Terbit *online* pada laman web jurnal :http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|

Artikel Penelitian

Phytoremediation in Constructed Wetlands Using Genjer to Reduce COD, TDS, and Phosphate

Erlina Kurniningtyas [1)], Pasu Nio Lya Panggabean[2], Mutiara Fajar[3], Nur Faizaturrohmah[4]*

[1]*Program Studi Rekayasa Tata Kelola Air Terpadu, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia*

[2]*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia*

*Koresponden: erlina.kurnianingtyas@*tka.itera.ac.id*

Diterima: 30 Oktober 2025 Diperbaiki: 18 Desember 2025 Disetujui: 27 Januari 2026

ABSTRACT

The increase in laundry service activities in Indonesia has an impact on the high water pollution due to the disposal of laundry waste containing chemicals such as COD, TDS, and Phosphate. Laundry waste, which is discharged directly into the environment without treatment, can lead to eutrophication, deterioration of water quality, and the death of aquatic biota. Phytoremediation with a constructed wetland system using genjer plants (Limnocharis flava) was chosen as an environmentally friendly, and low-cost treatment alternative. This study aims to analyze the effectiveness of reducing COD, TDS, and Phosphate levels of laundry waste with genjer plants in the constructed wetland system, as well as to analyze the relationship between the 0, 4th, 8th and 12th day stay time on the reduction of parameters before and after treatment. Preliminary experiments used a control reactor (without plants) and a treatment reactor (10 plants). The results of this study showed the ability to set aside the largest removal in the treatment reactor at COD levels of 88,147%, TDS of 12,776% and phosphate of 14,911% on day 12.. This shows that the constructed wetland method is relatively effective to be applied as laundry waste treatment.

Keyword: *laundry waste, phytoremediation, constructed wetland, COD, TDS, Phosphate*

ABSTRAK

Peningkatan aktivitas jasa *laundry* di Indonesia berdampak pada tingginya pencemaran air akibat pembuangan limbah *laundry* yang terdapat unsur kimia yaitu COD, TDS, dan fosfat. Buangan limbah *laundry* yang dialirkan ke lingkungan langsung, menyebabkan proses eutrofikasi, dan menurunya kualitas air, dan kematian biota perairan. Fitoremediasi dengan sistem *constructed wetland* memanfaatkan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) sebagai opsi metode pendekatan pengolahan limbah yang berwawasan lingkungan dan ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas tanaman genjer (*Limnocharis flava*) dalam menurunkan kadar COD, TDS, dan fosfat limbah *laundry* pada sistem *constructed wetland* serta menganalisis pengaruh variasi waktu tinggal (0, 4, 8, dan 12 hari) terhadap efisiensi penurunan parameter kualitas air. Hasil penelitian menunjukkan penurunan kadar pencemar terbaik pada hari ke-12 pada reaktor perlakuan dengan total penurunan kadar COD sebesar 264,833 mg/L, TDS sebesar 48,55 mg/L dan fosfat sebesar 0,76 mg/L. Hal ini menggambarkan bahwa sistem *constructed wetland* memiliki kemampuan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan polutan pada limbah *laundry*. Hasil analisis statistik menunjukkan adanya hubungan antara variasi waktu tinggal dan penurunan kadar COD, TDS, dan fosfat. Hubungan yang terbentuk bersifat berbanding terbalik, dengan tingkat hubungan kuat pada COD dan fosfat, serta sangat kuat pada TDS. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama waktu tinggal, semakin rendah konsentrasi COD, TDS, dan fosfat.

Kata Kunci: limbah *laundry*, fitoremediasi, *constructed wetland*, COD, TDS, Fosfat

 Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International.

1. PENDAHULUAN

Pola hidup yang serba praktis merupakan bagian dari kehidupan masyarakat modern, termasuk dalam hal mencuci pakaian. Kegiatan. Kegiatan mencuci pakaian adalah kebutuhan dasar bagi setiap orang. Keterbatasan waktu serta dorongan untuk menjalani hidup yang lebih efisien menjadikan ussaha *laundry* memiliki peluang untuk berkembang. (Risky Ramadhanta et al., n.d.). Limbah *laundry* yang dihasilkan dan dibuang langsung ke saluran irigasi tanpa adanya proses pengolahan dapat menyebabkan akumulasi limbah di badan air. Masuknya limbah *laundry* ke badan air dapat mengakibatkan eutrofikasi, yang dimana alga dan tumbuhan air berkembang dengan cepat di perairan sehingga menurunkan kadar oksigen di perairan. Kondisi kadar oksigen yang terlarut akan menyebabkan kematian pada biota perairan (Wimbaningrum et al., n.d.) . Limbah cair dari kegiatan *laundry* mengandung bahan organik dan partikel tersuspensi yang berpotensi meningkatkan kadar COD, TDS, serta fosfat. Parameter COD menggambarkan besarnya kebutuhan oksigen yang dibutuhkan dalam proses oksidasi kimia terhadap bahan organik (Sains dan Teknologi Lingkungan, Al Kholif, et al., n.d.), sedangkan TDS menunjukkan jumlah padatan terlarut berukuran sangat halus (Kustiyaningsih et al., 2020a). Kandungan fosfat yang tinggi dapat menyebabkan bau tidak sedap, menurunkan intensitas cahaya yang masuk ke air, dan menghambat difusi oksigen (Setiawan et al., 2022). Sesuai dengan Permenlh Nomor 5 Tahun 2014, batas maksimum untuk limbah industri deterjen ditetapkan sebesar 180 mg/L untuk COD, 2 mg/L untuk fosfat, dan 2000 mg/L untuk TDS. Akan tetapi, hasil penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa limbah *laundry* memiliki kadar COD sebesar 1305 mg/L, TDS 963 mg/L, dan fosfat 12,62 mg/L, hal tersebut melebihi nilai ambang baku mutu yang ditetapkan (Kemenkes Makassar, 2018). Oleh sebab itu, diperlukan tahapan pengolahan air limbah sebelum dilakukan pembuangan ke lingkungan.

Metode fitoremediasi memanfaatkan tanaman untuk mengabsorpsi dan mendegradasi polutan pada air limbah, yang dapat dapat dilakukan baik di Lokasi sumber pencemar (in-situ) maupun di luar Lokasi (ex-situ) (Paulina et al., 2024). Teknik ini tergolong murah, efektif, berkelanjutan, dan ramah lingkungan, sehingga menjadi alternatif pengolahan limbah konvensional (Nagy et al., n.d.) . Salah satu penerapannya adalah *constructed wetland* atau lahan basah buatan, yaitu sistem kolam atau saluran bervegetasi yang memanfaatkan tanaman air, mikroorganisme, serta proses fisika dan kimia untuk menjernihkan limbah. Kelebihan metode ini terletak pada fleksibilitas desainnya seperti pengaturan lokasi, ukuran, pola aliran, dan waktu tinggal air yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan (Phi ; Ashari et al., 2020) . Pada perancangan *constructed wetland*, digunakan vegetasi berupa tumbuhan akuatik yang berperan penting dalam mendukung keseimbangan ekosistem serta membantu memperbaiki kualitas air yang tercemar (Rahmayanti et al., n.d.) . Tanaman genjer menjadi salah satu jenis tumbuhan yang efektif dalam menyerap polutan melalui akar dan batangnya. Meskipun genjer dapat tumbuh alami di area basah seperti sawah dan selokan, tanaman ini memiliki kemampuan tinggi dalam mereduksi kandungan pencemar pada air limbah (*15*, n.d.)

