

Efektivitas *Azolla Microphylla* dalam Menurunkan COD, TSS dan BOD Air Lindi TPA

Irhamni¹, Rian Murtaja², Husnawati Yahya², Erdiwansyah³

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sumatera, Bandar Lampung, Indonesia

²Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh

³Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

*Koresponden email: irhamni@tl.itera.ac.id

Diterima: 12 Maret 2025

Disetujui: 30 Maret 2025

Abstract

Leachate is a liquid waste formed due to water seepage into waste piles containing high concentrations of organic and inorganic compounds that have the potential to pollute the environment. This study aims to evaluate the effectiveness of *Azolla microphylla* plants in reducing leachate pollutant parameters from the Blang Bintang TPA through the phytoremediation method. Variations of treatments include plant masses of 300 and 400 grams and residence times of 7 and 14 days. The parameters analyzed include Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), and Biochemical Oxygen Demand (BOD). The results showed that the best treatment was obtained at a plant mass of 400 grams with a retention time of 14 days, with the effectiveness of reducing COD by 22.95% (from 758 mg/L to 584 mg/L), TSS by 60.80% (from 523 mg/L to 205 mg/L), and BOD by 22.40% (from 424 mg/L to 329 mg/L). Although it has not met the leachate quality standards based on Permen LHK No. 59 of 2016, the use of *Azolla microphylla* shows potential as an environmentally friendly phytoremediation agent. It can be further developed as part of a sustainable leachate treatment system.

Keywords: *Azolla microphylla*, phytoremediation, leachate, COD, TSS, BOD

Abstrak

Air lindi merupakan limbah cair yang terbentuk akibat peresapan air ke dalam timbunan sampah, mengandung konsentrasi tinggi senyawa organik dan anorganik yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas tanaman *Azolla microphylla* dalam menurunkan parameter pencemar air lindi dari TPA Blang Bintang melalui metode fitoremediasi. Variasi perlakuan yang digunakan meliputi massa tanaman sebesar 300 gram dan 400-gram serta waktu tinggal selama 7 dan 14 hari. Parameter yang dianalisis mencakup *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Hasil menunjukkan bahwa perlakuan terbaik diperoleh pada massa tanaman 400-gram dengan waktu tinggal 14 hari, dengan efektivitas penurunan masing-masing sebesar 22,95% untuk COD (dari 758 mg/L menjadi 584 mg/L), 60,80% untuk TSS (dari 523 mg/L menjadi 205 mg/L), dan 22,40% untuk BOD (dari 424 mg/L menjadi 329 mg/L). Meskipun belum memenuhi baku mutu air lindi berdasarkan Permen LHK No. 59 Tahun 2016, penggunaan *Azolla microphylla* menunjukkan potensi sebagai agen fitoremediasi yang ramah lingkungan dan dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai bagian dari sistem pengolahan lindi berkelanjutan.

Kata Kunci: *azolla microphylla*, fitoremediasi, air lindi, COD, TSS, BOD

1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah yang efektif merupakan tantangan utama bagi banyak daerah di Indonesia, termasuk Kabupaten Aceh Besar. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Blang Bintang di Kecamatan Blang Bintang merupakan salah satu lokasi yang telah bertransformasi dari sistem pembuangan terbuka menjadi landfill dengan kontrol terbatas sebagai bagian dari upaya peningkatan sistem manajemen sampah [1]. Dalam sistem ini, sampah yang berasal dari berbagai wilayah dikumpulkan dan dilapisi secara merata, dengan pemasangan sistem perpipaan di bagian bawah untuk mengalirkan air lindi menuju kolam pengendalian limbah dan lahan reed bed sebelum akhirnya dibuang.

Air lindi merupakan limbah cair yang terbentuk dari peresapan air ke dalam tumpukan sampah yang mengalami dekomposisi. Lindi umumnya mengandung bahan organik dan anorganik dalam konsentrasi tinggi serta mikroorganisme patogen seperti *Streptococcus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, dan *Proteus*, yang dapat mencemari lingkungan terutama jika tidak diolah dengan baik [2]. Masalah pengelolaan lindi menjadi semakin kompleks karena volume dan variasi sampah yang tinggi membutuhkan sistem

