

Reduksi Nitrogen dan Fosfor dari Air Limbah Budidaya Perikanan menggunakan *Free-Water Surface Constructed Wetlands* dengan *Lemna minor*

Umami Afifatul Mufida¹, Ridwan Muhamad Rifai², Ichsan Achmad Fauzi³, Nina Rachminiwati⁴, dan Anie Yulistyorini^{2*}

¹Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia

²Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia; e-mail: anie.yulistyorini.ft@um.ac.id

³Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University, Bogor, Indonesia

⁴PT Inovasi Akuakultur Muda, Bandung, Indonesia

ABSTRAK

Semakin banyaknya pembangunan di Indonesia termasuk fasilitas industri perikanan memberikan dampak pada kondisi lingkungan. Fasilitas industri perikanan di Kota Malang saat ini belum memiliki sistem pengolahan air limbah. Faktanya air limbah budidaya ikan yang dihasilkan dapat mencemari air permukaan. Polutan (Nitrogen dan Fosfor) yang terdapat pada air limbah budidaya ikan baik hasil dari sisa metabolisme maupun sisa pakan ikan dapat menyebabkan eutrofikasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa reduksi konsentrasi polutan (Nitrogen dan Fosfor) pada air limbah budidaya perikanan dengan menggunakan tanaman air *Lemna minor* menggunakan sistem *Free-Water Surface Flow Constructed Wetlands* (FWS CW). FWS CW yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai dimensi tinggi 0,4 m, panjang 2 m dan lebar 1 m. Debit air limbah budidaya ikan yang dialirkan menggunakan dua macam *Hydraulic Retention Time* (HRT), yaitu 14 jam dan 7 jam. FWS CW dengan HRT 14 jam dengan debit *inlet* 15,14 mL/s dapat menurunkan konsentrasi amonium, nitrat dan fosfat dengan tingkat efisiensi 50,09%; 28,11%; dan 72,37%. Sedangkan FWS CW dengan HRT 7 jam dan debit *inlet* 30,28 mL/s dapat menurunkan konsentrasi amonium, nitrat dan fosfat dengan tingkat efisiensi 38,93%; 23,91%; dan 88,28%. Dapat disimpulkan bahwa FWS CW dengan HRT 14 jam lebih efisien untuk mereduksi nitrogen, sedangkan FWS CW dengan HRT 7 jam lebih efisien untuk mereduksi fosfor.

Kata kunci: air limbah budidaya ikan, *free-water surface CW*, *Lemna minor*, nitrogen, fosfor

ABSTRACT

The increasing number of fishery facilities in Indonesia has an impact on the environmental conditions. Currently, the fishery industry in Malang City lacks a wastewater treatment facility. The wastewater produced from fish farming can pollute surface water. Pollutants (Nitrogen and Phosphorus) contained in fish farming wastewater, both from metabolic and fish feed waste, can cause eutrophication. This research aims to analyse the removal of nutrient from fish farming using the water plant of *Lemna minor*, which was planted on the *Free-Water Surface Constructed Wetlands* (FWS CW). The dimensions of the FWS CW were 0,4 m high, 2 m long and 1 m wide. The wastewater flowed in two hydraulic retention times (HRT) of 14 hours and 7 hours. FWS CW with HRT of 14 hours and influent of 15,14 mL/s showed removal efficiency of ammonium, nitrate and phosphate at 50,09%, 28,11%, and 72,37%, respectively. Whilst, FWS CW with HRT 7 hours and influence of 30,28 mL/s the removal efficiencies were 38,93%, 23,91%, and 88,28%, respectively. It can be concluded that FWS CW with HRT 14 hours is more efficient for reducing nitrogen, while FWS CW with HRT 7 hours is more efficient for reducing phosphorus

Keywords: fish farm wastewater, *free-water surface CW*, *Lemna minor*, nitrogen, phosphorus

Citation: Mufida. U. A., Rifai. R. M., Fauzi, I. A., Rachminiwati, N., dan Yulistyorini. A. (2025). Reduksi Nitrogen dan Fosfor dari Air Limbah Budidaya Perikanan menggunakan *Free-Water Surface Constructed Wetlands* dengan *Lemna minor*. Jurnal Ilmu Lingkungan. 23(4), 907-914, doi:10.14710/jil.23.4.907-914

1. PENDAHULUAN

Semakin banyaknya pembangunan fasilitas di Indonesia selaras dengan meningkatnya dampak lingkungan yang ditimbulkan. Baik fasilitas industri

perikanan maupun fasilitas pembenihan ikan di Kota Malang saat ini belum memiliki sistem pengolahan air limbah. Sedangkan air limbah budidaya ikan dapat menimbulkan dampak eutrofikasi akibat sisa

metabolisme ikan atau sisa pakan ikan (Israwahyudi dan Hasrun 2023). Eutrofikasi yang meningkatkan konsentrasi polutan di air dapat menyebabkan *blooming* alga, penurunan *Dissolved Oxygen* (DO), peningkatan kekeruhan air, bau tidak sedap, bahkan hingga mengganggu kesehatan masyarakat sekitar (Riza dkk. 2023). Dampak tersebut menunjukkan pentingnya penelitian mengenai pengolahan air limbah budidaya ikan di Kota Malang.