Penggunaan *constructed wetland* untuk menurunkan COD dan fosfat banyak dilakukan, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Erwin et al., 2017 menggunakan *constructed wetland* untuk menurunkan kadar fosfat dan COD dengan penurunan COD sebesar 88,08% dan penurunan fosfat sebesar 73,27%. Namun, sebagian besar penelitian masih menggunakan tanaman air yang umum seperti eceng gondok dan kiambang, serta lebih banyak diterapkan pada limbah domestik. Kajian yang secara khusus memanfaatkan tanaman genjer (*Limnocharis flava*) sebagai agen fitoremediasi limbah *laundry* masih sangat terbatas, padahal limbah *laundry* memiliki karakteristik pencemar yang lebih kompleks berupa kandungan surfaktan sintetis dan TDS tinggi (Kustiyaningsih et al., 2020a). Selain itu, penelitian-penelitian sebelumnya umumnya hanya mengevaluasi efisiensi penurunan parameter tanpa menganalisis hubungan kuantitatif antara variasi waktu tinggal dan kemampuan tanaman dalam mereduksi polutan. Oleh karena itu, kebaharuan penelitian ini terletak pada pemanfaatan tanaman genjer sebagai tanaman lokal *non-invasif* dalam sistem *constructed wetland* untuk pengolahan limbah *laundry*, dengan penambahan parameter TDS serta analisis hubungan variasi waktu tinggal terhadap efisiensi penurunan COD, TDS, dan fosfat secara statistik, sehingga memberikan kontribusi baru dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah *laundry*.

2. METODOLOGI

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian berlangsung dari bulan Juni-Agustus 2025. Pengambilan sampel air limbah *laundry* berasal dari hasil cucian pertama yang diambil dari salah satu *laundry* koin yaitu G *Laundry* di Way Huwi,

Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan. Kondisi awal air limbah sebelum perlakuan yaitu berwarna keruh, serta terbentuknya busa yang cukup tebal

2.2. Alat Dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan, yaitu *Container box* plastik, keran, Botol plastik, COD reaktor, Oven, Desikator, Beaker glass, Spatula, Bulb dan pipet volume, Spektrofotometer, Neraca analitik, Gelas ukur, Ayakan, Kuvet silika, Labu takar, Pipet ukur, TDS Meter, Rak dan tabung reaksi. Bahan yang digunakan adalah Tanaman genjer, Air bersih, Limbah laundry, Pasir ukuran 1 mm dan kerikil ukuran 15-25 mm, Aquadest, Fosfat reagent, Larutan asam sulfat (H_2SO_4), Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), Merkuri sulfat ($HgSO_4$), Perak sulfat (Ag_2SO_4), Kalium Hidrogen Ftalat (KHP), Kalium permanganat ($KMnO_4$), KH_2PO_4 (Kalium Dihidrogen Fosfat Anhidrat)

2.3. Prosedur Penelitian

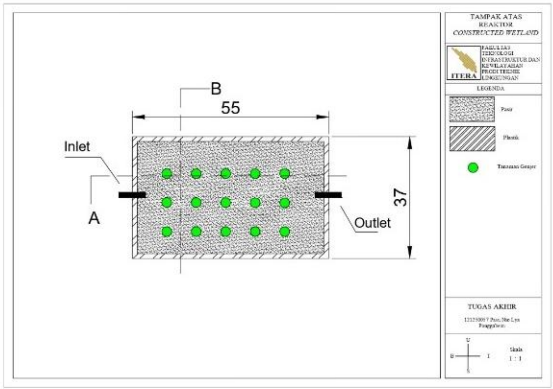
2.3.1. Sampling Air Limbah

Prosedur pengambilan sampel limbah *laundry* mengacu pada SNI 6989.58:2008 dengan menggunakan metode grab sampling. Terlebih dahulu menyiapkan peralatan sampling yang akan digunakan dalam keadaan bersih. Wadah penampungan dan tutup sampel dibilas sebanyak 3 (tiga) kali. Pengambilan sampel menggunakan gayung untuk mempermudah proses pengambilan sampel dan menutup rapat wadah penampung. Sampel sudah dapat dilakukan pengujian sebelum pengolahan dan sesudah pengolahan. pengambilan sampel dilaksanakan setiap 4 hari sekali dengan 2 kali pengulangan.

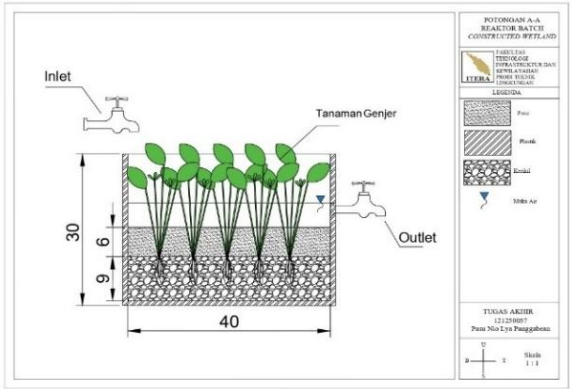
2.3.2. Pembuatan Reaktor

Penelitian ini menggunakan 10 tanaman genjer dewasa berumur 2–3 bulan yang memiliki akar serabut kuat dan biomassa besar, sehingga efektif menyerap dan menurunkan polutan melalui fitoremediasi. Media tanam terdiri dari kerikil berukuran 1,6–3,2 cm setebal 9 cm dan pasir halus berukuran 0,1 cm setebal 6 cm, dengan limbah *laundry* ditambahkan hingga 15 cm di atas pasir. Pasir terlebih dahulu diayak menggunakan ayakan nomor 100 untuk memastikan keseragaman ukuran partikel.

Sistem fitoremediasi yang digunakan adalah *constructed wetland* tipe *batch* dengan aliran *free water surface* (FWS), dipilih karena efisien dan mudah dioperasikan. Sistem *batch* memungkinkan pengaturan waktu tinggal untuk memaksimalkan degradasi polutan, sedangkan FWS meniru kondisi rawa alami sehingga meningkatkan oksigen dan aktivitas mikroorganisme. Penelitian ini menggunakan dua reaktor, yakni reaktor kontrol tanpa tanaman dan reaktor perlakuan berisi 10 tanaman genjer, dengan ukuran masing-masing 55 cm × 37 cm × 30 cm dan volume 10 liter limbah *laundry*. Setelah proses aklimitasi yang dilakukan selama 7 hari, dan waktu tinggal limbah *laundry* dalam reaktor yaitu selama 12 hari maka pengujiannya akan dilaksankan pada hari ke-0, ke-4, ke-8, dan ke-12 untuk menilai efektivitas sistem dalam menurunkan COD, TDS, dan fosfat. Desain reaktor ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2



Gambar 1. Tampak Atas Reaktor



Gambar 2. Tampak Potongan A-A Reaktor

2.3.3. Aklimatisasi

Proses aklimatisasi tanaman genjer berlangsung selama 7 hari, dimulai dengan pembersihan tanaman dan penempatan di area terbuka agar dapat beradaptasi. Aklimatisasi dilakukan secara bertahap menggunakan campuran air limbah dan air bersih dengan variasi 25%–100% air limbah. Selama proses, kondisi daun dan

batang terus diamati. Tanaman dinyatakan berhasil beradaptasi bila tetap hidup dengan daun hijau, segar, dan tidak layu; hanya tanaman sehat yang digunakan untuk tahap penelitian berikutnya.

