (Kivimaenpaa *et al.*, 2004)

Keasaman (pH) air dan salinitas yang rendah akan meningkatkan racun nitrit, sehingga berpengaruh terhadap kandungan amonia (Pasongli *et al.*, 2015). Kenaikan pH dan salinitas pada Gambar 4. dan Gambar 5. menunjukkan kenaikan signifikan di penyaringan ke-5 (R5), artinya ada penurunan amonia total dalam air hasil penyaringan dengan SPIROFILTER. Penurunan kandungan amonia total ini menunjukkan adanya penggunaan unsur N oleh *S. porticalis* untuk proses pertumbuhan dan perkembangannya. Hal ini juga dibuktikan dengan peningkatan kandungan klorofil *S. porticalis* di Gambar 11. Waktu pemanfaatan *S. porticalis* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai penurunan konsentrasi amonia dalam SPIROFILTER.

Biological Oxygen Demand (BOD)

Tingkat BOD pada kontrol menunjukkan di angka 439,5 mg/L (Gambar 9). Tingkat BOD pada hari ke-3 menunjukkan di angka 388 mg/L, Tingkat BOD pada hari ke-5 menunjukkan di angka 165,5 mg/L. Tingkat BOD pada Gambar 4.5.1 menunjukkan penurunan jumlah BOD yang

dibutuhkan pada air limbah deterjen yang terdapat pada Instalasi Pengolahan Air Limbah SPIROFILTER. Hari ke-0 (kontrol) dan hari ke-3 terjadi penurunan tingkat BOD dengan nilai 51,5 mg/L. Tingkat penurunan BOD hari ke-3 dan ke-5 menunjukkan penurunan terbesar yaitu 222,5 mg/L dalam 2 hari.



Gambar 9. BOD air limbah deterjen pada hari ke-0, 3 dan 5 perlakuan.

Keterangan:

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER

Rz-3 : Air hasil penyaringan setelah hari ke-3 di dalam SPIROFILTER

Rz-5: Air hasil penyaringan setelah hari ke-5 di dalam SPIROFILTER

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah bahan organik di perairan. Prinsip pengukuran berupa jumlah molekul oksigen yang digunakan oleh bakteri untuk mengoksidasi kandungan bahan organik di dalam air. BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri aerobik untuk menguraikan atau merombak senyawa kompleks menjadi sederhana. Semakin tinggi BOD menunjukkan semakin tinggi jumlah penurunan oksigen terlarut pada suatu sistem.

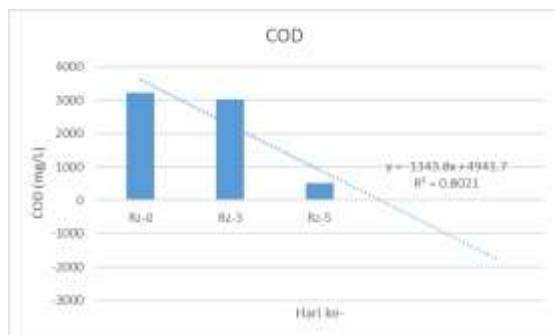
Data dari penurunan tingkat BOD pada IPAL SPIROFILTER dapat membuktikan bahwa *S. porticalis* mampu menurunkan kadar BOD pada air limbah deterjen secara signifikan. Kemampuan menurunkan kadar BOD pada air limbah. BOD baku mutu air bersih berada pada rentang 2-12 mg/L ((Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2001). Pada penelitian ini BOD belum mencapai angka 12 sebagai angka terendah baku mutu air (layak konsumsi), namun mengalami progres penurunan seiring waktu. Menurut hasil analisis regresi *linear forecast*

menunjukkan penurunan sejalan dengan bertambahnya hari perlakuan (Gambar 9).

Chemical Oxygen Demand (COD)

Pada Hari ke-0 (kontrol), tingkat COD dalam air terhitung pada angka 3212,5 mg/L. Hasil dari uji pada hari ke-3 menunjukkan kadar COD 3025 mg/L. Tingkat COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada air limbah deterjen menunjukkan penurunan yang signifikan pada hari ke-3 dan ke-5. Tingkat COD pada hari ke-5 mengalami penurunan terbesar yaitu 82,6% (dari 3025 mg/L menjadi 525 mg/L).