Pengolahan biologis sebelumnya pernah dilakukan dengan beberapa metode seperti *activated sludge* (Anggraeni dkk. 2014), *aerated lagoon/stabilization pond* (Putra 2017), *trickling filter* (Anggraeny dkk. 2014), dan *constructed wetlands* (Kurnia dan Purwanti, 2023). Dibutuhkan sistem pengolahan yang sederhana, murah, mudah dibangun dan dipelihara seperti *Constructed Wetlands* (CW) (Meutia, 2017) sehingga kedepannya dapat dioperasikan oleh semua kalangan. Salah satu faktor penyebab CW merupakan opsi sistem pengolahan yang sederhana, murah dan mudah adalah karena media tanam yang digunakan. Sehingga akan lebih menguntungkan jika digunakan sistem *Free-Water Surface Constructed Wetlands* (FWS CW) yang tidak memerlukan media tanam untuk tanaman air seperti agregat dan pasir. Juga diperlukan fitoremediator berupa tanaman endemik yang banyak tersedia di alam seperti *Lemna minor*. *Lemna minor* merupakan tanaman yang tumbuh di sebagian besar wilayah Asia, Afrika, Eropa dan Amerika Utara (Prihantoro dkk. 2015). *Lemna minor* merupakan tanaman air yang memiliki akar sepanjang 1-2 cm dan daun berbentuk oval dengan panjang 1-8 mm dan lebar 0,6-5 mm. *Lemna minor* dapat tumbuh dengan baik pada pH antara 6,5 hingga 8 dan suhu antara 6°C hingga 33 °C (Prihantoro dkk. 2015).

Sistem kombinasi CW yang juga menggunakan FWS CW dan *Lemna minor* dapat mereduksi air limbah dengan kadar total nitrogen dan total fosfor sekitar 10-73% dan 10-40% (Meutia, 2017). Sedangkan berdasarkan uji statis *Lemna minor* dapat mereduksi total amonia nitrogen (TAN) dan total fosfor (TP) sebesar 43,7% dan 52,38% (Sarkheil dan Safari 2020). Berdasarkan hasil studi literatur belum terdapat kajian spesifik mengenai efisiensi reduksi polutan (nitrogen dan fosfor) oleh *Lemna minor* dengan sistem FWS CW tanpa kombinasi dengan sistem lain. Dengan adanya penelitian ini akan diketahui rancangan sistem FWS CW menggunakan *Lemna minor* yang dapat digunakan untuk mereduksi nitrogen dan fosfor pada air limbah budidaya ikan.

Dengan tidak adanya sistem pengolahan air limbah yang digunakan di fasilitas industri perikanan di Kota Malang dapat memberikan resiko eutrofikasi pada lingkungan sekitar. Dengan adanya resiko tersebut perlu adanya penelitian yang dapat mengolah air limbah budidaya ikan yang dihasilkan. Sehingga dapat mencegah dampak eutrofikasi yang terjadi di lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem FWS CW menggunakan *Lemna minor* yang dapat digunakan untuk mereduksi polutan (nitrogen

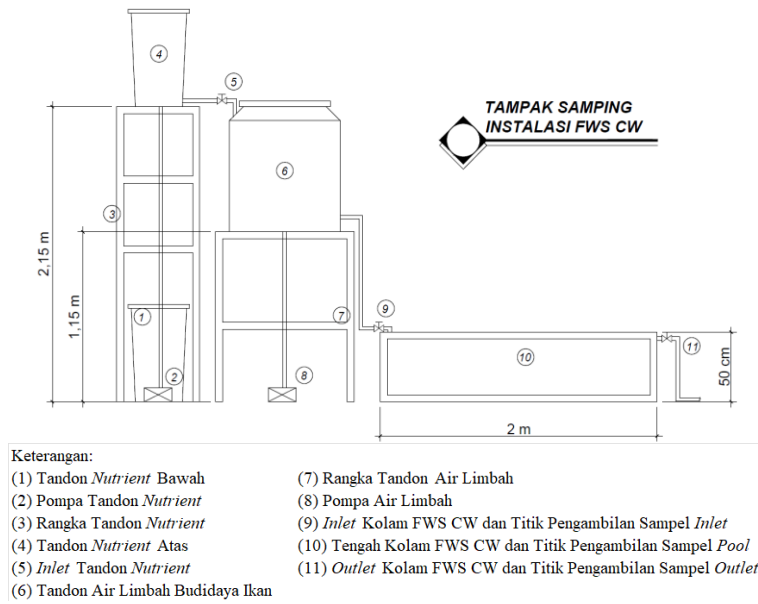
dan fosfor) serta mengetahui pengaruhnya pada parameter fisik pada air limbah budidaya ikan yang terdapat di Kota Malang. Melalui penelitian eksperimental menggunakan *prototype* yang dibuat akan menganalisis efisiensi reduksi *Lemna minor* pada polutan nitrogen dan fosfor serta pengaruhnya terhadap parameter fisik. Melalui hasil yang didapatkan pada penelitian ini dapat diterapkan di lokasi industri perikanan Kota Malang sehingga dampak eutrofikasi dapat dicegah.