2.3.4. Rancangan Percobaan

Penelitian dilaksanakan selama 12 hari dengan interval pengambilan sampel pada hari ke-0, ke-4, ke-8, dan ke-12. Setiap sampel dianalisis dengan dua kali pengulangan guna memperoleh hasil yang lebih representatif. Pada Tabel 1 dapat dilihat skema penelitian yang digunakan:

Tabel 1 Rancangan Percobaan Penelitian

Para-meter	Hari	Waktu Tinggal							
		H_0 (mg/L)		H_4 (mg/L)		H_8 (mg/L)		H_{12} (mg/L)	
Pengulangan		I (a)	II (b)	I (a)	II(b)	I (a)	II(b)	I (a)	II(b)
COD (X)	R_K	H_0XR_Ka	H_0XR_Kb	H_4XR_Ka	H_4XR_Kb	H_8XR_Ka	H_8XR_Kb	$H_{12}XR_Ka$	$H_{12}XR_Kb$
	R_P	H_0XR_Pa	H_0XR_Pb	H_4XR_Pa	H_4XR_Pb	H_8XR_Pa	H_8XR_Pb	$H_{12}XR_Pa$	$H_{12}XR_Pb$
TDS (Y)	R_K	H_0YR_Ka	H_0YR_Kb	H_4YR_Ka	H_4YR_Kb	H_8YR_Ka	H_8YR_Kb	$H_{12}YR_Ka$	$H_{12}YR_Kb$
	R_P	H_0YR_Pa	H_0YR_Pb	H_4YR_Pa	H_4YR_Pb	H_8YR_Pa	H_8YR_Pb	$H_{12}YR_Pa$	$H_{12}YR_Pb$
Fosfat (Z)	R_K	H_0ZR_Ka	H_0ZR_Kb	H_4ZR_Ka	H_4ZR_Kb	H_8ZR_Ka	H_8ZR_Kb	$H_{12}ZR_Ka$	$H_{12}ZR_Kb$
	R_P	H_0ZR_Pa	H_0ZR_Pb	H_4ZR_Pa	H_4ZR_Pb	H_8ZR_Pa	H_8ZR_Pb	$H_{12}ZR_Pa$	$H_{12}ZR_Pb$

Keterangan:

H_0 = Hari pengujian ke-0
H_4 = Hari pengujian ke-4
H_8 = Hari pengujian ke-8
H_{12} = Hari pengujian ke-12
a = Pengulangan I
b = Pengulangan II
R_K = Reaktor kontrol (tanpa tanaman)
R_P = Reaktor perlakuan (10 tanaman genjer)

2.3.5. Fitoremediasi

Setelah tahap aklimatisasi, tanaman genjer digunakan dalam proses fitoremediasi dengan menempatkannya pada dua jenis reaktor, yaitu reaktor perlakuan berisi 10 tanaman genjer dan reaktor kontrol tanpa tanaman. Tujuan penggunaan dua reaktor ini adalah untuk membandingkan efektivitas tanaman dalam menurunkan kadar COD, TDS, dan fosfat pada limbah laundry. Pengujian dilakukan terhadap effluent pada hari ke-0, 4,8, dan 12, dengan waktu tinggal 12 hari yang dianggap optimal untuk proses penyerapan dan degradasi polutan. Pengambilan sampel dilakukan sekali setiap interval waktu dengan dua kali pengulangan (duplo) untuk memastikan keakuratan hasil. Selama penelitian, juga diamati perubahan morfologi tanaman, seperti kondisi daun dan batang, guna menilai respon tanaman terhadap lingkungan limbah.

2.3.6. Pengujian COD

Pengujian COD menggunakan metode spektrofotometri *Hach 8048*. Prosedur pengujian COD yaitu pembuatan *digestion solution* dan *silver solution* yang disesuaikan dengan kebutuhan dengan sumber SNI 6989.2:2019: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (*chemical oxygen demand*/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. Sebelum pengujian sampel, dilakukan analisis panjang gelombang melalui pembuatan kurva kalibrasi untuk menentukan panjang gelombang optimum, yaitu 420 nm atau 600 nm. Setelah kurva kalibrasi memenuhi syarat, dilakukan pengujian sampel dengan mengambil 2,5 mL limbah laundry yang telah dihomogenkan, kemudian ditambahkan 1,5 mL larutan COD digestion dan 3,5 mL larutan perak (silver solution). Campuran dimasukkan ke dalam tabung reaksi COD dan dipanaskan pada suhu 150°C selama 2 jam menggunakan reaktor COD. Pengujian blanko dilakukan pada setiap analisis untuk memperoleh panjang gelombang yang sesuai. Setelah proses pemanasan, sampel dan blanko didinginkan pada suhu ruang, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer. Pengukuran diawali dengan pengaturan blanko hingga nilai nol, dilanjutkan dengan pengukuran sampel, dan hasil kadar COD dicatat dari tampilan alat. Penentuan kadar COD menggunakan persamaan sebagai berikut (SNI 6989.2:2019):

$$\text{COD (mg/L)} = C\ x\ f$$

Keterangan:
C = Kadar hasil pengukuran (mL)
f = Faktor pengenceran

2.3.7. Pengujian TDS

Penentuan kadar TDS dilakukan menggunakan alat TDS meter. Pengujian diawali dengan menyalakan alat dan mengatur mode pengukuran TDS. Sebelum digunakan, elektroda TDS meter dibilas dengan aquades dan dikeringkan dengan tisu untuk menghindari kontaminasi. Selanjutnya, alat dicelupkan ke dalam sampel air limbah hingga pembacaan nilai stabil. Nilai TDS kemudian dibaca dan dicatat. Setiap sampel diukur sebanyak dua kali untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.

2.3.8. Pengujian Fosfat (PO_4)

Penentuan kadar fosfat dilakukan menggunakan metode spektrofotometri Hach 8048. Pengujian diawali dengan pembuatan kurva kalibrasi untuk menentukan panjang gelombang optimum pada 880 nm. Setelah kurva memenuhi persyaratan, sebanyak 10 mL sampel limbah *laundry* yang telah dihomogenkan ditambahkan reagen fosfat (*powder pillow*), kemudian dihomogenkan selama 20–30 detik. Sampel selanjutnya didiamkan selama 2–10 menit hingga reagen bereaksi sempurna. Pengukuran dilakukan menggunakan spektrofotometer dengan terlebih dahulu mengatur blanko hingga kondisi nol, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran sampel. Nilai kadar fosfat dibaca dan dicatat dari tampilan alat. Penentuan kadar Fosfat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Fosfat (mg/L)} = C \; x \; fp$$

Keterangan:
C = Kadar hasil pengukuran (mg/L)
Fp = Faktor pengenceran

2.3.9. Efisiensi removal

Efektivitas tanaman genjer dalam penurunan kadar COD, TDS dan fosfat berdasarkan nilai *removal efficiency* (RE). RE ini berfungsi sebagai pengukur dalam menunjukkan persentase pengurangan kadar polutan awal ke kondisi setelah pengolahan akhir. Nilai efisiensi penurunan yang tinggi akan menghasilkan kualitas air hasil pengolahan yang dapat memenuhi standar lingkungan yang berlaku. Penentuan efisiensi removal menggunakan rumus dibawah ini

$$\text{RE (\%)} = \left[\frac{(Ci - Co)}{Ci}\right] \text{x } 100 \text{ \%}$$

Keterangan:
Ci = Konsentrasi parameter air limbah sebelum perlakuan
Co = Konsentrasi parameter air limbah setelah perlakuan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Limbah *Laundry*

Data hasil pengukuran ini merupakan analisis awal limbah yang dijadikan dasar untuk menentukan variasi konsentrasi dalam penelitian. Sampel limbah diperoleh dari usaha *laundry* koin G *Laundry* yang berlokasi di Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan. Data karakteristik limbah *laundry* disajikan pada Tabel dibawah ini

Tabel 2 Karakteristik Awal Limbah *Laundry*

Parameter	Hasil	Baku Mutu	Satuan
Suhu	28	-	^{O}C
COD	300,444	180	mg/L
TDS	380	2000	mg/L
Fosfat (PO_4)	5,097	2	mg/L

Hasil uji awal limbah *laundry* di Laboratorium Teknik Lingkungan ITERA menunjukkan nilai suhu 28°C, COD 300,444 mg/L, TDS 380 mg/L, dan fosfat 5,097 mg/L. Parameter COD dan fosfat melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Permen LH No. 5 Tahun 2014, sedangkan TDS masih memenuhi standar. Tingginya COD dipengaruhi oleh keberadaan zat organik dari deterjen, pewangi, dan pelembut yang mengandung

