

Analisis Pengaruh Penambahan Aerasi dan Variasi Waktu Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* pada *Effluent* IPAL Komunal Desa Sungai Langka

Ruben Thomson Napitupulu, Irhamni*, Suci Wulandari*

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

*Koresponden email: irhamni@tl.itera.ac.id, suci.wulandari@tl.itera.ac.id

Diterima: 30 Juni 2025

Disetujui: 7 Juli 2025

Abstract

Sungai Langka Village has a communal Wastewater Treatment Plant (WWTP) building, but the treated effluent still does not accordance the quality standards set by the Regulation of the Minister of Environment and Forestry Number 68 of 2016 concerning Domestic Wastewater Quality Standards. Phytoremediation was chosen as an environmentally friendly and easily applicable method. The selection of *Myriophyllum aquaticum* was due to its phytodegradation ability in breaking down organic and inorganic substances, as well as its abundance of bacteria that can absorb nutrients in the wastewater. This study used four reactors: Reactor A1 (control), Reactor A2 (phytoremediation), Reactor A3 (aeration), and Reactor A4 (phytoremediation and aeration). The results of this study showed that over time, the efficiency in reducing the ammonia parameter increased, with the following efficiencies recorded on day 15: Reactor A1 at 98.95%, Reactor A2 at 98.59%, Reactor A3 at 98.90%, and Reactor A4 at 98.15%. The results of statistical testing using multiple linear regression showed that the efficiency of ammonia parameter reduction was significantly affected by time variation, whereas the addition of aeration did not have a significant effect.

Keywords: domestic wastewater, phytoremediation, *myriophyllum aquaticum*, efficiency, ammonia

Abstrak

Desa Sungai Langka memiliki bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal yang hasil pengolahan *effluent* masih belum memenuhi baku mutu dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Metode fitoremediasi dipilih sebagai metode yang ramah lingkungan dan mudah diterapkan. Pemilihan tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* dikarenakan memiliki kemampuan fitodegradasi dalam menguraikan zat organik, anorganik dan memiliki kelimpahan bakteri yang dapat menyerap nutrisi pada air limbah. Penelitian ini menggunakan 4 reaktor, reaktor A1 (kontrol), reaktor A2 (fitoremediasi), reaktor A3 (aerasi) dan reaktor A4 (fitoremediasi dan aerasi). Hasil dari penelitian ini bahwa semakin lama waktu memberikan efisiensi penurunan parameter amonia yang besar dengan masing-masing efisiensi penurunan parameter amonia pada waktu 15 hari reaktor A1 98,95%, reaktor A2 98,59%, reaktor A3 98,90% dan reaktor A4 98,15%. Hasil dari pengujian statistik menggunakan metode regresi linear berganda efisiensi penurunan parameter amonia memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variasi waktu sedangkan penambahan aerasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

Kata Kunci: limbah domestik, fitoremediasi, *myriophyllum aquaticum*, efisiensi, amonia

1. Pendahuluan

Desa Sungai Langka terdapat IPAL komunal yang sudah dibangun dari tahun 2022 dan beroperasi sejak tahun 2023 yang bersifat swakelola dari PUPR Kabupaten Pesawaran. Cakupan dari program IPAL ini adalah minimal 50 SR (Sambungan Rumah) yang berada di dusun X sebagai upaya pencegahan stunting. Namun, terdapat permasalahan hasil pengolahan *effluent* yang belum optimal. Hasil pengujian kualitas air *effluent* IPAL komunal parameter amonia 20,5 mg/L sudah melebihi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu 10 mg/L. Hasil pengolahan (*effluent*) dari IPAL ini dialirkan ke aliran sungai terdekat dari lokasi IPAL. Sehingga perlu dilakukan pengolahan lanjutan untuk mengurangi baku mutu yang masih belum memenuhi baku mutu dari hasil *effluent* IPAL.

Pemanfaatan tumbuhan air dalam pengolahan air limbah atau metode fitoremediasi merupakan salah satu teknik pengolahan air limbah yang memiliki biaya murah dari segi desain maupun penerapannya,

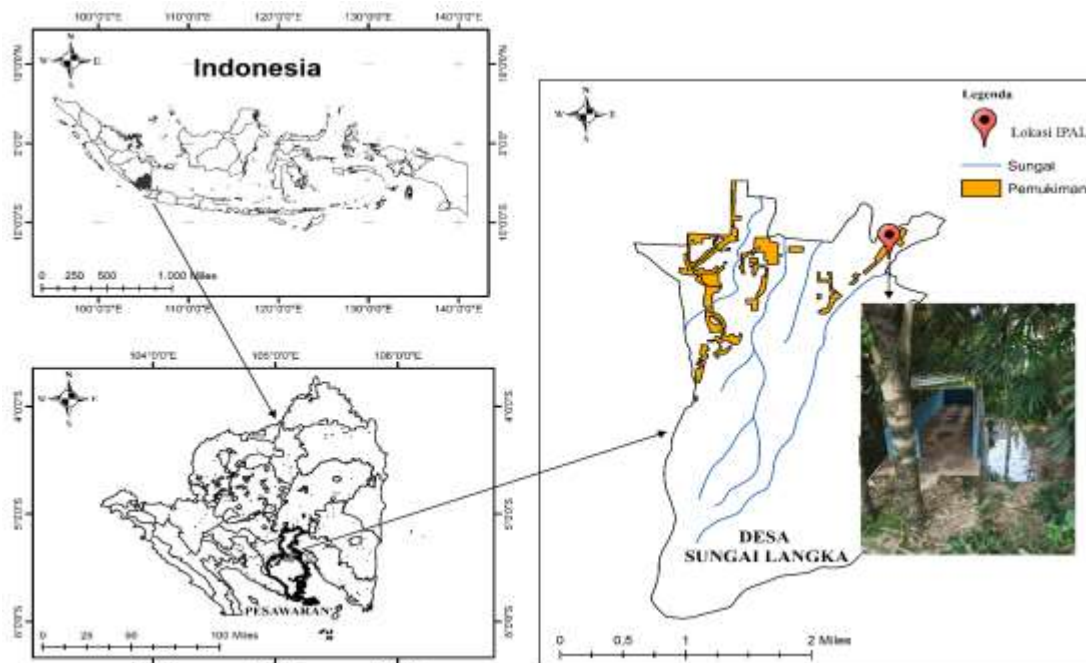
hemat energi, ramah lingkungan dan efektif dalam menurunkan kandungan polutan [1]. Menurut [2] terdapat lima tumbuhan hias *Typha angustifolia*, *Neptunia plena*, *Thyponodorum lindleyanum*, *Sagittaria lancifolia* dan *Myriophyllum aquaticum* di Kebun Raya Purwodadi yang berpotensi sebagai tumbuhan yang memiliki kemampuan fitoremediasi yang masih belum banyak dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kemampuannya. Tumbuhan yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi yaitu tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* (bulu burung beo) merupakan tanaman hias air yang dapat ditemukan di perairan yang dangkal, seperti kolam, sawah dan saluran drainase. Tumbuhan ini berperan dalam memantau kualitas air, baik sebagai bioindikator melalui perubahan pada respons fisiologisnya atau sebagai bioakumulator yang menyerap dan menyimpan zat pencemar dalam jaringan tumbuhan [3]. Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* pada sungai yang telah tercemar limbah dapat menurunkan persentase parameter BOD sebesar 75,40 %, parameter COD sebesar 67,40 %, amonia atau NH_3^+ sebesar 98,60 %, Organik nitrogen sebesar 87,50 %, Total nitrogen sebesar 88,30 % dan Total phosphorus sebesar 93,60 % selama waktu 30 hari [4].