2. METODE PENELITIAN

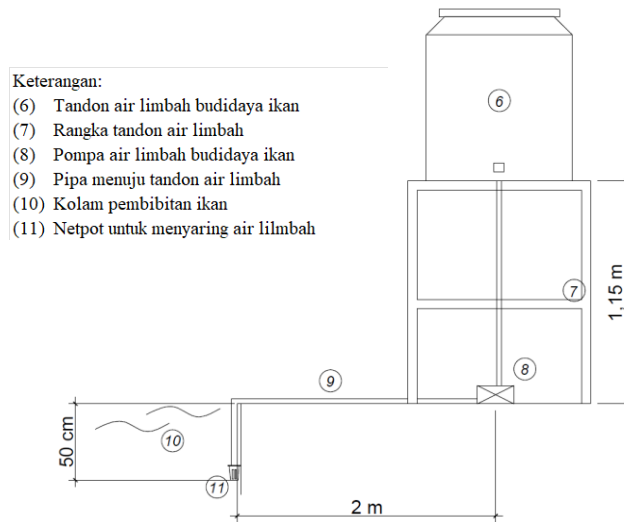
Penelitian ini menerapkan metode eksperimental berskala laboratorium. Penelitian ini dilakukan menggunakan tahapan yang terdapat pada Gambar 1, sedangkan perancangan sistem kolam FWS CW dan tandon nutrisi dilakukan berdasarkan tahapan pada Gambar 2. Eksperimen pengolahan air limbah dilakukan selama 5 bulan di Balai Benih Ikan (BBI) Tlogowaru Kecamatan Kedungkandang Kota Malang dan menggunakan *prototype* yang telah dibuat. *Prototype* akan memanfaatkan gravitasi sehingga tidak memerlukan terlalu banyak pompa. Air nutrisi akan bercampur dengan air limbah pembenihan di tandon air limbah, kemudian mengalir ke kolam FWS CW yang berisi *Lemna minor*. Digunakan dua perlakuan HRT (HRT sesuai perancangan dan setengah dari HRT yang dirancang). HRT yang digunakan akan menggunakan satuan jam. Sampel akan diambil di tiga titik yaitu *inlet*, tengah kolam (*pool*) dan *outlet*. Sampel akan diambil satu minggu satu kali dengan total 6 minggu untuk masing-masing HRT. Pengujian parameter fisik menggunakan alat portable dan pengujian parameter kimia menggunakan metode spektrofotometri (American Public Health Association, 2017).

Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan Microsoft Excel untuk selanjutnya dilakukan uji *One Way ANOVA* dengan nilai α adalah 5% dan *Tukey HSD*. Selain mengetahui apakah proses FWS CW berhasil, dilakukan uji *One Way ANOVA* untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan pada masing-masing parameter, kemudian uji *Tukey HSD* diperlukan untuk mengetahui sample mana yang memiliki perbedaan signifikan. Hasil reduksi nitrogen dan fosfor akan dibandingkan dengan standar baku mutu mutu yang berlaku (kelas 2/3) untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, pengairan tanaman dan lain-lain (PP Nomor 22 Tahun 2021).

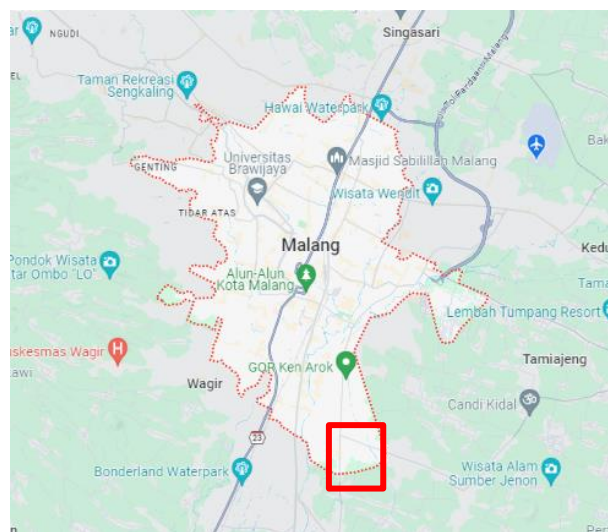
Berdasarkan studi literatur dan karakterisasi air limbah diperoleh hasil perancangan yaitu lebar kolam adalah 1 m, panjang kolam adalah 2 m, tinggi air kolam adalah 40 cm, dan tinggi kolam diatas permukaan air adalah 10 cm, sehingga total tinggi kolam FWS CW adalah 50 cm. Ketinggian kolam disesuaikan dengan kebutuhan tanaman yang tidak memerlukan kolam terlalu dalam, karena CW memanfaatkan kolam dangkal (<1 m) sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman (Kumari dan Tripathi, 2014). Sedangkan lebar dan panjang kolam dapat



Gambar 4. Tampak Samping Rancangan Sistem FWS CW



Gambar 5. Detail Sistem Tandon Air Limbah



Gambar 6. Lokasi Balai Benih Ikan Tlogowaru ditinjau dari Peta Kota Malang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis air limbah diketahui bahwa konsentrasi amonium air limbah budidaya ikan dan air limbah pembenihan secara berturut-turut adalah 0,881 mg/L dan 0,004 mg/L. Kemudian untuk konsentrasi fosfat air limbah budidaya ikan dan air limbah pembenihan secara berturut-turut adalah 0,216 mg/L dan 0,116 mg/L. Juga diketahui *Rate* tumbuh *Lemna minor* adalah 66,12 mg NH_4^+ /g *dry Lemna*, *rate* konsumsi NH_4^+ adalah 4,49 mg NH_4^+ /L.d, dan kepadatan *Lemna* adalah 16,611 g *dry Lemna*/m² (Rifai dkk. 2024).