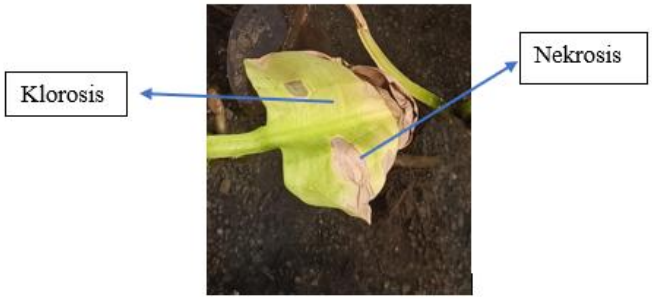
surfaktan (LAS), serta kotoran pakaian seperti minyak, lemak, dan sisa makanan. Kondisi ini menunjukkan tingginya kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik, yang mencerminkan potensi pencemaran lingkungan yang signifikan (Prihatin et al., 2021; Sains dan Teknologi Lingkungan, Ari Fitria, et al., n.d.).

Tingginya kadar fosfat pada limbah *laundry* dapat mencemari lingkungan karena menyebabkan peningkatan kadar nutrien di perairan, yang dapat memicu proses eutrofikasi atau ledakan pertumbuhan alga sehingga mengganggu ekosistem perairan (Pagoray et al., 2021) . Tingginya kadar fosfat dalam limbah *laundry* umumnya disebabkan oleh pemakaian deterjen sintetis yang mengandung *sodium tripolyphosphate* (STPP) yaitu senyawa pengikat ion untuk meningkatkan efektivitas pencucian. Senyawa ini tidak terurai sepenuhnya selama proses pencucian sehingga terbawa ke air limbah, ditambah kontribusi dari pelembut dan pewangi yang semakin meningkatkan konsentrasi fosfat. (Sains dan Teknologi Lingkungan, Ari Fitria, et al., n.d.) . Kadar COD dan fosfat pada limbah *laundry* tercatat melebihi baku mutu, sedangkan TDS masih berada di bawah batas 2000 mg/L. Hal ini disebabkan karena limbah *laundry* lebih banyak mengandung senyawa organik terlarut seperti surfaktan, minyak, dan lemak yang meningkatkan nilai COD dan fosfat, namun tidak signifikan menambah jumlah padatan terlarut (Kustiyaningsih et al., 2020a). Selain itu, penggunaan air bersih dalam jumlah cukup besar selama proses pencucian menyebabkan efek pengenceran sehingga TDS relatif rendah, sementara senyawa penyumbang COD dan fosfat tetap berada pada konsentrasi tinggi (Sains dan Teknologi Lingkungan, Al Kholif, et al., n.d.).

Penelitian Fitrianingsih dkk (Fitrianingsih et al., 2025) melaporkan kadar COD 353,6 mg/L, fosfat 22,04 mg/L, dan TDS 310 mg/L pada limbah laundry. Sementara itu, penelitian lain (Novembrianto et al., n.d.) mencatat COD 1305 mg/L, fosfat 12,62 mg/L, dan TDS 963 mg/L. Kedua studi tersebut menunjukkan bahwa COD dan fosfat cenderung melampaui baku mutu, sementara TDS masih memenuhi standar. Pola yang sama juga terlihat pada hasil uji awal limbah laundry di G Laundry, Way Huwi, Jati Agung, Lampung Selatan meskipun lokasi berbeda, karakteristik pencemarnya serupa, yaitu tingginya beban organik dan fosfat, sedangkan TDS tetap relatif rendah.

3.2 Aklimatisasi

Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari untuk membantu tanaman genjer beradaptasi sebelum proses fitoremediasi. Sebanyak 12 tanaman dibersihkan dari kotoran lalu ditempatkan pada media kerikil, pasir, dan campuran air limbah dengan variasi konsentrasi 25%, 40%, 50%, hingga 100% air limbah. Hasil aklimatisasi menunjukkan bahwa sebagian besar tanaman tetap sehat dengan daun dan batang berwarna hijau, meskipun beberapa mengalami klorosis atau nekrosis. Secara keseluruhan, tanaman genjer mampu beradaptasi dengan baik dan siap digunakan dalam tahap penelitian berikutnya.



Gambar 3. Tanaman Genjer Mengalami Klorosis dan Nekrosis

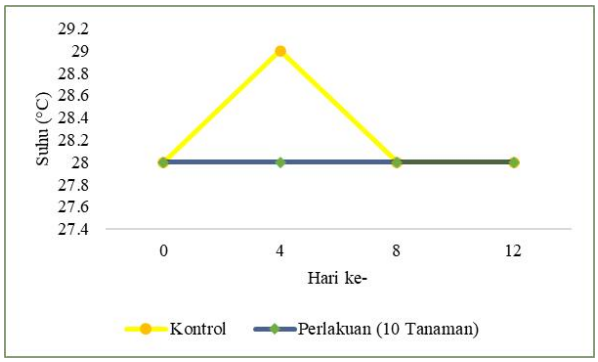
Perubahan warna daun selama aklimatisasi mengindikasikan klorosis, yakni kondisi ketika daun menguning karena klorofil tidak terbentuk, sehingga area di antara tulang daun terlihat lebih pucat. Gangguan ini muncul akibat kerusakan pada struktur dan fungsi sel yang menghambat pembentukan klorofil (*86*, n.d.). Selain itu, terdapat pula bercak atau garis coklat yang menandakan nekrosis, yaitu matinya jaringan pada daun atau batang. Nekrosis dapat terjadi pada berbagai bagian tanaman dan berpotensi menyebabkan kerusakan jaringan yang lebih luas (Zhang et al., 2023).

3.3 Analisis Pengukuran Paramter Suhu, COD, TDS, dan PO_4 pada Proses Fitoremediasi

Pengambilan sampel untuk pengujian kadar COD, TDS dan fosfat dilakukan setiap empat hari selama total durasi 12 hari. Sampel diuji pada hari ke-0, 4, 8 dan 12. Berikut ini adalah hasil pengukuran setiap parameter

3.3.1. Pengukuran Suhu

Suhu adalah faktor pendukung yang penting dalam proses kimia dan biologi pada air. Suhu pada sistem fitoremediasi berperan penting dalam memengaruhi laju metabolisme serta proses fotosintesis tanaman air. Hasil pengukuran suhu pada reaktor fitoremediasi disajikan pada **Gambar 4**

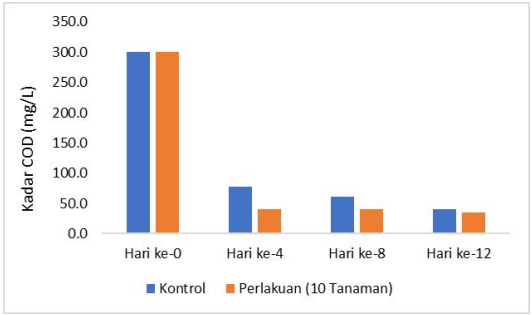


Gambar 4 Hasil Pengukuran Suhu Saat Fitoremediasi

Pada Gambar 4 diatas hasil pengukuran suhu menunjukkan bahwa reaktor kontrol (tanpa tanaman) mengalami peningkatan suhu tertinggi pada hari ke-4, kemudian kembali stabil di 28°C pada hari ke-8 dan ke-12. Sebaliknya, reaktor perlakuan yang berisi 10 tanaman genjer mempertahankan suhu air tetap konstan pada 28°C. Kenaikan suhu pada reaktor kontrol terjadi karena tidak adanya tanaman yang dapat menghalangi paparan sinar matahari, sehingga air lebih mudah mengalami pemanasan. Rentang suhu yang sesuai untuk pertumbuhan genjer adalah 25–30°C (Xiong et al., 2023) , yang memungkinkan proses fotosintesis berlangsung dengan baik. Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, batas mutu suhu air berada pada kisaran 22–28°C, sehingga suhu reaktor perlakuan yang mencapai 28°C masih memenuhi ketentuan tersebut. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian Bamara dkk. dan Kristin dkk., yang melaporkan suhu stabil di sekitar 28–30°C pada penggunaan genjer dalam *constructed wetland*, sehingga menunjukkan konsistensi hasil penelitian.