Oksigen memiliki peranan penting dalam menentukan kualitas perairan terhadap proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik [5]. Penelitian sebelumnya telah dilakukan fitoremediasi menggunakan tumbuhan eceng gondok pada air limbah laundry dengan penambahan aerasi dengan debit sebesar 2,5 L/menit selama waktu 9 hari penurunan parameter COD dari konsentrasi awal 284 mg/L menjadi 58,33 mg/L jika dibandingkan dengan tanpa penambahan aerasi atau fitoremediasi menggunakan tumbuhan eceng gondok penurunan menjadi 214 mg/L [6]. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian pengolahan air limbah *effluent* IPAL komunal dengan menggunakan metode fitoremediasi tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* dengan penambahan aerasi dan variasi waktu yaitu waktu 5 hari, waktu 10 hari dan waktu 15 hari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan aerasi dan variasi waktu fitoremediasi *Myriophyllum aquaticum* pada air limbah *effluent* IPAL komunal.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan selama 2 bulan (Februari 2025 hingga April 2025). Lokasi IPAL komunal Desa Sungai Langka berada di Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Pengujian parameter amonia atau NH_3 dilakukan di UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Lampung. Lokasi IPAL komunal Desa Sungai Langka terdapat pada **Gambar 1** berikut.



Gambar 1. Lokasi IPAL Komunal Desa Sungai Langka

2.2 Pengambilan Sampel dan Prosedur Kerja

Pengambilan sampel air berpedoman pada SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Teknik pengambilan sampel air menggunakan *grab sample* yang diambil sesaat pada satu lokasi tertentu. Prosedur kerja pada penelitian ini dilakukan beberapa proses sebagai berikut.

a. Aklimatisasi Tumbuhan

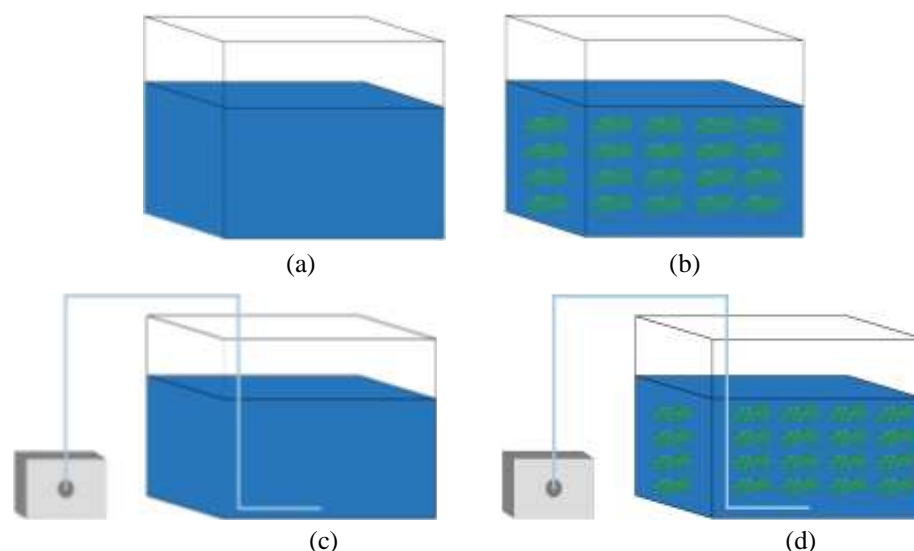
Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* diambil dari tempat budidaya tumbuhan air yang berlokasi di Way halim, Kota Bandar Lampung, Aklimatisasi tumbuhan dilakukan untuk menyesuaikan tumbuhan dari lingkungan asli ke lingkungan baru, Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* yang sudah diambil lalu dibersihkan menggunakan air mengalir secara keseluruhan agar tidak ada kotoran atau partikel lain yang masih menempel pada tumbuhan [7]. Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* diletakkan pada wadah bak plastik yang berisi air sumur sebanyak 3 liter dan dilakukan aklimatisasi selama 7 hari. Aklimatisasi tumbuhan dilakukan sebagai uji pendahuluan sebelum dilakukan pengujian kualitas air.

b. Pengujian Kualitas Air

Pengujian kualitas air *effluent* IPAL komunal berpedoman pada SNI 6989.59:2008 tentang Metode pengambilan contoh air limbah. Pengujian parameter pH dan suhu yang dapat berubah dengan cepat langsung diukur di lapangan dalam wadah yang berisi air limbah.

c. Metode Fitoremediasi

Metode fitoremediasi dilakukan dengan sistem batch. Pemilihan sistem *batch* ini dikarenakan sistem ini menggunakan cara kerja sederhana karena dilakukan penambahan reaktan sebelum proses berlangsung dan mengeluarkan reaktan pada akhir proses. Reaktor yang digunakan untuk fitoremediasi berjumlah 4 buah masing-masing berukuran panjang 40 cm, lebar 25 cm dan tinggi 30 cm. Volume air limbah digunakan pada reaktor sebesar 20 liter.