Berdasarkan eksperimen pengolahan air limbah yang dilakukan selama 12 minggu diperoleh rata-rata suhu dari seluruh data yang dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan data yang dihasilkan menunjukkan adanya penurunan suhu dari *inlet* ke *outlet* di kedua perlakuan HRT. Turunnya suhu disebabkan karena bertambahnya oksigen yang dihasilkan melalui proses fotosintesis *Lemna minor* (Saha dkk. 2015).

Selanjutnya pada analisis *One Way ANOVA* pada HRT 14 jam tidak menunjukkan adanya perbedaan signifikan karena *p-value* yaitu 0,5 lebih besar dari α . Sehingga penurunan suhu pada HRT 14 jam merupakan penurunan yang tidak signifikan sehingga tidak perlu dilakukan uji *Tukey HSD*. Setelah proses FWS CW diketahui air limbah mengalami penurunan suhu sebagaimana seharusnya karena ada proses fotosintesis, namun penurunan suhu dinilai tidak signifikan pada setiap titik atau sampel (*inlet-pool-outlet*) jika menggunakan α sebesar 5%.

Kemudian analisis dilakukan pada hasil pengujian dengan HRT 7 jam. Berdasarkan uji *One Way ANOVA* menunjukkan nilai *p-value* adalah 0,0004 yang berarti adanya perbedaan signifikan. Karena adanya perbedaan signifikan sehingga perlu dilakukan uji *Tukey HSD* untuk mengetahui perbandingan sampel yang memiliki perbedaan signifikan. Melalui uji *Tukey HSD* diketahui bahwa pada HRT 7 jam menunjukkan adanya penurunan suhu secara signifikan pada *pool* dari *inlet* dan *outlet* dari *inlet*. Pada perlakuan dengan HRT 7 hari diketahui bahwa terjadi penurunan yang cukup signifikan jika sampel pada *outlet* dibandingkan dengan sampel pada *inlet*, serta diketahui hasil yang diperoleh masih memenuhi baku mutu dan syarat yang diungkapkan oleh penelitian sebelumnya.

Hasil yang diperoleh masih terdapat dalam kadar aman untuk proses nitrifikasi karena bakteri nitrifikasi akan bekerja efektif hanya pada suhu 8–30°C (Said & Sya'bani, 2014). Suhu air juga dapat dikatakan masih layak untuk pertumbuhan *Lemna minor* ketika berada pada suhu 27±8°C, karena suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mempengaruhi laju pertumbuhan (Naillah dkk. 2021) sehingga akan berdampak pada kualitas reduksi polutan.

Eksperimen menggunakan FWS CW menunjukkan adanya kenaikan pH dari *inlet* ke *outlet* dilihat berdasarkan nilai rata-rata yang dihasilkan dan dapat dilihat pada Tabel 2. Meningkatnya kadar O₂ dalam air

akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk respirasi dan menghasilkan CO₂. CO₂ terlarut akan mengalami keseimbangan yang menghasilkan ion OH⁻ dan menyebabkan meningkatnya nilai pH (Siregar dan Lestari 2024).

Tabel 1. Rangkuman Hasil Pengukuran Suhu

Tabel 2. Rangkuman Hasil Pengukuran Suhu							
Sampel	Rata-rata						Satuan
	HRT 14 jam			HRT 7 jam			
<i>Inlet</i>	27,15	±	0,80	27,11	±	0,39	°C
<i>Pool</i>	26,71	±	0,73	26,22	±	0,23	°C
<i>Outlet</i>	26,73	±	0,62	26,44	±	0,27	°C

Percobaan menggunakan HRT 14 jam menggunakan uji *One Way ANOVA* menghasilkan *p-value* < α , yaitu 0,02 sehingga dapat diartikan adanya perbedaan signifikan. Kemudian menggunakan uji *Tukey HSD* diketahui bahwa perbedaan signifikan terdapat pada *inlet-outlet* dan *pool-outlet*. Proses FWS CW menggunakan HRT 14 jam menunjukkan dampak kenaikan pH yang cukup signifikan pada titik *outlet* jika dilakukan analisis menggunakan α sebesar 5%, namun kenaikan ini dinilai masih aman jika dibandingkan dengan baku mutu dan pendapat dari penelitian sebelumnya.

Sedangkan pada percobaan HRT 7 jam menghasilkan *p-value* 0,0004 yang juga < α sehingga kenaikan pH juga dinilai signifikan. Melalui uji *Tukey HSD* diketahui bahwa kenaikan signifikan adalah antara *inlet-pool* dan *inlet-outlet*. Proses FWS CW menggunakan HRT 7 jam menunjukkan juga adanya kenaikan pH yang signifikan pada setiap titik pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa sistem FWS CW yang dibuat dapat memberikan dampak yang signifikan jika dilihat dari parameter pH pada kedua perlakuan HRT.