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah indikator yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik dalam air melalui proses kimia (LaDuke, 2022). Penurunan COD pada air hasil penyaringan SPIROFILTER menunjukkan adanya aktivitas organisme dalam menguraikan bahan organik, dalam hal ini N kompleks dan P kompleks ($\text{FePO}_4/\text{AlPO}_4$) yang terkandung dalam limbah deterjen menjadi bahan an organik (siap diserap oleh organisme). Organisme yang tumbuh efektif dalam menurunkan nilai COD (Setiadi *et al.*, 2013), oleh karena itu penurunan angka mikroba pada Gambar 7. seiring dengan penurunan COD pada Gambar 11.



Gambar 10. COD air limbah deterjen pada hari ke-0, 3 dan 5 setelah perlakuan.

Keterangan:

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER

Rz-3 : Air hasil penyaringan setelah hari ke-3 di dalam SPIROFILTER

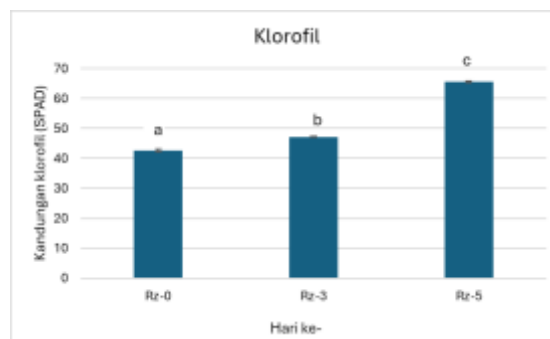
Rz-5: Air hasil penyaringan setelah hari ke-5 di dalam SPIROFILTER.

COD adalah indikator jumlah oksigen yang dikonsumsi untuk mengoksidasi secara kimia dari polutan menjadi produk akhir

anorganik maka pengurai bukan hanya organisme namun dilakukan oleh bahan lain dari bioreaktor SPIROFILTER ini, salah satunya zeolit.

Kandungan Klorofil *S. porticalis*

Alga menyerap nitrogen dalam bentuk amonia dan nitrat yang akan dikonversikan menjadi penyusun klorofil dalam fotosintesis. Salah satu alga yang dapat memanfaatkan nitrogen dalam pembentuk klorofil adalah *Spirogyra*. (Apriadi *et al.*, 2014). Kandungan klorofil *S. porticalis* menunjukkan peningkatan seiring dengan waktu. Hal ini menunjukkan kondisi cekaman deterjen pada media air masih dapat ditoleransi oleh *S. porticalis*. Alga ini masih mampu tumbuh dan mensintesis klorofil pada selnya serta menurunkan kandungan P pada media air tercemar dan menurunkan jumlah koloni mikroba seiring dengan turunnya kandungan amonia sebagai bahan dasar metabolismenya (hara).



Gambar 11. Kandungan klorofil *S. porticalis* pada hari ke-0, 3 dan 5 perlakuan (Grafik/bar yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda secara signifikan dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$)).

Keterangan:

Rz-0 : air sebelum penyaringan dengan SPIROFILTER

Rz-3 : Air hasil penyaringan setelah hari ke-3 di dalam SPIROFILTER

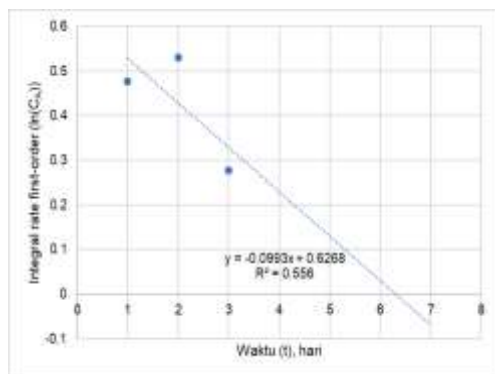
Rz-5: Air hasil penyaringan setelah hari ke-5 di dalam SPIROFILTER