Gambar 2. (a) Reaktor Kontrol, (b) Reaktor Fitoremediasi, (c) Reaktor Aerasi, (d) Reaktor Fitoremediasi dan Aerasi

Reaktor A2 dan reaktor A4 diletakkan masing-masing tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* sebanyak 20 batang yang dipilih dengan berat sebesar 0,4 – 0,6 gram dan panjang sekitar 8 cm [8]. Reaktor A3 dan reaktor A4 diletakkan selang aerasi dengan debit sebesar 2,5 L/menit.

d. Pengujian Parameter

Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah pH (*Potential Hydrogen*) dan amonia. Parameter pH diukur setiap hari sedangkan parameter amonia diukur setiap waktu 5, 10 dan 15 hari. Pengujian parameter pH berpedoman pada SNI 06-6989.11-2019 tentang Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan pH meter. Pengujian parameter amonia berpedoman pada SNI 06-6989.30-2005 tentang Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometri secara fenat. Pengujian parameter amonia dilakukan secara duplo pada tiap reaktor.

2.3 Analisis Data

Untuk mengetahui persentase penurunan dari konsentrasi awal ke konsentrasi awal dihitung menggunakan rumus efisiensi sebagai berikut.

$$EF = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\%$$

Keterangan:

C_{awal} = konsentrasi awal parameter (mg/L)

C_{akhir} = konsentrasi akhir parameter (mg/L)

Analisis metode regresi linear berganda menggunakan software IBM SPSS *Statistics* 26. Metode ini dilakukan untuk mengetahui variasi waktu dan penambahan aerasi terhadap efisiensi penurunan parameter amonia dengan taraf signifikansi (α) sebesar 5%. Sebelum dilakukan analisis regresi linear berganda, dilakukan uji asumsi klasik untuk memastikan bahwa persamaan regresi yang dihasilkan memiliki estimasi yang tepat, bebas dari bias dan konsisten [9].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Awal Limbah Effluent IPAL Komunal

Air limbah yang dialirkan ke IPAL komunal berasal dari kegiatan rumah tangga dan industri tahu. Hasil pengujian kualitas air *effluent* IPAL komunal terdapat pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Kualitas Awal Air *Effluent* IPAL Komunal

Parameter	Hasil Pengujian	Baku Mutu Permen LHK No. 68 tahun 2016	Keterangan
pH	5,12	6-9	Tidak Memenuhi
Amonia	20,50 mg/L	10 mg/L	Tidak Memenuhi

Hasil karakteristik awal limbah *effluent* IPAL komunal didapatkan parameter amonia melebihi ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan yaitu < 10 mg/L sehingga dibutuhkan pengolahan lebih lanjut. Hasil ini menunjukkan bahwa air limbah tersebut mengandung sejumlah besar zat anorganik yang memerlukan oksigen untuk proses dekomposisi oleh mikroorganisme.

3.2 Aklimatisasi Tumbuhan

Pada proses aklimatisasi tumbuhan dilakukan pengukuran kondisi lingkungan yaitu suhu selama 7 hari dan pengamatan aklimatisasi tumbuhan. Hasil yang didapatkan dari proses aklimatisasi selama 7 hari yaitu suhu masih berada pada kondisi optimum sekitar $26,1 - 27,6^{\circ}\text{C}$. Hasil ini masih berada pada kondisi pertumbuhan maksimal tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* yaitu suhu air sekitar 31°C [10]. Hasil pengamatan aklimatisasi tumbuhan terdapat pada **Tabel 2** berikut.

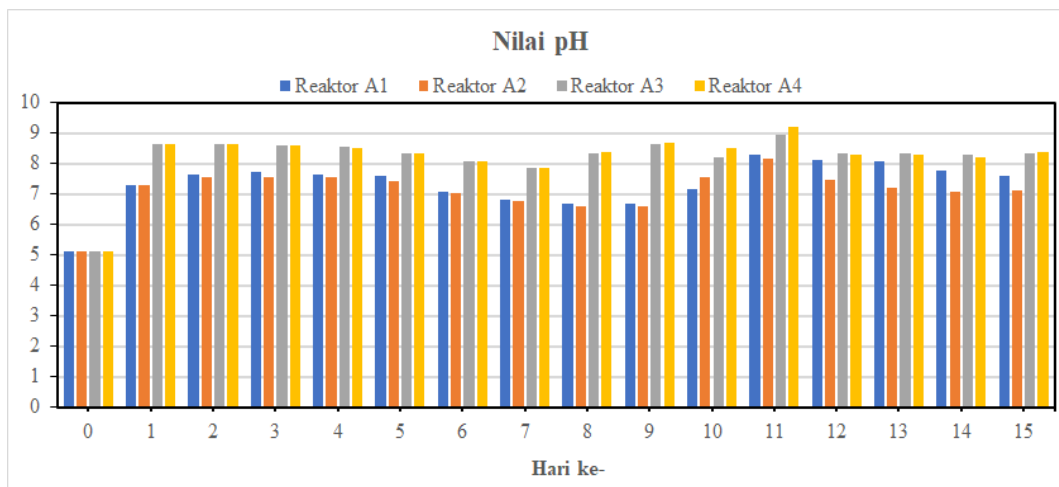
Tabel 2. Hari Pengamatan Aklimatisasi Tumbuhan

Hari ke-	Kondisi Tumbuhan
1	Daun yang terendam air berwarna hijau dan berwarna kuning, batang kaku
2	Daun yang terendam air berwarna hijau dan berwarna kuning namun beberapa mulai berwarna cokelat, batang masih kaku
3	Daun mengapung berwarna hijau, daun yang tenggelam berwarna kuning dan berwarna cokelat namun masih ada berwarna hijau, batang masih kaku
4	Daun mengapung berwarna hijau, daun yang tenggelam berwarna kuning dan berwarna cokelat namun masih ada berwarna hijau, batang masih kaku
5	Daun mengapung berwarna hijau, daun yang tenggelam berwarna kuning dan cokelat namun masih ada berwarna hijau, batang masih kaku
6	Daun mengapung berwarna hijau, daun yang tenggelam berwarna kuning dan berwarna cokelat namun masih ada berwarna hijau, batang masih kaku
7	Daun mengapung berwarna hijau, daun yang tenggelam berwarna kuning dan cokelat dan masih berwarna hijau, batang masih kaku

Perubahan warna daun dari hijau ke kuning dan coklat selama tahap aklimatisasi menunjukkan karakteristik fisiologis tumbuhan *Myriophyllum aquaticum*. Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* apabila direndam dalam air warna daun berubah warna menjadi kuning kecoklatan namun dibagian atas permukaan air berwarna hijau. Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* menunjukkan toleransi tinggi terhadap ketinggian air yang berbeda, porositas pucuk lebih tinggi pada substrat nutrisi sehingga daun yang berada diatas permukaan air berwarna hijau [11].