Kedua perlakuan HRT menunjukkan adanya kenaikan pH yang signifikan. Kenaikan pH dapat terjadi karena pengendapan detritus pada kolam FWS CW (Zahra et al., 2017). Hasil yang diperoleh dinilai masih berada dalam kadar aman jika berkisar antara 6,5 hingga 9,5 untuk air bersih, air budidaya ikan, dan air ternak (Pamungkas, 2021). Sedangkan berdasarkan PP No.22 Tahun 2022, pH yang diizinkan berkisar antara 6.0 – 9.0. Pada proses nitrifikasi, nitrobacter membutuhkan pH sedikit basa yakni < 8.5 (Wahyuningsih & Gitarama, 2020).

Tabel 2. Rangkuman Hasil Pengukuran pH

Sampel	Rata-rata					
	HRT 14 jam			HRT 7 jam		
<i>Inlet</i>	5,81	±	1,5	4,66	±	1,1
<i>Pool</i>	5,03	±	1,31	4,26	±	1,3
<i>Outlet</i>	6,38	±	1	5,19	±	1,6

Berdasarkan data menunjukkan adanya kenaikan DO dari *inlet* ke *outlet* di kedua perlakuan HRT, dapat dilihat melalui nilai rata-rata pada Tabel 3. Kenaikan DO disebabkan karena polutan (nitrogen dan fosfor) yang terdapat pada air limbah diserap oleh *Lemna minor* untuk dijadikan nutrisi melalui proses fotosintesis. Proses fotosintesis yang terjadi dapat

menghasilkan oksigen (O_2). Oksigen akan dilepaskan ke air dan dapat menyebabkan kenaikan DO pada air (Saha dkk. 2015).

Analisis *One Way* ANOVA menunjukkan data yang dihasilkan pada kedua percobaan HRT menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan di tiap titik sampel pengujian karena *p-value* yang dihasilkan HRT 14 jam dan HRT 7 jam adalah 0,22 dan 0,50. Kedua *p-value* menunjukkan lebih dari nilai α (5%) yang ditentukan. Sehingga kenaikan DO yang terjadi bukanlah kenaikan yang signifikan.

Hasil pengolahan air limbah menggunakan sistem FWS CW menunjukkan nilai yang aman pada parameter DO. Karena proses nitrifikasi akan berjalan dengan baik jika konsentrasi DO minimum >2 mg/L (Said & Sya'bani, 2014). Menurut Wahyuningsih & Gitarama (2020) DO harus dipertahankan diatas 5 mg/L untuk proses oksidasi amonium menjadi bentuk lain, dan pada konsentrasi DO dibawah 2 mg/L bakteri nitrifikasi menjadi tidak efisien. Sedangkan DO yang disyaratkan oleh PP No. 22 Tahun 2021 adalah >4 mg/L.

Tabel 3. Rangkuman Hasil Pengukuran DO

Sampel	Rata-rata						Satuan
	HRT 14 jam			HRT 7 jam			
<i>Inlet</i>	5,81	±	1,5	4,66	±	1,1	mg/L
<i>Pool</i>	5,03	±	1,31	4,26	±	1,3	mg/L
<i>Outlet</i>	6,38	±	1	5,19	±	1,6	mg/L

Pada parameter amonium (NH_4^+) berdasarkan data rata-rata pada Tabel 4 menunjukkan adanya penurunan dari *inlet* ke *outlet* di kedua perlakuan HRT. Amonium (NH_4^+) merupakan bentuk ion amonia yang terlarut dalam air dan merupakan konstituen nitrogen. amonium dalam air dapat berasal dari aktivitas mikroba yang menguraikan bahan organik di dalam air (Graha dan Karnaningroem, 2018). Sedangkan penurunan konsentrasi nitrogen disebabkan proses fotosintesis oleh *Lemna minor*.

Berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 disyaratkan bahwa untuk budidaya ikan air tawar hingga penggunaan kegiatan pertanian seperti pengairan tanaman memerlukan konsentrasi amonium $<0,5$ mg/L. *Inlet* yang sebelumnya mencapai konsentrasi amonium hingga $0,60 \pm 1,03$ mg/L dapat direduksi hingga $0,30 \pm 0,45$ mg/L pada HRT 14 jam dan pada HRT 7 jam diperoleh penurunan dari $0,57 \pm 0,4$ mg/L menjadi $0,35 \pm 0,35$ mg/L. Hasil yang ditunjukkan pada outlet telah memenuhi standar baku mutu berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021. Reduksi yang terjadi pada percobaan menggunakan HRT 14 jam memiliki tingkat efisiensi sebesar 50,1% sedangkan pada HRT 7 jam memiliki tingkat efisiensi sebesar 38,93%. Dalam hal reduksi amonium, HRT 14 jam bekerja lebih efisien.