3.3.2. Pengukuran COD (*Chemical Oxygen Demand*)

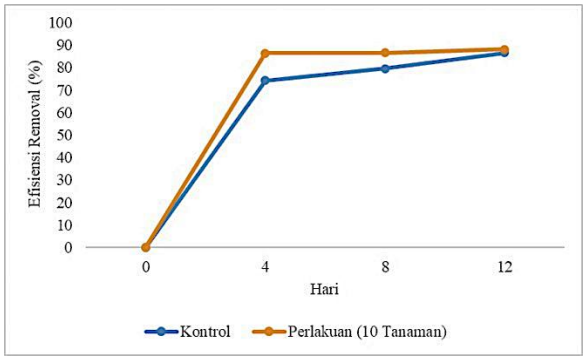
Analisis COD COD menunjukkan besaran kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik di dalam air limbah melalui reaksi oksidasi kimia.. Pengujian COD yang dilakukan yaitu dengan metode refluks tertutup sesuai dengan SNI 6989.63:2019. Sampel diambil pada hari ke-0, 4, 8 dan 12 dengan pengujian dilakukan secara duplo. Data hasil analisis COD ditampilkan pada **Gambar 5**



Gambar 5 Hasil Uji Kadar COD

Berdasarkan Gambar diatas kedua reaktor menunjukkan reduksi COD yang cukup signifikan. Pada hari ke-4, reaktor perlakuan turun dari 300,444 mg/L menjadi 77,667 mg/L, sementara itu, reaktor kontrol turun menjadi 40,778 mg/L. Penurunan berlanjut hingga hari ke-12, menghasilkan kadar akhir 35,611 mg/L pada reaktor perlakuan dan 40,389 mg/L pada reaktor kontrol. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi COD berada pada tingkat yang jauh di bawah ambang batas 180 mg/L. Kadar COD mengalami penurun karena fraksi COD dengan padatan tersuspensi yang mengalami secara sedimentasi dan penjebakan (straining) pada pori-pori media sehingga kadar COD menurun. Fraksi COD yang berlangsung dimanfaatkan mikroorganisme sehingga kecepatan degradasinya tergolong sangat cepat. Hal ini menunjukkan

mekanisme yang dominan pada konsumsi mikroba heterotrof dalam biofilm memanfaatkan fraksi COD yang mudah terdegradasi, sehingga kadar COD turun signifikan dalam beberapa jam (Cai et al., 2023). Penelitian yang dilakukan Zhang et al., (2023) yang menguji pada karakteristik COD yang di uji secara Readily Biodegradable COD (RBCOD) dan Slowly Biodegradable COD (SBCOD). Kadar COD awal rata-rata 418 mg/L, dilakukannya RBCOD menjadi 387,5 mg/L untuk kadar COD. RBCOD merupakan fraksi COD yang memanfaatkan mikroorganisme seperti senyawa sederhana (gula dan asam organik) yang kecepatan degradasi sangat cepat (hitungan jam) dan hasil penurunan COD secara signifikan. Hal ini mendukung interpretasi penurunan kadar COD awal. Sedangkan SBCOD memberi fraksi COD yang memerlukan hidrolisis sebelum dapat dimanfaatkan dengan senyawa komplek (protein dan selulosa) dengan kecepatan degradasi lambat atau lama untuk bergradasi. Penurunan kadar dapat juga terjadi karena mikroorganisme pada akar tumbuhan akan mengurangi bahan organik yang dimanfaatkan untuk berfotosintesis (Giovani.,D. 2017) . Penurunan kadar COD pada limbah *laundry* terjadi akibat penyerapan bahan organik oleh tanaman genjer serta aktivitas mikroorganisme di zona rizosfer. Pada area perakaran, bahan organik terurai secara aerob melalui proses dekomposisi mikroba ketika limbah cair melintasi media tanam. Selain itu, penurunan COD juga dapat terjadi meskipun tanpa tanaman, karena adanya oksigen terlarut yang berperan dalam proses oksidasi bahan organik. Proses filtrasi oleh media pasir dan kerikil turut mendukung penurunan kadar COD melalui mekanisme penyaringan fisik Giovani.,D, 2017). Efisiensi removal COD pada kedua reaktor kontrol dan perlakuan dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6 Efisiensi Removal COD

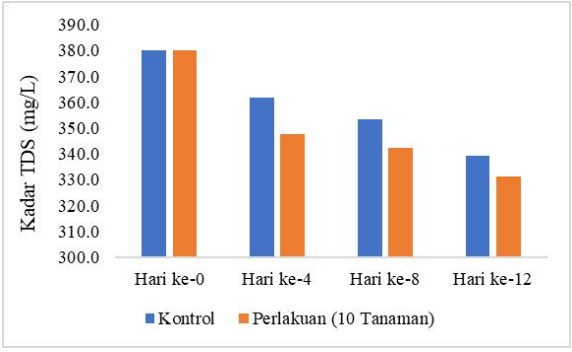
Efisiensi penurunan COD pada kedua reaktor—baik tanpa tanaman maupun dengan tanaman menunjukkan hasil yang tinggi hingga hari ke-12, seiring meningkatnya aktivitas mikroorganisme di sekitar zona akar. Reaktor perlakuan yang berisi 10 tanaman genjer mencapai efisiensi tertinggi sebesar 88,15%, karena mikroba di area perakaran memanfaatkan bahan organik untuk proses fisiologis tanaman (Studi Biologi et al., 2024). Selain itu, kemampuan genjer dalam menyerap senyawa organik serta berlangsungnya degradasi aerob oleh mikroorganisme di rizosfer turut mempercepat penguraian dan penyerapan material organik ke dalam. Berdasarkan penelitian Safira dkk dan Yanika dkk (*95*, n.d.) (Nai et al., 2024) memiliki kadar awal COD sebesar 3134,5 mg/L menjadi 110,0 mg/L, 116,0 mg/L, dan 148.5 mg/L pada pengenceran 75%, 50% dan 25% untuk tanaman genjer 2980 mg/L pengujian selama 21 hari. Penurunan kadar COD pada penelitian terdahulu lebih besar dibandingkan penelitian, disebabkan oleh terdapatnya perbedaan waktu yang dipakai selama meneliti. Namun, selisih efisiensi dengan penelitian ini tidak besar, sehingga genjer tetap efektif digunakan dalam *constructed wetland*. Pada penelitian ini, reaktor kontrol mencapai penurunan COD sebesar 86,56%, hampir sama dengan reaktor perlakuan (88,15%). Penurunan pada kontrol terjadi karena oksigen terlarut serta proses filtrasi media. Selisih efisiensi yang hanya 1,59% menunjukkan bahwa keberadaan genjer tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan COD, sejalan dengan temuan Atieka dkk. bahwa tanaman tidak selalu berdampak besar dalam sistem *constructed wetland.*

3.3.3. Pengukuran TDS (*Total Dissolved Solids*)

Pengujian TDS dilakukan untuk menentukan total padatan terlarut dalam sampel air. Penentuan nilai TDS pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode instrumental dengan TDS meter. Sampel diambil pada hari ke-0, ke-4, ke-8, dan ke-12 dengan pengujian dilakukan secara duplo. Hasil uji kadar TDS dapat dilihat pada **Gambar 7**

Berdasarkan Gambar diatas Kadar TDS pada kedua reaktor menurun dari hari ke-0 hingga hari ke-12, memiliki nilai terendah pada reaktor perlakuan sebesar 331,5 mg/L dan pada reaktor kontrol 339,5 mg/L.