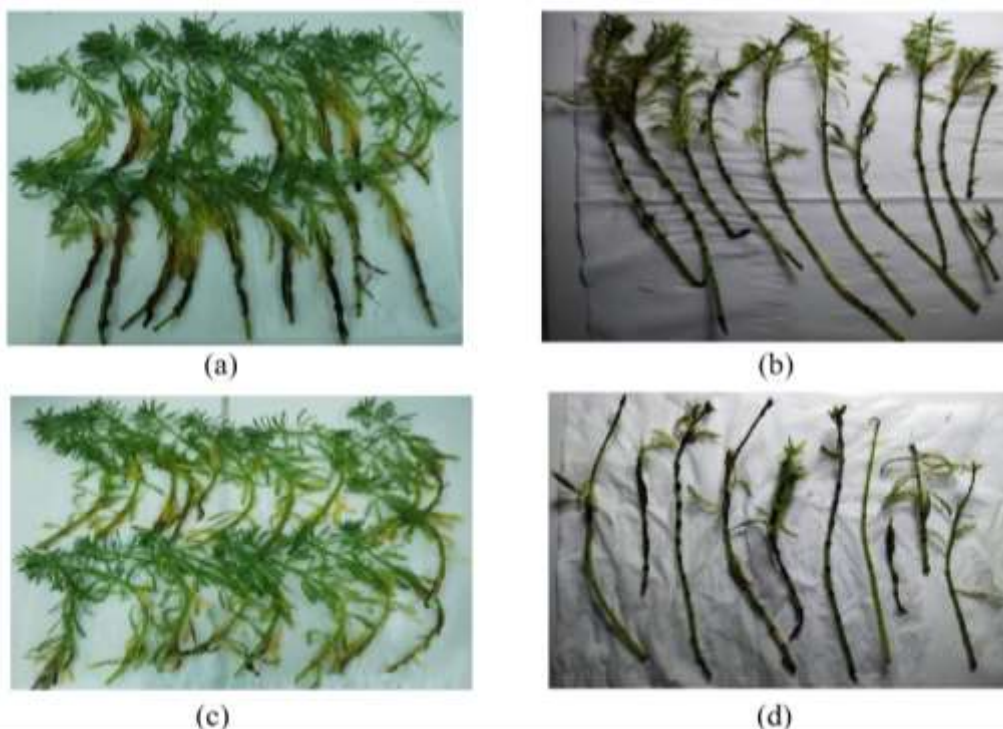
3.3 Fitoremediasi *Myriophyllum aquaticum*

Pada proses fitoremediasi tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* dilakukan pengukuran kondisi lingkungan yaitu pH dan pengamatan kondisi tumbuhan *Myriophyllum aquaticum*. Hasil pengukuran pH terdapat pada **Gambar 3** berikut.



Gambar 3. Hasil Pengukuran pH Pada Tiap Reaktor

Pengukuran pH pada hari awal masing-masing reaktor A1, reaktor A2, reaktor A3 dan reaktor A4 sebesar 5.12 hingga pada 15 hari masing-masing sebesar 7.6, 7.1, 8.34 dan 8.37. Nilai pH pada reaktor A2 7.1 lebih rendah daripada nilai pH pada reaktor A1 7.6 dapat disebabkan tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* membutuhkan oksigen sebagai respirasi pada lingkungan eksperimen. Karbon dioksida yang dihasilkan dari proses respirasi tumbuhan menyebabkan terjadinya peningkatan nilai pH [12]. Jika dibandingkan dengan nilai pH reaktor A1 dan reaktor A2 tanpa penambahan aerasi, nilai pH reaktor A3 dan reaktor A4 lebih tinggi yang disebabkan adanya penambahan aerasi dapat mempercepat penguapan karbondioksida ke udara sehingga kandungan karbondioksida dalam air limbah dapat berkurang sehingga terjadi peningkatan nilai pH. Penambahan aerasi juga memperluas permukaan kontak udara dengan air sehingga karbon dioksida dapat keluar ke udara.



Gambar 5. (a) Kondisi Tumbuhan Reaktor A2 Sebelum Fitoremediasi, (b) Kondisi Tumbuhan Reaktor A2 Sesudah Fitoremediasi, (c) Kondisi Tumbuhan Reaktor A4 Sebelum Fitoremediasi, (d) Kondisi Tumbuhan Reaktor A4 Sesudah Fitoremediasi

Hal ini dijelaskan juga dari adanya karbon dioksida bereaksi dengan air membentuk asam karbonat (H_2CO_3) dan mengalami reaksi ionisasi menghasilkan ion H^+ dan ion HCO_3^- yang menyebabkan terjadinya peningkatan nilai pH. Jika terdapat penambahan aerasi pada air limbah maka karbon dioksida akan berkurang sehingga asam karbonat juga akan berkurang yang menyebabkan ion H^+ akan menurun sehingga terjadi peningkatan nilai pH pada air limbah [13]. Hasil pengamatan kondisi tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* terdapat pada **Gambar 4**.

Kondisi tumbuhan sebelum fitoremediasi pada reaktor A2 dan A4, yaitu daun mengapung permukaan air berwarna hijau dan daun bawah permukaan air berwarna kuning dan coklat. Kondisi tumbuhan pada reaktor A2 sesudah fitoremediasi beberapa tumbuhan sudah mati yang ditandai dengan batang daun berwarna hitam dan terdekomposisi di air limbah namun beberapa tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* mampu bertahan pada kondisi air limbah yang ditandai dengan pertumbuhan panjang batang dan tunas. Kondisi tumbuhan pada reaktor A4 sesudah fitoremediasi tumbuhan sudah mengalami kematian yang ditandai dengan batang dan daun berwarna hitam. Kondisi perubahan warna hitam ini dikarenakan beberapa tumbuhan sudah mengalami kondisi nekrosis. Nekrosis adalah kondisi sel, jaringan atau organ tumbuhan mengalami kematian yang ditandai dengan munculnya bercak hitam, noda atau bintik-bintik [14].

3.4 Analisis Penurunan Parameter Amonia

Hasil penurunan efisiensi menunjukkan bahwa tiap reaktor semakin lama hari mengalami peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia selama waktu 15 hari proses fitoremediasi berlangsung. Hasil penurunan parameter amonia tiap reaktor terdapat pada **Tabel 3** berikut.