Sedangkan pada analisis menggunakan uji *One way* ANOVA menunjukkan *p-value* pada percobaan dengan HRT 14 jam dan HRT 7 jam adalah 0,54 dan 0,55. *P-value* pada kedua perlakuan lebih besar dari α yang ditentukan, sehingga penurunan yang terjadi pada

amonium merupakan penurunan yang tidak signifikan. Karena pada uji *One way* ANOVA tidak menunjukkan adanya perbedaan signifikan, maka tidak diperlukan analisis menggunakan *Tukey* HSD untuk mengetahui titik perbedaan signifikan. Walaupun tidak diperoleh hasil penurunan amonium yang signifikan pada tiap titik pengujian, sistem FWS CW mampu mereduksi amonium hingga konsentrasi yang disyaratkan oleh baku mutu, dan pada penelitian ini diketahui bahwa penggunaan HRT 14 jam dinilai lebih efisien untuk digunakan.

Tabel 4. Rangkuman Hasil Pengukuran Amonium

Sampel	Rata-rata						Satuan
	HRT 14 jam			HRT 7 jam			
<i>Inlet</i>	0,6	±	1,03	0,57	±	0,4	mg/L
<i>Pool</i>	0,19	±	0,12	0,37	±	0,3	mg/L
<i>Outlet</i>	0,3	±	0,45	0,35	±	0,4	mg/L

Tabel 5 menunjukkan adanya penurunan nitrat dari *inlet* ke *outlet* di kedua perlakuan HRT. Konsentrasi nitrat yang terdapat pada *outlet* percobaan dengan HRT 14 jam dan 7 jam adalah $1,5 \pm 0,36$ mg/L dan $1,36 \pm 0,54$ mg/L. Konsentrasi nitrat yang ditunjukkan pada *outlet* berada jauh dibawah kadar aman yang disyaratkan PP Nomor 22 Tahun 2021 yaitu 10 mg/L. Sedangkan tingkat efisiensi penurunan nitrat lebih tinggi ditunjukkan pada HRT 14 jam yaitu 28,11% dibandingkan dengan HRT 7 jam dengan Tingkat efisiensi adalah 23,91%. Meskipun tidak terlalu tinggi, hasil yang ditunjukkan oleh sampel *outlet* menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat masih pada konsentrasi yang aman.

Analisis *One Way* ANOVA yang dilakukan pada percobaan menggunakan HRT 14 jam menunjukkan *p-value* sebesar 0,03 yang artinya lebih kecil dari α yang ditentukan. Sehingga dapat diartikan bahwa penurunan yang terjadi adalah penurunan signifikan. Setelah diuji menggunakan *Tukey* HSD diketahui bahwa perbedaan signifikan terdapat pada titik *outlet* jika dibandingkan dengan titik *inlet*. Berbeda dengan perlakuan HRT 7 jam yang memiliki *p-value* sebesar 0,17 yaitu melebihi α . Sehingga penurunan yang terjadi merupakan penurunan tidak signifikan pada setiap titik pengujian, sehingga tidak diperlukan uji *Tukey* HSD. Dapat diartikan bahwa sistem FWS CW mampu mereduksi air limbah hingga memenuhi baku mutu baik pada perlakuan HRT 14 jam maupun 7 jam. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem ini lebih efisien jika menggunakan HRT 14 jam, dan reduksi nitrogen juga dinilai lebih signifikan pada HRT 14 jam.

Tabel 5. Rangkuman Hasil Pengukuran Nitrat

Sampel	Rata-Rata						Satuan
	HRT 14 jam			HRT 7 jam			
<i>Inlet</i>	2,09	±	0,33	1,79	±	0,2	mg/L
<i>Pool</i>	1,72	±	0,34	1,38	±	0,4	mg/L
<i>Outlet</i>	1,5	±	0,36	1,36	±	0,5	mg/L

Pada penelitian ini parameter fosfor yang diuji merupakan konstituen fosfor dalam bentuk fosfat.

Fosfat dapat terbentuk dari proses dekomposisi bahan organik oleh bakteri penguraian (Nandy 2020). Sedangkan adanya fosfat dalam air dapat mempengaruhi pertumbuhan plankton dan ikan, serta kinerja fotosintesis tanaman air (Paputungan dkk. 2022). Polutan seperti fosfat yang terdapat pada air limbah diserap oleh *Lemna minor* untuk dijadikan nutrisi melalui proses fotosintesis sehingga dapat mereduksi konsentrasi fosfat dalam air limbah.

Berdasarkan data menunjukkan adanya penurunan dari *inlet* ke *outlet* di kedua perlakuan HRT. Dengan Tingkat efisiensi penurunan fosfat pada perlakuan HRT 14 jam dan HRT 7 jam adalah 72,37% dan 88,28%. Berdasarkan Tingkat efisiensi diketahui bahwa perlakuan dengan HRT 7 jam lebih baik untuk menurunkan konsentrasi Fosfat dalam air. Ditinjau dari PP Nomor 22 Tahun 2021 mensyaratkan konsentrasi fosfat pada air kelas 2 atau digunakan untuk budidaya ikan air tawar, pengairan tanaman dan lain-lain adalah 0,2 mg/L. Sedangkan Hasil outlet pada sistem dengan perlakuan HRT 14 jam dan HRT 7 jam adalah 0,04±0,06 mg/L dan 0,01±0,02 mg/L, konsentrasi fosfat yang dihasilkan sudah memenuhi standar baku mutu yang disyaratkan.