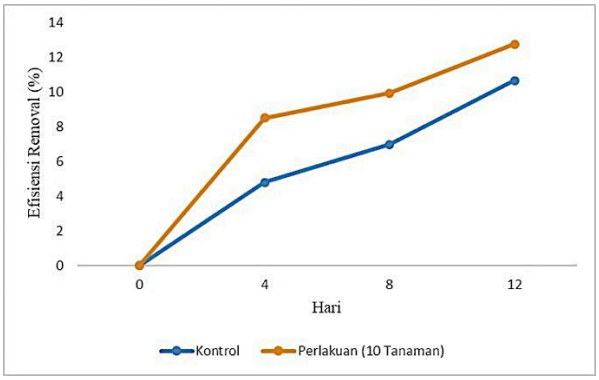
Seluruh nilai tersebut masih jauh di bawah baku mutu 2.000 mg/L sesuai Permen LH No. 5 Tahun 2014. Penurunannya tidak terlalu besar, namun konsisten hingga hari ke-12.



Gambar 7 Hasil Uji Kadar TDS

Kadar TDS menurun untuk reaktor perlakuan disebabkan oleh sudah berlangsungnya penyerapan akar dengan memanfaatkan akar tumbuhan genjer yang lebat untuk menjadi wadah berkembang biaknya mikroba, maka proses pengurangan mikroorganisme menjadi tinggi dalam menurunkan TDS. Terdapatnya penguraian padatan organik yang dilakukan mikroorganisme yaiyu lemak dan minyak dan penguraian bahan anorganik berupa zat *builder*, zat *filler* dan zat *additive* lain kimia yang berada pada deterjen serta terdapat didalam media tanam dan terjadinya penurunan kadar TDS karena reduksi padatan terlarut (Kustiyaningsih et al., 2020). Selanjutnya terjadi adsorpsi pada media (kerikil dan pasir), dan proses mikro secara aktif menguraikan bahan organik dan anorganik terlarut yang mengubah bentuk lain dan dapat mengurangi jumlah padatan terlarut yang terdeteksi sebagai TDS (Rahmadyanti et al., 2020) .Reaktor kontrol tidak ada tanaman maka suplai oksigen tidak ada dan mikroorganisme tidak berkembang, tetapi penurunan kadar TDS tanpa tanaman dapat terjadi karena adanya proses filtrasi oleh media dan gaya gravitasi. Kadar TDS mengendap pada media *constructed wetland* sehingga padatan terpisah dari air dan air menjadi lebih bersih (Rahmadyanti et al., 2020)

Efisiensi removal TDS disajikan pada Gambar 6 dibawah ini



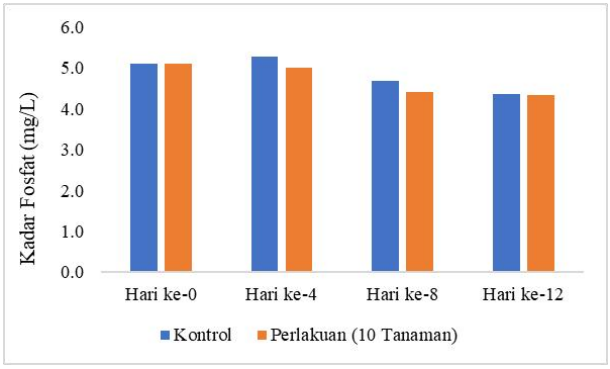
Gambar 6 Efisiensi Removal TDS

Berdasarkan Gambar diatas efisiensi penurunan TDS pada kedua reaktor menunjukkan hasil positif, dengan reaktor perlakuan mencapai efisiensi tertinggi sebesar 12,77%. Keunggulan ini disebabkan oleh akar genjer yang lebat, yang menjadi tempat tumbuh mikroorganisme sehingga aktivitas penguraian meningkat. Mikroorganisme tersebut menguraikan padatan organik (seperti minyak dan lemak) serta padatan anorganik dari deterjen (surfaktan, builder, filler, dan aditif lainnya), sehingga jumlah padatan terlarut berkurang dan kadar TDS menurun (Kustiyaningsih et al., 2020a). Efisiensi penurunan TDS pada reaktor kontrol hanya 10,671%, lebih rendah dibandingkan reaktor perlakuan karena tidak adanya tanaman yang menyediakan oksigen untuk mendukung aktivitas mikroorganisme. Meskipun demikian, TDS tetap menurun berkat filtrasi media dan pengendapan alami, yang membantu memisahkan padatan terlarut dari air sehingga kualitas air menjadi lebih baik (Rahmadyanti et al., 2020) . Pada penelitian Prihatini et al (2024) memperlihatkan menurunnya kadar TDS dengan *inlet* adalah 5150 mg/L menjadi 2555 mg/L untuk tanaman *equisetum hyemale*, 2980 mg/L untuk tanaman *typha latifolia* dan 4350 mg/L untuk reaktor kontrol (tanpa tanaman) dan pengujian dilakukan selama 21 hari. Penurunan kadar TDS pada penelitian

terdahulu lebih besar dibandingkan dengan peneliti penyebabnya adalah adanya perbedaan waktu dan jenis tanaman yang digunakan selama penelitian. Pada penelitian (Nyieku et al., 2022) memiliki kadar TDS awal rata-rata 20,087 mg/L dengan rentang nilai kadar TDS 7,480 - 49,460 mg/L. Penurunan kadar TDS pada kontrol (tanpa tanaman) sebesar 14,429 mg/L dengan jenis tanaman dipakai adalah 12,599 mg/L (*typa latifolia*), 14,431 mg/L (*ruellia simplex*) dan 11,402 mg/L (*alternanthera philoxeroides*) selama 3 bulan. Penurunan kadar TDS pada penelitian terdahulu sejalan dengan penelitian ini, walaupun terdapat perbedaan waktu dan jenis tanaman yang digunakan selama penelitian.

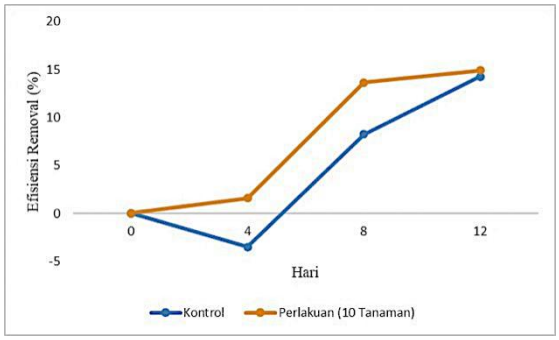
3.3.4. Pengukuran Fosfat (PO_4)

Analisa fosfat pada limbah merupakan proses mengidentifikasi kadar senyawa fosfat dalam sampel air limbah yang bertujuan untuk menentukan tingkat pencemarannya. Metode uji fosfat yang dilakukan yaitu dengan metode spektrofotometri *Hach* 8048. Proses sempling dilaksanakan pada hari ke-0,4,8 dan 12 dengan pengujian dilakukan secara duplo. Hasil pengujian Fosfat dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini



Gambar 7 Hasil Uji Kadar Fosfat

Hasil pengujian fosfat menunjukkan bahwa kedua reaktor, baik reaktor kontrol maupun reaktor dengan perlakuan, mampu menurunkan kadar fosfat. Pada hari ke-4, reaktor kontrol sempat mengalami kenaikan dari 5,097 mg/L menjadi 5,275 mg/L, sedangkan reaktor perlakuan turun sedikit menjadi 5,016 mg/L. Namun, pada hari ke-8 dan ke-12, kadar fosfat kembali menurun pada kedua reaktor. Nilai terendah diperoleh pada hari ke-12, yaitu 4,369 mg/L pada reaktor kontrol dan 4,337 mg/L pada reaktor perlakuan. Penurunan fosfat terutama terjadi karena adsorpsi media, presipitasi, dan aktivitas mikroba yang mengubah fosfat menjadi nutrisi. Kenaikan fosfat pada hari ke-4 kemungkinan disebabkan oleh desorpsi, dekomposisi organisme mati, serta populasi mikroba yang belum stabil. Hasil Uji Kadar Fosfat (Rani et al., 2024) . Pada hari ke-8 dan ke-12, tanaman genjer telah mencapai keseimbangan ekologi yang mendukung proses penurunan kadar fosfat. Tanaman yang telah beradaptasi selama tahap aklimatisasi berperan sebagai biofilter yang mampu menyerap fosfat selama proses fitoremediasi. Penurunan fosfat terjadi akibat tingginya konsumsi fosfat oleh mikroorganisme serta penyerapan ion fosfat oleh akar tanaman sebagai nutrisi. Selain itu, aktivitas mikroorganisme di zona perakaran (rizosfer) melalui proses rizodegradasi turut mendukung efektivitas penyerapan fosfat oleh tanaman (Giovani.,D, 2017)



Gambar 7 Efisiensi Removal TDS

Efisiensi penurunan TDS pada kedua reaktor menunjukkan hasil positif, dengan reaktor perlakuan mencapai nilai tertinggi 12,776%. Hal ini disebabkan oleh akar genjer yang lebat, yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme sehingga proses penguraian padatan organik (minyak dan lemak) serta padatan anorganik dari deterjen (surfaktan, builder, filler, dan aditif lainnya) berlangsung lebih efektif.

Penguraian tersebut membantu mengurangi jumlah padatan terlarut dan menurunkan kadar TDS (Kustiyaningsih et al., 2020). Penelitian (Nyieku et al., 2022), memiliki kadar fosfat awal rata-rata 31,73 mg/L dengan rentang nilai kadar fosfat 31,73-39,24 mg/L menghasilkan penurunan kadar fosfat pada kontrol (tanpa tanaman) sebesar 21,67 mg/L dan untuk jenis tanaman yang digunakan sebesar 17,65 mg/L (*typha latifolia*), 18,78 mg/L (*ruellia simplex*) dan 18,66 mg/L (*alternanthera philoxeroides*) selama 3 bulan. Penelitian Listiatie dkk (2024) mempunyai hasil awal kadar fosfat adalah 0,588 mg/L. Penurunan fosfat di kontrol (tanpa tanaman) adalah 0,532 mg/L serta untuk jenis tanaman eceng gondok tertinggi sebesar 0,127 mg/L pengujian selama 15 hari. Penyisihan penurunan kadar fosfat pada penelitian terdahulu lebih besar dibandingkan penelitian disebabkan oleh terdapatnya perbedaan waktu dan jenis tanaman yang digunakan selama penelitian.

3.3.5. Analisis Hubungan Waktu Tinggal terhadap Penurunan Kadar COD, TDS, Fosfat

Uji korelasi pearson adalah mengukur hubungan antara dua variabel penelitian. Adapun pengujian *pearson* merupakan untuk memperlihatkan keterkaitan waktu tinggal terhadap kadar COD. Berdasarkan Hasil uji korelasi antara waktu tinggal dan kadar COD menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 (< 0,05), yang menandakan adanya hubungan antara waktu tinggal dan kadar COD. Nilai koefisien korelasi sebesar -0,811 menunjukkan tingkat hubungan yang kuat dengan arah hubungan negatif. Hal ini berarti semakin lama waktu tinggal, maka kadar COD semakin menurun. Penurunan tersebut terjadi karena waktu tinggal yang lebih lama meningkatkan proses adsorpsi, presipitasi, serta aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam mereduksi polutan secara lebih optimal (Adifa., F. et al, 2024).

Adapun hasil uji *pearson* hubungan antara waktu tinggal terhadap kadar TDS didapatkan, hasil uji korelasi menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 (< 0,05), yang menandakan adanya hubungan antara waktu tinggal dan kadar TDS. Nilai koefisien korelasi sebesar -0,920 menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat dengan arah hubungan negatif. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama waktu tinggal, maka kadar TDS semakin menurun. Penurunan TDS terjadi melalui beberapa mekanisme, antara lain sedimentasi, filtrasi oleh media seperti pasir dan kerikil, serta penyerapan ion terlarut oleh sistem perakaran tanaman. Semakin lama air limbah berada dalam sistem *constructed wetland*, semakin besar peluang terjadinya pengendapan partikel tersuspensi dan penyerapan ion terlarut oleh tanaman, sehingga efisiensi penurunan TDS meningkat (Rahmadyanti et al., 2020).

Hasil pengujian kolerasi antara waktu tinggal dan kadar fosfat menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 (< 0,05), yang menandakan adanya hubungan antara waktu tinggal dan kadar fosfat. Nilai koefisien korelasi sebesar -0,866 menunjukkan tingkat hubungan yang kuat dengan arah hubungan negatif. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama waktu tinggal, maka kadar fosfat semakin menurun. Waktu tinggal merupakan faktor penting dalam sistem *constructed wetland* karena memengaruhi efisiensi penurunan polutan. Semakin lama air limbah berada dalam sistem, semakin optimal proses adsorpsi, presipitasi, serta aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam mereduksi fosfat, sehingga tingkat penurunan polutan menjadi lebih tinggi (*Adifa., F. et al, 2024*)

4. KESIMPULAN

a. Penurunan kadar bahan pencemar dalam limbah laundry terbaik pada hari ke-12, dimana reaktor perlakuan menggunakan tanaman genjer, menunjukkan penurunan kadar COD dari 300,444 mg/L menjadi 35,611 mg/L dengan total penurunan sebesar 264,833 mg/L. Selain itu, kadar TDS menurun dari 380 mg/L menjadi 331,45 mg/L dengan total penurunan sebesar 48,55 mg/L. Sedangkan kadar fosfat juga berkurang dari 5,097 mg/L menjadi 4,337 mg/L dengan total penurunan sebesar 0,76 mg/L.
b. Hasil analisis statistik menunjukkan adanya hubungan antara variasi waktu tinggal dengan penurunan kadar COD, TDS dan fosfat pada limbah laundry. Hubungan tersebut berbanding terbalik antara waktu tinggal terhadap kadar COD dan fosfat dengan tingkat hubungan kuat serta kadar TDS dengan tingkat hubungan sangat kuat. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama waktu tinggal maka semakin rendah kadar COD, TDS dan fosfat.

5. SARAN

Penelitian lebih lanjut dapat melakukan analisis mekanisme penurunan kadar pencemar oleh tanaman genjer seperti pengujian mikroskopis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati

struktur pori-pori, morfologi permukaan akar dan hubungan struktur tersebut dalam penyerapan zat pencemar.

DAFTAR PUSTAKA

Al Kholif, M., Sutrisno, J., & Sulistyo Dewi, W. (n.d.). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Tanam pada Constructed Wetland untuk Mengolah Air Limbah Industri Tahu*. Retrieved from http://jurnalsaintek.uinsby.ac.id/index.php/alard/index

Cai, Q., Zeng, J., Lin, X., Xia, D., Yu, W., Qiu, J., Yang, M., & Wang, X. (2023). Study on the Effect of AO-Coupled Constructed Wetlands on Conventional and Trace Organic Pollutant Treatment. *ACS Omega*, *8*(42), 38983–38990. doi: 10.1021/acsomega.3c03461

Fitoremediator, S., Air, K., Wulandari, V. F., Dwi Prasetyo, H., Latuconsina, H., Biologi, D., Matematika, F., Ilmu, D., Alam, P., & Malang, I. (n.d.). *Efektivitas dan Efiseiensi Tanaman Genjer (Limnocharis flava) dan Teratai (Nymphaea alba)*.