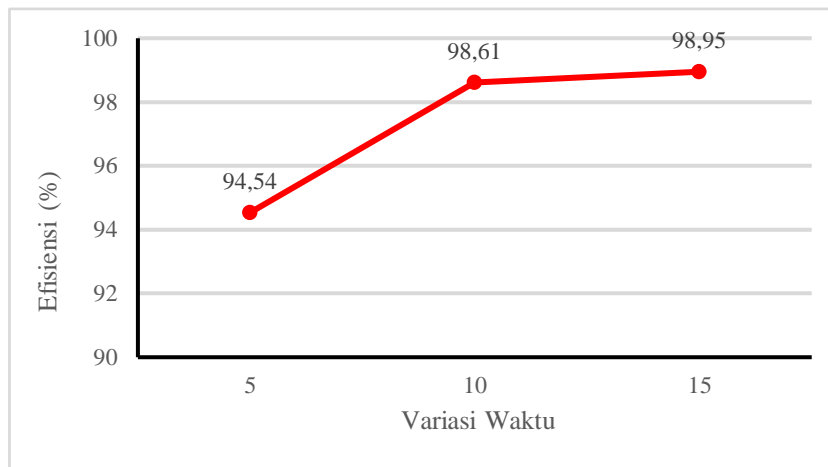
Tabel 3. Hasil Penurunan Parameter Amonia

Reaktor	Variasi Waktu (Hari)	Pengulangan	Konsentrasi Amonia (mg/L)	Efisiensi (%)	Rata-Rata Efisiensi (%)
Reaktor A1	5	I	1,31	93,61	94,54
	5	II	0,93	95,46	
	10	I	0,24	98,83	98,61
	10	II	0,33	98,39	
	15	I	0,22	98,93	
	15	II	0,21	98,98	
Reaktor A2	5	I	0,64	96,88	96,10
	5	II	0,96	95,32	
	10	I	0,28	98,63	98,51
	10	II	0,33	98,39	
	15	I	0,3	98,54	
	15	II	0,28	98,63	
Reaktor A3	5	I	0,8	96,10	96,78
	5	II	0,52	97,46	
	10	I	0,39	98,10	97,88
	10	II	0,48	97,66	
	15	I	0,2	99,02	
	15	II	0,25	98,78	
Reaktor A4	5	I	0,8	95,41	95,85
	5	II	0,52	96,29	
	10	I	0,38	98,15	98,29
	10	II	0,32	98,44	
	15	I	0,36	98,24	
	15	II	0,4	98,05	

Hasil penurunan parameter amonia pada variasi waktu 5, 10 dan 15 hari pada masing-masing tiap reaktor sudah memenuhi baku mutu dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu < 10 mg/L. Efisiensi penurunan parameter amonia terjadi pada waktu 5 hari yang mengalami peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia yang besar pada tiap reaktor namun pada waktu 10 hari dan 15 hari efisiensi penurunan parameter amonia sudah tidak mengalami peningkatan efisiensi yang besar atau mengalami kondisi stabil meskipun terjadi peningkatan efisiensi penurunan pada waktu 10 hari dan 15 hari.

3.4.1 Reaktor Kontrol

Pada reaktor kontrol terjadi peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia yang ditunjukkan dari efisiensi penurunan parameter amonia dari waktu 5 hari dan 15 hari. Hasil efisiensi penurunan parameter amonia pada reaktor kontrol terdapat pada **Gambar 5** berikut.

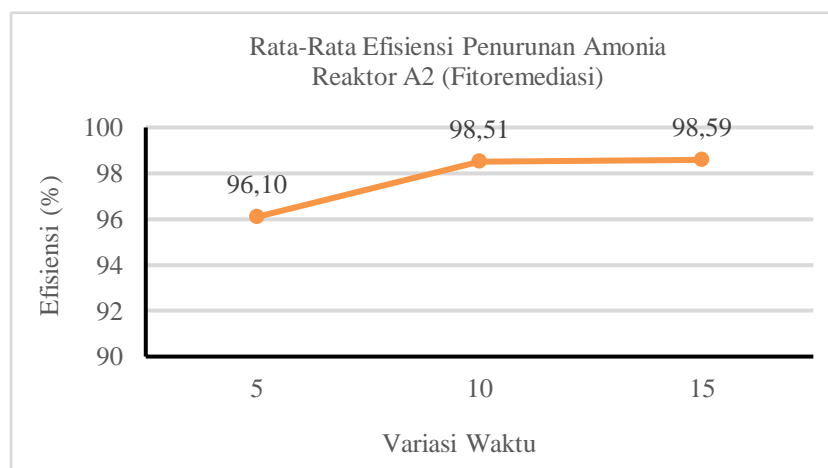


Gambar 5. Rata-Rata Efisiensi Penurunan Amonia Reaktor A1

Reaktor A1 mengalami efisiensi penurunan parameter amonia selama 15 hari dengan efisiensi sebesar 98,95%. Penurunan parameter amonia pada reaktor kontrol disebabkan saat proses perlakuan berlangsung reaktor terbuka sehingga terjadi penguapan amonia. Penelitian yang telah dilakukan oleh [15] menjelaskan juga bahwa terjadinya penurunan parameter amonia saat proses fitoremediasi berlangsung disebabkan reaktor kontrol dibiarkan terbuka selama proses perlakuan berlangsung sehingga mengalami penurunan parameter amonia yang dikarenakan sifat amonia yang mudah menguap.

3.4.2 Reaktor Fitoremediasi

Pada reaktor fitoremediasi terjadi peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia dari waktu 5 hari dan 15 hari. Hasil efisiensi penurunan parameter amonia pada reaktor fitoremediasi terdapat pada **Gambar 6** berikut.



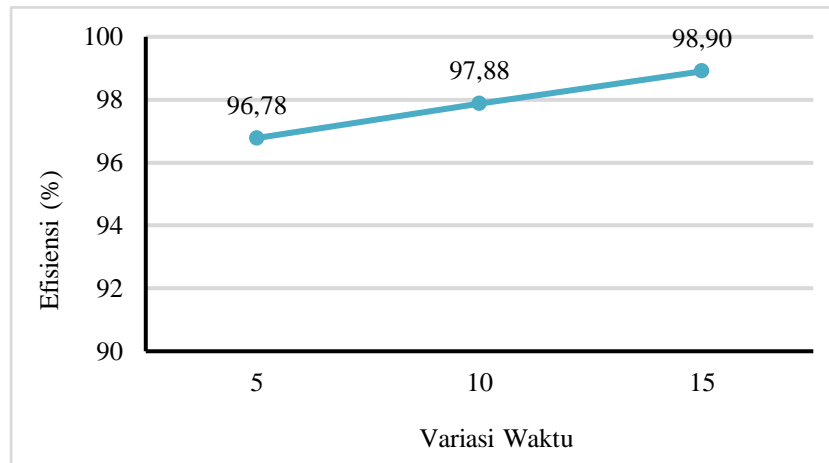
Gambar 6. Rata-Rata Efisiensi Penurunan Amonia Reaktor A2