Melalui analisis *One Way ANOVA* pada perlakuan HRT 14 jam diperoleh *p-value*<0,05 yaitu 0,02 yang berarti penurunan fosfat pada HRT 14 jam merupakan penurunan signifikan. Sedangkan melalui uji *Tukey HSD* menunjukkan penurunan signifikan terjadi pada titik *pool* dan titik *outlet* jika dibandingkan dengan titik *inlet*. Uji *One Way ANOVA* yang dilakukan pada perlakuan HRT 7 jam juga menunjukkan *p-value*<0,05 yaitu 0,00002, mengartikan bahwa penurunan yang terjadi merupakan penurunan signifikan dengan titik signifikan ada pada titik *outlet* jika dibandingkan dengan titik *inlet*. Sistem FWS CW menunjukkan hasil reduksi fosfat yang signifikan pada kedua perlakuan HRT, namun jika dibandingkan antara kedua HRT diketahui bahwa HRT 7 jam lebih efisien untuk sistem FWS CW mereduksi fosfat.

Tabel 6. Rangkuman Hasil Pengukuran Fosfat

Sampel	Rata-rata						Satuan
	HRT 14 jam			HRT 7 jam			
<i>Inlet</i>	0,14	±	0,06	0,1	±	0,03	mg/L
<i>Pool</i>	0,06	±	0,06	0,03	±	0,02	mg/L
<i>Outlet</i>	0,04	±	0,06	0,01	±	0,02	mg/L

4. KESIMPULAN

Sistem FWS CW yang dirancang mampu mereduksi polutan nitrogen dan fosfor yang ada pada air limbah budidaya ikan, sehingga dapat membantu mengurangi dampak eutrofikasi. Sistem FWS CW memberikan dampak pada parameter fisik berupa penurunan suhu, kenaikan pH dan kenaikan DO. Hal ini disebabkan adanya proses fotosintesis dan pengendapan detritus. Dampak sistem FWS CW juga dapat diketahui pada parameter kimia.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan menggunakan HRT 14 jam lebih efisien untuk digunakan dalam reduksi nitrogen (amonium dan

nitrat). Hal ini disebabkan karena perlakuan dengan HRT 14 jam membiarkan air berada dalam kolam lebih lama daripada perlakuan dengan HRT 7 jam. Semakin pendek HRT pada sistem pengolahan, maka semakin rendah pula kemampuan sistem dalam mereduksi nitrogen. Penyebabnya adalah semakin sedikitnya waktu kontak air limbah dengan mikroorganisme (nitrobacter) sehingga reduksi nitrogen pada air limbah menurun dan kurang optimal (Said & Sya'bani, 2014).

Berbeda dengan parameter nitrogen, reduksi pada parameter fosfor dinilai lebih efisien jika menggunakan HRT 7 jam. Karena reduksi polutan selain dilakukan oleh *Lemna* juga dilakukan dengan pengendapan (Meutia, 2017) dan pergantian air (Mutiah et al., 2022). Sehingga semakin sering air dalam kolam berganti (semakin kecil HRT) maka reduksi fosfor akan semakin cepat, namun endapan sedimen juga harus dikontrol dengan sering dibersihkan agar tidak terjadi difusi.

Sistem FWS CW yang diuji selama 12 minggu menggunakan parameter fisik dan kimia menunjukkan adanya dampak pada air limbah yang diolah. Menurunnya konsentrasi nitrogen (amonium dan nitrat), fosfor (fosfat) dan dampaknya pada parameter fisik menunjukkan hasil yang memenuhi baku mutu yang berlaku yaitu PP No. 22 Tahun 2021 dan syarat yang diungkapkan oleh peneliti terdahulu. Juga diperlukan perawatan berkala pada sistem sehingga tidak terjadi penurunan performa sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dana dari Skema Matching Fund Universitas Negeri Malang dengan nomor kontrak 5.4.779/UN32.20.1/LT/2023 sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association, American Water Works Association, dan Water Environment Federation. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (R. B. Baird, A. D. Eaton, & E. W. Rice, Eds.; 23rd ed.). 23 ed. disunting oleh R. B. Baird, A. D. Eaton, dan E. W. Rice. American Public Health Association.
- Anggraeni, D., Sutanahaji A.T., dan Rahadi J.B., 2014. "Pengaruh Volume Lumpur Aktif dengan Proses Kontak Stabilisasi pada Efektivitas Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Ikan the Effect of Activated Sludge Volumes with Contact Stabilization Process on Effectiveness of The Fish Processing Industry Wastew." *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 6-12.
- Anggraeny, R.D., Rinawati, D.I., dan Nugroho, S., 2014. "Pemilihan Teknologi Pengolahan Air Limbah Sebagai Media Budidaya Ikan Lele Dengan Pendekatan Analytical Network Process (ANP) Dan Topsis (Studi Kasus: UKM Sangkuriang Kota Demak)." *Industrial Engineering Online Journal* 3(1).
- Erlania, E., 2010. "Pengendalian Limbah Budidaya Perikanan Melalui Pemanfaatan Tumbuhan Air Dengan Sistem Constructed Wetland." *Media*