Nitrogen pada organisme autotrof berperan sebagai pembentuk klorofil dalam proses remediasi. Organisme autotrof khususnya alga hanya dapat menyerap nitrogen dalam bentuk amonia (NH_4^+) dan nitrat (NO_3). Nitrogen terletak pada susunan inti klorofil yaitu bagian dari cincin pirol. Alga juga dapat

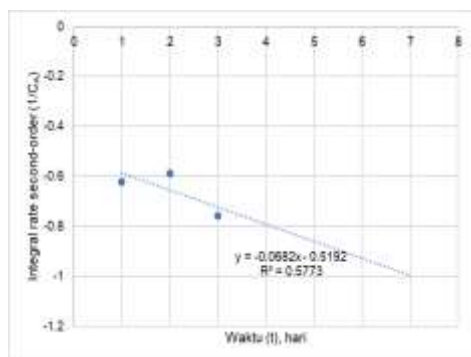
memanfaatkan asam amino yang terlarut sebagai sumber nitrogen dengan mengubahnya menjadi nitrat (NO_3^-) dengan enzim L-amino acid oxidase. Selain itu, alga juga dapat menggunakan amonia (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-) sebagai sumber nitrogen dalam penyusunan protein (McCauley, 2011; Urry *et al.*, 2017). Salah satu alga yang dapat memanfaatkan nitrogen dalam pembentukan klorofil adalah *S. porticalis* (O. F. Mueller) Cleve karena kenaikan pH mendukung konversi ammonium (NH_4^+) menjadi ammonia (NH_3) yang volatil dan dapat hilang ke atmosfer

Kinetika Reaksi Bioremediasi Fosfat oleh *S. porticalis* dalam SPIROFILTER

Model kinetika reaksi Pseudo--1 dan Pseudo-2 dapat digunakan untuk mengolah data penanganan limbah cair dengan cara menentukan variabel yang terlibat dan mekanisme yang terjadi. Model kinetika diperlukan untuk memperkirakan kecepatan perpindahan adsorbat dari larutan ke adsorben yang digunakan sebagai akumulator (Ho & McKay, 1999). Pada SPIROFILTER ini adsorbat yang diteliti adalah P total untuk adsorben berupa *S. porticalis*.



Gambar 12. Kinetika reaksi *Pseudo First Order* pengikatan unsur P oleh komponen SPIROFILTER.



Gambar 13. Kinetika reaksi *Pseudo Second Order* pengikatan unsur P oleh komponen SPIROFILTER.

Penelitian ini menunjukkan kinetika reaksi yang terjadi pada SPIROFILTER mengikuti model *Pseudo Second Order* (PSO), karena R^2 PSO lebih besar dibanding PFO (*Pseudo First Order*) sebesar 0,5773 (Gambar 13). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah adsorbat, dalam hal ini unsur P yang terdapat pada permukaan adsorben sebanding dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada adsorben. Model *Pseudo-Second-Order* (PSO) juga menunjukkan bahwa proses penjerapan P ini dikontrol oleh mekanisme *chemisorption* berupa pertukaran elektron dan pembentukan kompleks antara P dengan *S. porticalis* dan komponen lain yang digunakan dalam SPIROFILTER yaitu zeolit dan arang aktif (Al-Baldawi *et al.*, 2022). Penjerapan P oleh *S. porticalis* seperti halnya penjerapan Hg oleh *Euglena* sp. pada *E. palifolius* (Siswanti *et al.*, 2023) yang dilakukan dengan model *Pseudo-Second-Order* (Siswanti *et al.*, 2024). Bukti lain adanya absorpsi unsur P sampai ke dalam jaringan *S. porticalis* adalah adanya kenaikan kandungan klorofil *S. porticalis*. Kenaikan klorofil seiring dengan waktu menunjukkan adanya pertumbuhan dan perkembangan alga ini karena ketersediaan nutrisi, salah satunya unsur P dari bahan P total yang ada di air limbah detergen (Gambar 6). Alga mampu tumbuh dalam kondisi tercekam seperti halnya *Euglena* sp yang masih dapat tumbuh dalam kondisi cekaman merkuri (Wisnu, *et al.*, 2021).