Reaktor A2 terjadi peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia selama 15 hari dengan efisiensi sebesar 98,59%. Penurunan parameter amonia oleh tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* pada reaktor A2 terjadi pada proses nitrifikasi. Proses nitrifikasi memerlukan oksigen untuk mengubah amonia menjadi nitrit kemudian nitrat. Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* memiliki kelimpahan bakteri nitrifikasi *Nitrosococcus* dan *Nitrosospira* pada air [16]. Bakteri nitrifikasi merupakan bakteri yang memanfaatkan senyawa anorganik untuk mengoksidasi amonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2^-) kemudian menjadi nitrat (NO_3^-). Oksigen yang dihasilkan oleh tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* saat fotosintesis dimanfaatkan oleh

bakteri nitrifikasi untuk mengubah amonia menjadi nitrit kemudian nitrat. Menurut [17] nitrat dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai sumber nitrogen yang selanjutnya dikonversi menjadi protein.

3.4.3 Reaktor Aerasi

Pada reaktor aerasi terjadi peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia dari waktu 5 hari sampai waktu 15 hari. Hasil efisiensi penurunan parameter amonia pada reaktor aerasi terdapat pada **Gambar 7** berikut.

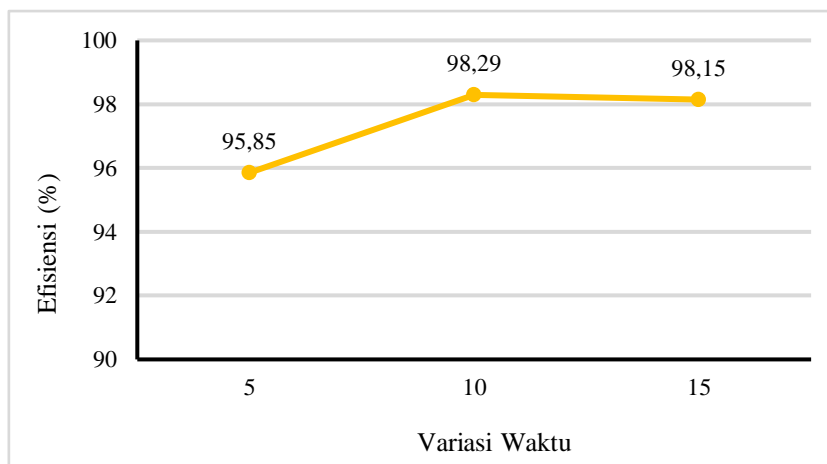


Gambar 7. Rata-Rata Efisiensi Penurunan Amonia Reaktor A3

Reaktor A3 terjadi penurunan parameter amonia selama 15 hari dengan efisiensi sebesar 98,90%. Perlakuan aerasi mampu mengurangi amonia dalam dikarenakan terjadi peningkatan kandungan oksigen terlarut dalam air. Penambahan kandungan oksigen terlarut dalam air oleh aerasi dimanfaatkan untuk proses nitrifikasi dari amonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2^-) kemudian nitrat (NO_3^-) sehingga amonia dapat berkurang. Bakteri yang berperan sebagai bakteri nitrifikasi yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Bakteri ini menggunakan sumber senyawa anorganik sebagai sumber energi dan karbon dioksida sebagai sumber karbon [18]. Fungsi aerasi juga untuk melarutkan oksigen ke dalam air dan menghilangkan kandungan zat-zat yang mudah menguap seperti metana, hydrogen sulfida, amonia, rasa dan bau.

3.4.4 Reaktor Fitoremediasi dan Aerasi

Pada reaktor fitoremediasi dan aerasi terjadi peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia dari waktu 5 hari dan waktu 10 hari, Namun mengalami penurunan efisiensi pada waktu 15 hari. Hasil efisiensi penurunan parameter amonia pada reaktor fitoremediasi dan aerasi terdapat pada **Gambar 8** berikut.



Gambar 8. Rata-Rata Efisiensi Penurunan Amonia Reaktor A4

Reaktor A4 terjadi penurunan parameter amonia pada waktu 5 hari dan 10 hari dengan masing-masing efisiensi sebesar 95,85% dan 98,29%. Tumbuhan *Myriophyllum aquaticum* dengan penambahan aerasi pada reaktor A4 memberikan peningkatan oksigen sebab tumbuhan *Myriophyllum aquaticum*

melakukan proses fotosintesis dan penambahan aerasi sebagai penambahan kandungan oksigen terlarut dalam air limbah. Pada kondisi ini kebutuhan oksigen dalam air terpenuhi untuk proses nitrifikasi. Efisiensi tertinggi terjadi pada waktu 10 hari sebesar 98,29% namun waktu 15 hari mengalami penurunan efisiensi sebesar 98,15% yang disebabkan adanya proses pelepasan amonia yang disebut amonifikasi sehingga terjadi peningkatan amonia. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya juga terjadi penurunan konsentrasi amonia pada perlakuan tanaman jirangau dengan aerasi dari konsentrasi awal amonia sebesar 3,18 mg/L menjadi 0,013 mg/L waktu 5 hari namun terjadi peningkatan amonia waktu 10 hari sebesar 0,13 mg/L [19]. Kondisi ini terjadi dikarenakan terjadinya proses amonifikasi atau peningkatan amonia yang disebabkan adanya dekomposisi bahan organik dalam air limbah yang dilakukan oleh mikroorganisme dan jamur.

3.5 Pengaruh Variasi Waktu dan Penambahan Aerasi Terhadap Efisiensi Penurunan Parameter Amonia

Hasil efisiensi penurunan parameter amonia dianalisis menggunakan metode analisis regresi linear berganda untuk mengetahui variasi waktu dan penambahan aerasi berpengaruh signifikan atau tidak signifikan terhadap efisiensi penurunan parameter amonia. Hasil uji asumsi klasik terdapat pada **Tabel 4** berikut.