Fitrianingsih, G., Adzillah, W. N., & Ratnawati, K. (2025). *Evaluasi Efisiensi Adsorpsi Chemical Oxygen Demand dan Fosfat Pada Limbah Laundry Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa*. Retrieved from https://journal.unhas.ac.id/index.php/jai2

Kemenkes Makassar, P. (2018). *PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DENGAN ELEKTROKOAGULASI DALAM MENURUNKAN KADAR FOSFAT(PO 4) PADA LIMBAH LAUNDRY Juherah 1 dan Muhammad Ansar 2 1.2* (Vol. 18, Issue 2).

Kustiyaningsih, E., & Irawanto, R. (2020). PENGUKURAN TOTAL DISSOLVED SOLID (TDS) DALAM FITOREMEDIASI DETERJEN DENGAN TUMBUHAN Sagittaria lancifolia. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, *7*(1), 143–148. doi: 10.21776/ub.jtsl.2020.007.1.18

Lyu, T., Headley, T., Kadlec, R. H., Jefferson, B., & Dotro, G. (2024). Phosphorus removal in surface flow treatment wetlands for domestic wastewater treatment: Global experiences, opportunities, and challenges. *Journal of Environmental Management*, *369*. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122392

Nagy, B., Silaghi-Dumitrescu, L., & Majdik, C. (n.d.). *Crystal violet dye biosorption and phytoextraction using living salvinia natans and salvinia natans powder: A comparative study*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/289994105

Nai, A., Rambe, F., Universitas, K., Medan, N., William, J., Ps, I. V, Baru, K., Percut, K., Tuan, S., Serdang, D., Utara, S., Jurnal, B., & Biologi, P. (2024). *Efektivitas Tanaman Genjer (Limnocharis flava) Sebagai Agen Fitoremediasi Penyerapan Fosfat Pada Air Limbah Laundry Di Kota Medan*. Retrieved from https://e-journal.my.id/biogenerasi

Novembrianto, R., Qotrunada, S., Nisa', Z., Rhomadhoni, M. N., Studi, P., Lingkungan, T., Teknik, F., Pembangunan, U., Veteran, N. ", Timur, J., Surabaya, I., Keselamatan, D., Kerja, K., & Kesehatan, F. (n.d.). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Penurunan Fosfat dan Kimia Organik dengan menggunakan Modifikasi Parit Oksidasi secara Paralel*. Retrieved from http://jurnalsaintek.uinsa.ac.id/index.php/alard/index

Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, *9*(1), 53–65. doi: 10.36084/jpt..v9i1.312

Paulina, M., Faradika, M., Kehutanan, J., Pertanian, F., Bengkulu, U., Supratman, J. W. R., & Limun, K. (2024). FITOREMEDIASI DENGAN BERBAGAI JENIS TUMBUHAN : REVIEW Phytoremediation with Various Types of Plants : Review. *Journal of Global Forest and Environmental Science*, *4*(1).

Phi ; Ashari, J., Nikho, T. M., & Darnas, M. A. (2020). Perbandingan Efektivitas Tanaman Lembang (Thypa angustifolia) dan Tanaman Iris (Iris pseuadacorus) pada Constructed Wetland terhadap Limbah Cair Industri Tahu. In Perbandingan Efektivitas Tanaman (Vol. 6, Issue 2).

Prihatin, S., & Sugiharto, A. (2021). Pengaruh Variasi Dosis Kapur Terhadap Penurunan Kadar COD dan Fosfat Pada Limbah Usaha Laundry. *Chem. Anal*, *04*(02), 58–63. doi: 10.20885/ijca.vol4.iss2.art2

Rahmadyanti, E., & Audina, O. (2020). The performance of hybrid constructed wetland system for treating the batik wastewater. *Journal of Ecological Engineering*, *21*(3), 94–103. doi: 10.12911/22998993/118292

Rahmayanti, S., & Mujiburohman, M. (n.d.). *Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Jarak Elektroda Elektrokoagulasi Terhadap Penurunan Kadar TSS dan COD pada Limbah Cair Laundry*.

Rani, A., Chauhan, M., Kumar Sharma, P., Kumari, M., Mitra, D., & Joshi, S. (2024). Microbiological dimensions and functions in constructed wetlands: A review. In Current Research in Microbial Sciences (Vol. 7). Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.crmicr.2024.100311

Risky Ramadhanta, F., Wahyu Ningsih, E., Salsabila, W., Nugraha, D., Abi Aufa, I., Mikhdan Prandika, R., Syafrizal, F., Anjelika, Y., & Julian Santosa, F. (n.d.). *Analisis Efektivitas Ekstrak Teki dalam Sabun Cair Laundry untuk Mengurangi Dampak Lingkungan*.

Sains dan Teknologi Lingkungan, J., Al Kholif, M., & Diah Indah Pratiwi, W. (n.d.). *PENURUNAN KADAR CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) DAN FOSFAT PADA LIMBAH LAUNDRY DENGAN METODE ADSORPSI*.

Sains dan Teknologi Lingkungan, J., Ari Fitria, K., Nurhayati, I., Sutrisno, J., & Buana Surabaya, A. (n.d.). *Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Fosfat (PO4-P) Limbah Laundry Menggunakan EM4 dan Mikroalga Spirulina sp*.

Setiawan, A., Mahfudz, L. I. L., Ramadani, T. A., Muthi'ah, S., Nizam, M. A., & Dermawan, D. (2022). Efektifitas Penyisihan Fosfat Pada Air Limbah Menggunakan Metode Kombinasi Elektrokoagulasi dan Fotokatalis Dengan Kaolin-TiO2. *METANA*, *18*(2), 105–113. doi: 10.14710/metana.v18i2.49639

Studi Biologi, P., Sains dan Teknologi Terapan, F., & Ahmad Dahlan, U. (2024). *Fitoremediasi Air Limbah Laundry Menggunakan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) untuk Meningkatkan Kualitas Air Phytoremediation of Laundry Wastewater Using Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) For Improving Water Quality Listiatie Budi Utami*, Telly Indi Cahyaning Puteri*. *21*(1).

Wimbaningrum, R., Arianti, I., Sulistiyowati, H., Biologi, J., Matematika, F., & Pengetahuan, I. (n.d.). *Efektivitas Tanaman Lembang (Typha angustifolia L.) di Lahan Basah Buatan Dalam Penurunan Kadar TSS, BOD dan Fosfat Pada Air Limbah Industri Laundry*.

Xiong, W., Sun, H., Shao, H., Li, J., Tang, W., Wang, H., Wang, Q., Li, Y., & Bowler, P. A. (2023). Yellow bur-head, Limnocharis flava (L.) Buchenau (Alismataceae), in China: a popular ornamental aquatic plant and a potential invasive species. *BioInvasions Records*, *12*(2), 469–476. doi: 10.3391/bir.2023.12.2.11

Zhang, J., Shao, Y., Liu, G., Qi, L., Wang, H., Xu, X., & Liu, S. (2021). Wastewater COD characterization: RBCOD and SBCOD characterization analysis methods. *Scientific Reports*, *11*(1). doi: 10.1038/s41598-020-80700-8

Zhang, P., Chen, Y., Zhang, Y., Xiang, J., Wang, Y., Wang, Z., Chen, H., & Zhang, Y. (2023). Chloroplast Damage and Photosynthetic System Disorder Induced Chlorosis in the Leaves of Rice Seedlings under Excessive Biuret. *Agronomy*, *13*(8). doi: 10.3390/agronomy13082052