Selain peran *S. porticalis*, SPIROFILTER juga diperkaya dengan lapisan zeolit. Batu jenis ini mempunyai peran dalam penyaringan sekaligus menyerap (mengadsorpsi) polutan. Dibuktikan oleh penelitian Prasetya *et al* (2020) yang menunjukkan adanya penurunan polutan berupa merkuri pada media air menggunakan *Echinodorus palifolius* dan zeolit. Pada penelitian ini disebutkan peran zeolit yang berasosiasi dengan *E. palifolius* mampu menurunkan kadar cekaman merkuri sampai 91,84% . Reaksi yang terjadi antara zeolit yang mengandung Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O dan CaO akan bereaksi dengan limbah detergen yang mengandung *Natrium Alkilbenzena Sulfonate* membentuk garam. Hal ini dibuktikan dengan

salinitas meningkat seiring waktu (Gambar 5). Komponen lain yang ada di detergen yaitu Natrium fosfat dan Sodium karbonat juga merupakan garam.

Arang aktif pada SPIROFILTER ini difungsikan sebagai adsorben (penyerap). Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika arang diaktifasi menggunakan bahan-bahan kimia atau dengan pemanasan. Oleh karena itu arang seperti ini disebut dengan arang aktif (Dewi *et al.*, 2020). Penggunaan arang aktif secara fisika menyaring limbah detergen dan menetralkan racun dari *Natrium alkil benzena*.

S. porticalis mampu berperan sebagai bioremediator limbah detergen dibuktikan dengan semakin meningkatnya kandungan klorofil seiring dengan menurunnya kandungan P total maupun amonia total. Proses penyerapan bahan toksik ini juga dibuktikan dengan penurunan kadar BOD dan COD. Penurunan ini mengindikasikan terjadinya mekanisme metabolisme (salah satunya pemecahan senyawa organik kompleks menjadi sederhana) yang membutuhkan oksigen. IPAL ini menggunakan mekanisme aerob dan mekanisme penyerapan bahan toksikan atau polutan.

Kualitas air yang meningkat dan memenuhi baku mutu air menurut PP No. 82 Tahun 2001 disajikan dengan data pH masuk dalam rentang 6-9; suhu tidak melebihi 3 (deviasi 3) dari suhu ruangan 27°C; begitupun dengan salinitas yang berada di bawah 1000 ppm (air hasil penyaringan bahkan di rentang 609 ppm). Parameter BOD dan COD belum sampai di taraf ukuran baku mutu air, namun hasil analisis regresi linier forecast menunjukkan penurunan tajam dan prediksi bertambahnya waktu akan sampai di titik enol. Angka koloni mikroba hasil penyaringan menunjukkan 162 CFU/100 ml masuk dalam kategori baku mutu air kelas 2, yaitu minimal 1000 CFU/100 ml air. Parameter kandungan amonia total air hasil penyaringan menunjukkan hasil 0.0089 mg/L sudah sesuai dengan baku mutu air kelas 1 (minimal 10 mg/L) begitupun dengan kandungan fosfat total hasil penyaringan 1,32 mg/L telah memenuhi standar baku mutu air kelas 4 (minimal 5 mg/L). Kualitas air ini juga dapat diamati dari peningkatan kandungan klorofil *S. porticalis* seiring waktu, menunjukkan kondisi yang sudah cukup ideal untuk pertumbuhan mikroalga. Air ini telah

memenuhi minimal baku mutu air kelas 4 yang dapat diperuntukkan untuk penyiraman tanaman. Kemampuan *S. porticalis* bertahan hidup bahkan tumbuh dan berkembang baik dalam lingkungan limbah detergen karena kemampuannya mengabsorpsi toksik dan menyimpannya dalam jaringan. Hal ini dibuktikan dengan uji model kinetika reaksi yang menunjukkan kesesuaian lebih besar ke *Pseudo Second Order*. Penelitian ini sejalan dengan penelitian Siswanti *et al.* (2023) dan Siswanti, *et al.*, (2024) yang membuktikan bahwa mikroalga (dalam hal ini *Euglena* sp.) mampu mengakumulasi limbah dan berperan sebagai bioremediator.