Tabel 4. Hasil Uji Asumsi Klasik Pengaruh Variasi Waktu dan Penambahan Aerasi Terhadap Efisiensi Penurunan Parameter Amonia

Coefficients					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	94,719	,529		179,037	,000
Variasi Waktu	,283	,046	,803	6,177	,000
Penambahan Aerasi	,092	,374	,032	,247	,807

Hasil uji asumsi klasik didapatkan bahwa uji asumsi klasik terpenuhi dan dapat dilanjutkan dengan uji T (parsial) dan uji F (simultan) untuk menguji hipotesis. Hasil uji T (parsial) terdapat pada **Tabel 5** berikut.

Tabel 5. Hasil Uji T Pengaruh Variasi Waktu dan Penambahan Aerasi Terhadap Efisiensi Penurunan Parameter Amonia

Uji Asumsi Klasik	Nilai		Ketentuan	Keterangan
Normalitas	0,134		Sig > 0,05	Asumsi normalitas terpenuhi (kesalahan prediksi mengikuti distribusi normal)
	Variasi Waktu	Penambahan Aerasi		
Multikolinieritas	1	1	VIF < 10	Asumsi multikolinieritas terpenuhi (variabel bebas memberikan kontribusi secara terpisah pada model regresi)
Heteroskedastistas	0,066	0,193	Sig > 0,05	Asumsi heteroskedastistas terpenuhi (varians residual konstan tiap variabel bebas)

Berdasarkan **Tabel 5** didapatkan persamaan regresi $Y = 94,719 + 0,283 X_1 + 0,092 X_2$. Nilai konstanta memiliki nilai positif sebesar 94,719. Nilai positif ini menunjukkan pengaruh yang searah antara variabel independen dan variabel bebas. Nilai koefisien regresi variasi waktu (X_1) dan penambahan aerasi (X_2) yaitu sebesar 0,283 masing-masing menunjukkan pengaruh positif terhadap efisiensi penurunan parameter amonia. Hasil uji T variasi waktu memiliki nilai signifikansi 0,000 yang berarti berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penurunan parameter amonia. Namun, penambahan aerasi memiliki nilai signifikansi 0,807 yang berarti tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penurunan parameter amonia. Pengaruh signifikan dari variasi waktu dapat ditunjukkan pada hasil efisiensi penurunan parameter amonia yang semakin lamanya waktu perlakuan pada tiap reaktor memberikan peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia. Variasi waktu memberikan pengaruh yang signifikan sejalan pada penelitian yang telah dilakukan oleh sebelumnya bahwa fitoremediasi *Eichhornia crassipes* memberikan pengaruh signifikan terhadap persentase penyisihan parameter amonia [20].

Penambahan aerasi memberikan pengaruh yang tidak nyata terhadap penurunan parameter amonia atau hipotesis penambahan aerasi terhadap penurunan parameter amonia ditolak [21]. Pada penelitian ini dapat dijelaskan bahwa efisiensi penurunan parameter amonia dapat juga disebabkan oleh perlakuan lainnya, seperti perlakuan kontrol dan perlakuan fitoremediasi atau tanpa penambahan aerasi yang memberikan efisiensi penurunan parameter amonia yang besar juga pada kedua perlakuan tersebut. Hasil uji F terdapat pada **Tabel 6** berikut.

Tabel 6. Hasil Uji F Pengaruh Variasi Waktu dan Penambahan Aerasi Terhadap Efisiensi Penurunan Parameter Amonia

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	32,087	2	16,043	19,107	,000 ^b
	Residual	17,633	21	,840		
	Total	49,720	23			

Hasil uji F variasi waktu dan penambahan aerasi terhadap efisiensi penurunan parameter amonia memiliki nilai signifikansi sebesar 0,000 yang berarti memberikan pengaruh secara simultan terhadap efisiensi penurunan parameter amonia. Hasil koefisien determinasi terdapat pada **Tabel 7** berikut.

Tabel 7. Hasil Koefisien Determinasi Pengaruh Variasi Waktu dan Penambahan Aerasi Terhadap Efisiensi Penurunan Parameter Amonia

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,803 ^a	,645	,612	,91634

Hasil koefisien determinasi ditunjukkan dari nilai *R Square* bahwa variasi waktu dan penambahan aerasi terhadap efisiensi penurunan parameter amonia memiliki nilai sebesar 0,645 atau 64,5 %. Hasil nilai ini dapat dijelaskan bahwa 64,5% efisiensi penurunan parameter amonia dapat dijelaskan oleh variasi waktu, penambahan aerasi dan sisanya 35,5% dijelaskan oleh faktor lain diluar variabel pada persamaan regresi.

4. Kesimpulan

Penurunan parameter amonia terjadi pada tiap reaktor yang memberikan nilai efisiensi penurunan parameter amonia pada waktu 5 hari, 10 hari dan 15 hari. Pada waktu 5 hari terjadi penurunan parameter amonia yang ditunjukkan dari hasil efisiensi penurunan parameter amonia reaktor A1 94,54%, reaktor A2 96,10%, reaktor A3 96,78% dan reaktor A4 95,85%. Pada waktu 10 hari terjadi penurunan parameter amonia reaktor A1 98,61%, reaktor A2 98,51%, reaktor A3 97,88% dan reaktor A4 98,29%. Pada waktu 15 hari terjadi juga penurunan parameter amonia reaktor A1 98,95%, reaktor A2 98,59%, reaktor A3 98,90% dan reaktor A4 98,15%. Hasil ini dapat menunjukkan bahwa semakin lama waktu memberikan peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia namun pada waktu 15 hari reaktor A4 terjadi penurunan efisiensi parameter amonia yang dikarenakan terjadi adanya proses pelepasan amonia yang disebut amonifikasi yang disebabkan adanya dekomposisi bahan organik dalam air limbah yang dilakukan oleh mikroorganisme dan jamur.

Hasil pengujian statistik menggunakan metode regresi linear berganda didapatkan variasi waktu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penurunan parameter amonia dengan nilai signifikansi sebesar 0,000 atau sig. < 0,05 sedangkan penambahan aerasi memberikan pengaruh yang tidak signifikan terhadap efisiensi penurunan parameter amonia dengan nilai signifikansi sebesar 0,807 atau sig. > 0,05. Variasi waktu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penurunan parameter amonia dikarenakan semakin lamanya waktu perlakuan pada tiap reaktor memberikan peningkatan efisiensi penurunan parameter amonia. Namun, penambahan aerasi memberikan pengaruh yang tidak signifikan terhadap efisiensi penurunan parameter amonia dikarenakan efisiensi penurunan parameter amonia dapat juga disebabkan oleh perlakuan lainnya, seperti perlakuan kontrol dan perlakuan fitoremediasi atau tanpa penambahan aerasi yang memberikan efisiensi penurunan parameter amonia yang besar juga pada kedua perlakuan tersebut.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih untuk dosen-dosen Program Studi Teknik Lingkungan ITERA khususnya dosen pembimbing yang sudah memberikan motivasi, waktu, arahan dan saran. Penulis juga tidak lupa kepada warga Desa Sungai Langka dan semua pihak dalam penulisan ini dapat terjadi.