- Akuakultur* 5(2):129. doi: 10.15578/ma.5.2.2010.129-137.
- Graha, I., Satya, M., dan Karnaningroem, N., 2018. "Identifikasi Kualitas Air Kali Dami dengan Metode Qual2Kw." *Jurnal Teknik Pomits* 2(1):1-5.
- Ibrahim, B., Erungan, A.C., dan Sari, N.D., 2009. "Pengaruh Rasio Cod/No3 Pada Parameter Biokinetika Proses Denitrifikasi Limbah Cair Industri Perikanan Dengan Lumpur Aktif." *Akuatik-Jurnal Sumberdaya Perairan* 3(1):82-95.
- Israwahyudi, I., dan Hasrun, K.K., 2023. "(Total Concentrations of Amonia Nitrogen, Nitrite, Nitrate and Phosphor in the Waters of Awerange Bay Soppeng Riaja District, Barru District)." *Jurnal Sains dan Teknologi Perikanan* 3:125-38.
- Kumari, M., dan Tripathi, B.D., 2014. "Effect of aeration and mixed culture of Eichhornia crassipes and Salvinia natans on removal of wastewater pollutants." *Ecological Engineering* 62(3):48-53. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.10.007.
- Kurnia, S.M., dan Purwanti, I.F., 2023. "Pengolahan Air Limbah Tambak Ikan Tradisional di Kecamatan Cerme, Kabupaten Gresik Menggunakan Constructed Wetland." *Jurnal Teknik ITS* 12(3):177-82.
- Meutia, A.A., 2017. "Penerapan Lahan Basah Buatan Untuk Mengolah Air Limbah Domestik." *Convention Center Di Kota Tegal* 6-37.
- Naillah, A., Budiarti, L.Y., dan Heriyani, F., 2021. *Literature Review: Analisis Kualitas Air Sungai dengan Tinjauan Parameter pH, Suhu, BOD, COD, DO Terhadap Coliform*.
- Nandy, N., 2020. "Daur Biogeokimia: Pengertian, Siklus Biogeokimia dan Contoh." *Gramedia blog*. Diambil 26 Februari 2024 (<https://www.gramedia.com/literasi/daur-biogeokimia/>).
- Paputungan, F., Pangemanan, N.P.L., Tumbol, R.A., Undap, S.L., Tumembouw, S.S., dan Rantung, S.V., 2022. "Kajian kualitas air untuk menunjang perikanan budidaya Danau Moat, Provinsi Sulawesi Utara." *Budidaya Perairan* 10(8.5.2017):2003-5.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2021. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Prihantoro, I., Risnawati, A., Dewi, P., Hara, M., dan Setiana, M.A., 2015. "Potensi dan Karakteristik Produksi Lemna minor pada Berbagai Media Tanam." *Pastura: Journal of Tropical Forage Science* 4(2):2-5.
- Putra, A. M., 2017. "Pemanfaatan Air Limbah Kolam Ikan Lele Untuk Budidaya Azolla microphylla."
- Raharjo, S., Suprihatin, S., Indrasti, N.S., Riani, E., Supriyadi, S., dan Hardanu, W., 2015. "Lahan Basah Buatan Sebagai Media Pengolahan Air Limbah Budidaya Udang Vaname (Litopenaeus vannamei) Bersalinitas Rendah." *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 22(2):201-10.
- Rifai, R.W., Yulistiyorini, A., Siswahyudi, D., Pratiwi, J.R., Fauzi, I.A., dan Rachminiwati, N., 2024. "A Kinetic Approach for Employing Two Duckweed Species, Lemna minor and Spirodela polyrhiza, in the Sustainable Aquaculture Wastewater Treatment and Fish Feed Production." *Journal of Engineering and Technological Sciences*.
- Riza, M., Ehsan, M.N., Pervez, M.N., Khyum, M.M.O., Cai, Y., dan Naddeo, V., 2023. "Control of eutrophication in aquatic ecosystems by sustainable dredging: Effectiveness, environmental impacts, and implications." *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 7(December 2022):100297. doi: 10.1016/j.csee.2023.100297.
- Saha, P., Banerjee, A., dan Sarkar, S., 2015. "Phytoremediation Potential of Duckweed (Lemna minor L.) On Steel Wastewater." *International Journal of Phytoremediation* 17(6):589-96. doi: 10.1080/15226514.2014.950410.
- Samsundari, S., dan Wirawan, G.A., 2013. "Analisis Penerapan Biofilter Dalam Sistem Resirkulasi Terhadap Mutu Kualitas Air Budidaya Ikan Sidat (Anguilla Bicolor)." *Jurnal Gamma*, 8(2).
- Sarkheil, M., dan Safari, O., 2020. "Phytoremediation of nutrients from water by aquatic floating duckweed (Lemna minor) in rearing of African cichlid (Labidochromis lividus) fingerlings." *Environmental Technology and Innovation* 18:100747. doi: 10.1016/j.eti.2020.100747.
- Siregar, L.P.A., dan Lestari, W., 2024. "Kemampuan Tanaman Air Sebagai Fitoremediator Limbah Cair Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit." *JURNAL BIOS LOGOS* 14(1):45-54. doi: 10.35799/jbl.v14i1.52032.