Kesimpulan

S. porticalis berperan sebagai bioremediator limbah detergen yang ditunjukkan dengan pertumbuhan *S. porticalis* tetap optimum dalam kondisi lingkungan limbah detergen dalam SPIROFILTER. Kualitas air setelah penyaringan menggunakan SPIROFILTER telah memenuhi baku mutu air. Model kinetika reaksi pengikatan unsur P dari limbah detergen oleh *S. porticalis* dan komponen SPIROFILTER menggunakan model *Pseudo Second Order*.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada : Bapak Susilo Tri Atmojo, Pamong Kimia di SMAS Taruna Nusantara, Magelang; SMAS Taruna Nusantara atas pendanaan dalam penelitian ini; Fakultas Biologi Universitas Gajah Mada atas fasilitas laboratorium dan alat pengukuran parameter lingkungan.

Referensi

- Al-Baldawi, I.A., Yasin, S.R., Jasim, S.S., Abdullah, S.R.S., Almansoori, A.F. & Ismail, N.I. (2022). Removal of copper by *Azolla filiculoides* and *Lemna minor* : phytoremediation potential, adsorption kinetics and isotherms. *Heliyon*. 8: e11456.
- Alkadir, O. K. A., Z. I. Al-Mashhadani, A. M. Aljeboree & A. F. Alkaim. (2021). Comparison between pseudo-first order and pseudo-second order of linear and nonlinear equations adsorption kinetic models for the removal of amoxicillin

- (AMX) onto hydrogel. *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*, 12(4): 346-350.
- Apriadi, T., Pratiwi, T. M. P., & Hariyadi, S. (2014). Fikoremediasi Limbah Budidaya Sidat Menggunakan Filamentous Algae (*Spirogyra* sp.). *Depik*. 3(1): 46 – 55.
- Baihaqi, Rahman, M., Zulfahmi, I. & Hdayat, M. (2017). Bioremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Menggunakan *Spirogyra* sp. *Jurnal Biotik*, 5 (2): 125-134.
- Connel, D.W. & G.J. Miller. (1995). *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. UI Press. Jakarta. 520.
- Dewi, R., Azhari & Nofriandi, I. (2020). Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 9(2): 12-22.
- Ding, S., Chen, M., Gong, M., Fan, X., Qin, B., Xu, H., Gao, S., Jin, Z., Tsang, D. W., & Zhang, C. (2018). Internal Phosphorus Loading from Sediment causes Seasonal Nitrogen Limitation for Harmful Algal Blooms. *Science of the Total Environment*, 625: 872 – 884.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius.Yogyakarta. 258.
- Ester Suoth, A., & Nazir, E. N. (2016). Karakteristik air limbah rumah tangga pada Salah satu perumahan menengah keatas Di Tangerang selatan. *Jurnal Ecolab*, 10(2), 80-88.
- Hendra, H.A dan A. Andoko. (2014). *Bertanam Sayuran Hidroponik Ala Pak Tani Hydrofarm*. PT AgroMedia Pustaka. Jakarta. 67 – 68.
- Hutami, S. (2006). Penggunaan Arang Aktif Dalam Kultur/Iv Vitro (The Use of Activated Charcoal in in vitro Culture). *Berita Biologi*, 8(1).
- Ho,Y.S. & McKey,G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistri*. 34:451-465.
- Iwata, K., Tazawa, M., & Itoh, T. 2001. Turgor Pressure Regulation and the Orientation of Cortical Microtubules in *Spirogyra* Cells. *Plant Cell Physiol*, 42(6): 594 – 598.
- Kartikawati, A., O. Trisilawati, I. Darwati. (2017). Pemanfaatan Pupuk Hayati (Biofertilizer) pada Tanaman Rempah dan Obat. *Jurnal Perspektif*, 16(1): 33-43.
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A. dan Purbaningtyas, T.E. (2013). Kinetic study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *Eksakta Jorنال of Science and Data Analysis*. 13 (1-2): 11-21.
- LaDuke, O. (2022). Chemical oxygen demand and its applications. *Advance Journal of Environment Science and Technology*, 13 (3): 001.
- McCauley, A. (2011). Plant Nutrien Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. Montana State University. Bozeman.
- Pasongli, H., Dirawan, G. D. & Suprpta. (2015). Zonasi kesesuaian tambak untuk pengembangan budidaya udang Vaname pada aspek kualitas air di Desa Todowongi Kecamatan Jailolo Kabupaten Halmahera Barat. *Jurnal BIO Edukasi*, 3(2): 324 – 335.
- Prasetyaa, A., Prihutamia, P., Warisauraa A. D, Fahrurrozia M., & Petrus, H.T.M. (2020). Characteristic of Hg removal using zeolite adsorption and *Echinodorus palaefolius* phytoremediation in subsurface flow constructed wetland (SSF-CW) model. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 8 (3) : 103781.
- Putri, S. E. dan Side, S. (2020). Analisis Kandungan Oksida Logam Zeolit Alam Sulawesi Selatan Teraktivasi Asam Klorida. *Jurnal Sainsmat*. IX (2) : 159-163
- Robiah., Renaldi, U.& Melani, A.. (2021). Kajian pengaruh laju alir NaOH dan waktu kontak terhadap absorpsi gas CO2 menggunakan alat absorber tipe sieve tray. *Distilasi*, 6(2): 27-35.
- Sanusi, H.S. (2006). *Kimia laut. Proses fisik kimia dan interaksinya dengan lingkungan*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 188.
- Selvina, Mutiara, Fahrialam, Aldian, Wijaya, Leonardo Anthony, Karunianti, Aulia Rahmah, dan Warmada, I Wayan. (2021). Study Characteristics of Zeolite in Yogyakarta and its Utilization as a Builder Agent to Produce Environmentally Friendly Detergen.
- Siswanti, D.U., Daryono, B.S., Petrus, H.T.B.M., Suyono, E.A. (2023).