6. Daftar Pustaka

- [1] P. Asmoro dan M. Al Kholif, "Pemanfaatan Parit Drainase Sebagai Wetland untuk Mendegradasi Cemaran Air Limbah Domestik," *Jurnal Teknik WAKTU*, vol. 14, no. 1, pp. 8–14, 2016.
- [2] R. Irawanto, "Fitoremediasi Lingkungan dalam Taman Bali," *Local Wisdom Jurnal Ilmu Kajian Kearifan Lokal*, vol. II, no. 4, pp. 29–35, 2010.
- [3] C. A. Harguinteguy, R. Schreiber, dan M. L. Pignata, "*Myriophyllum aquaticum* as a Biomonitor of Water Heavy Metal Input Related to Agricultural Activities in the Xanaes River (Córdoba, Argentina)," *Ecological Indicators*, vol. 27, pp. 8–16, 2013, doi: 10.1016/j.ecolind.2012.11.018.
- [4] F. A. Souza, M. Dziedzic, S. A. Cubas, dan L. T. Maranhão, "Restoration of Polluted Waters by Phytoremediation Using *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., Haloragaceae," *Journal of Environmental Management*, vol. 120, pp. 5–9, 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2013.01.029.
- [5] Salmin, "Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan," *Oseana*, vol. 30, no. 3, pp. 21–26, 2005.
- [6] M. F. Rahmawan, N. Pramitasari, dan A. M. Kartini, "Pengaruh Aerasi Terhadap Penurunan Kadar COD Limbah Cair Laundry Pada Proses Fitotreatment Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)," *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, vol. 15, no. 1, pp. 89–105, 2023.
- [7] S. Ashraf, Q. Ali, Z. A. Zahir, S. Ashraf, dan H. N. Asghar, "Phytoremediation: Environmentally Sustainable Way for Reclamation of Heavy Metal Polluted Soils," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 174, pp. 714–727, 2019, doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.02.068.
- [8] Q. Zhou, J. Gao, R. Zhang dan R. Zhang, "Ammonia Stress on Nitrogen Metabolism in Tolerant Aquatic Plant—*Myriophyllum aquaticum*," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 143, pp. 102–110, 2017, doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.04.016.
- [9] G. Mardiatmoko, "Pentingnya Uji Asumsi Klasik Pada Analisis Regresi Linier Berganda," *BAREKENG Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 14, no. 3, pp. 333–342, 2020, doi: 10.30598/barekengvol14iss3pp333-342.
- [10] R. M. Wersal, J. C. Cheshier, J. D. Madsen dan P. D. Gerard, "Phenology, Starch Allocation, and Environmental Effects on *Myriophyllum aquaticum*," *Aquatic Botany*, vol. 95, no. 3, pp. 194–199, 2011, doi: 10.1016/j.aquabot.2011.05.012.
- [11] A. Hussner, C. Meyer, dan J. Busch, "The Influence of Water Level dan Nutrient Availability on Growth dan Root System Development of *Myriophyllum aquaticum*," *Weed Research*, vol. 49, no. 1, pp. 73–80, 2009.
- [12] E. Mohammadian, F. Hadavimoghaddam, M. Kheirollahi, M. Jafari, X. Chenlu, dan B. Liu, "Probing Solubility and pH of CO₂ in Aqueous Solutions: Implications for CO₂ Injection Into Oceans," *Journal of CO₂ Utilization*, vol. 71, 2023, doi: 10.1016/j.jcou.2023.102463.
- [13] D. Alvateha, D. Arfiati, dan S. Lailiyah, "Penambahan Konsorsium Bakteri dan Aerasi Pada Upaya Penurunan Bahan Organik Air Sisa Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)," *Jurnal Pengabdian Perikanan Indonesia*, vol. 1, no. 3, pp. 225–230, 2021, doi: 10.29303/jppi.v1i3.343.
- [14] Nurlina, S. Suhadiyah, dan M. R. Umar, "Akumulasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kiapu *Pistia stratiotes* L. dari Air Sumur Sekitar Workshop UNHAS," in *Seminar Nasional from Basic Science to Comprehensive Education*, Makassar, 2016, pp. 151–155.
- [15] S. S. Maddusa dan C. K. F. Mandagi, "Efektifitas Tanaman Jirangau (*Acorus calamus*) dan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) dalam Menurunkan Kadar Amoniak (NH₃) Pada Limbah Cair," *Bionature*, vol. 18, no. 1, pp. 8–14, 2017.
- [16] H. Sun, F. Liu, S. Xu, S. Wu, G. Zhuang, Y. Deng, J. Wu dan X. Zhuang, "*Myriophyllum aquaticum* Constructed Wetland Effectively Removes Nitrogen in Swine Wastewater," *Frontiers in Microbiology*, vol. 8, pp. 1–14, 2017, doi: 10.3389/fmicb.2017.01932.
- [17] E. Hefni, *Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius, 2003.
- [18] R. Purwasari, M. Mirza Fauzie, dan Haryono, "Pengaruh Fitoremediasi *Eichhornia crassipes* Terhadap Kadar Fosfat dan Amonia di Instalasi Pengolahan Limbah Cair RSUP Dr Sardjito Yogyakarta," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 3, no. 4, pp. 150–166, 2012.

-
- [19] S. S. Maddusa, “Efektivitas Tanaman Jeringau (*Acorus Calamus*) untuk Menurunkan Kadar Amoniak Pada Air Limbah RSUD Kota Bitung,” *KESMAS Jurnal Kesehatan Masyarakat Universitas Sam Ratulangi*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [20] W. H. T. Ting, I. A. W. Tan, S. F. Salleh, dan N. Abdul Wahab, “Ammoniacal Nitrogen Removal by *Eichhornia crassipes*-Based Phytoremediation: Process Optimization Using Response Surface Methodology,” *Applied Water Science*, vol. 10, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1007/s13201-020-1163-x.
- [21] Y. D. Ningrum, A. Ghofar, dan H. Haeruddin, “Efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solm) sebagai Fitoremediator pada Limbah Cair Produksi Tahu,” *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, vol. 9, no. 2, pp. 97–106, 2020.