- Bioremediation of mercury-polluted water in free water surface-constructed wetland system by *Euglena* sp. and *Echinodorus palifolius* (Nees & Mart.) J.F.Macbr. *J. Tropical Biodiversity Biotechnology*, 8 (3): 1–13.
- Siswanti, D.U., Ayuningtyas, D., Nugraheni, S. N., Nurhanifah, T., Petrus, H.T.B.M, Suyono, E.A., Daryono, B.S. (2024). Mercury removal by *Aquarius palifolius* (Nees & Mart.) Christenh. & Byng: Isotherms model, superoxide dismutase activity, and chlorophyll content. *Watershed Ecology and the Environment*. 6: 227-233.
- Rangkuti, P.M., Siswanti, D.U., Suyono, E.A. (2023). Salinity Treatment as Bacterial Control and Its Impact on Growth and Nutritional Value of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) Culture in Open Pond System. *Journal of Fisheries and Environment*, 47(1): 63-74.
- Tootoonchi, M & L. A. Gettys. (2019). Testing salt stress on aquatic plants: effect of salt source and substrate. *Aquatic Ecology*, 53: 325-334.
- Trilitai, M. N., Hendrasarie, N., & Wahjudijanto, I. (2015). Design Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan ABR (Anaerobic Baffled Reactor). *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono* : 11-14
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2017). *Campbell Biology*, 11nd edn. Pearson, New York.
- Wahyudi, A. (2022). Mengenal Lebih Jauh tentang IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Komunal di Kabupaten Lampung Timur. *Prosiding Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP)* . 2 (1).
- Widodo, L. U., S. Najah & C. Istiqomah. (2020). Pembuatan adsorben berbahan baku tanah liat dari limbah industri pencucian pasir silika dengan perbedaan konsentrasi HCl dan waktu aktivasi. *Journal of Research and Technology*, 6(1): 10-15.
- Wardana, W.E., Tantri, D.H., Afifah, M.N.R., Aini, H.N., Siswanti, D.U., Maghfiroh, K. Q., Erfianti, T., Kurnianto, D. and Suyono, E.A. (2023). Effect of Mercury Stress on The Growth and Lipid Content of *Euglena* sp. and *Echinodorus palaefolius*. *Jurnal Biodjati*, 8(1):172-179.