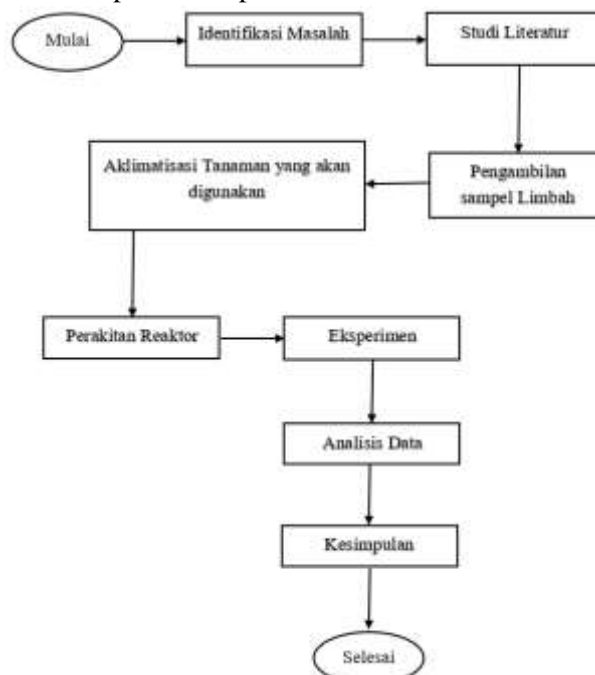
pengolahan yang menyeluruh. Jika tidak dikelola dengan optimal, air lindi dapat mencemari air tanah dan badan air permukaan serta mengancam ekosistem setempat [3].

Di Indonesia, fokus pengelolaan TPA masih dominan pada aspek penanganan sampah padat, sementara pengolahan lindi masih kurang diperhatikan. Beberapa TPA memang telah dilengkapi dengan instalasi pengolahan air lindi, namun efektivitasnya belum optimal dan kualitas limbah cair yang dihasilkan masih melebihi ambang batas yang ditetapkan [4]. Salah satu metode yang mulai dikembangkan dalam pengolahan limbah cair adalah fitoremediasi, yaitu teknik penggunaan tanaman untuk mengurangi kandungan polutan dalam air limbah. Penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas penggunaan tanaman *Azolla microphylla* dalam pengolahan limbah cair, seperti dalam studi oleh [5] pada limbah cair industri tahu. Dalam penelitian tersebut, metode fitoremediasi selama 21 hari mampu menurunkan konsentrasi BOD, COD, dan TSS secara signifikan, serta menstabilkan pH limbah.

Azolla microphylla adalah tanaman paku air kecil yang memiliki kemampuan unik membentuk hubungan simbiotik dengan bakteri *Anabaena azollae*, sehingga mampu memfiksasi nitrogen dari udara serta memiliki kandungan protein tinggi [6]. Struktur morfologisnya yang terdiri dari akar, rizoma, dan daun menjadikan tanaman ini mampu menyerap nutrisi dan logam berat dari air limbah secara efisien [7]. Meski telah banyak dimanfaatkan dalam bidang pertanian dan perikanan, pemanfaatan *Azolla microphylla* dalam pengolahan air lindi TPA belum banyak dikaji secara ilmiah. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas *Azolla microphylla* dalam menurunkan parameter pencemar pada air lindi dari TPA Blang Bintang, seperti COD, BOD, TSS, dan pH, menggunakan metode fitoremediasi dalam reaktor sederhana. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi ramah lingkungan dalam pengolahan air lindi sebelum dibuang ke badan air.

2. Metode Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang dimulai dari tahap identifikasi masalah, di mana peneliti merumuskan permasalahan yang akan dikaji. Setelah itu, dilakukan studi literatur untuk memperoleh landasan teori dan informasi terkait penelitian terdahulu. Berdasarkan studi tersebut, dilakukan pengambilan sampel limbah yang akan digunakan dalam eksperimen. Selanjutnya, sampel limbah digunakan untuk proses aklimatisasi tanaman, yaitu penyesuaian tanaman yang akan digunakan terhadap kondisi lingkungan eksperimen. Setelah tanaman siap, dilakukan perakitan reaktor sebagai media atau alat utama dalam pelaksanaan uji coba. Penelitian dilanjutkan ke tahap eksperimen, di mana seluruh komponen yang telah disiapkan digunakan untuk mengamati dan mengukur variabel yang diteliti. Hasil eksperimen kemudian dianalisis dalam tahap analisis data, untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam. Berdasarkan analisis tersebut, ditarik kesimpulan yang menjawab tujuan dan pertanyaan penelitian. Terakhir, penelitian dinyatakan selesai setelah seluruh tahapan tersebut dilaksanakan dengan sistematis. Diagram alir di dalam penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

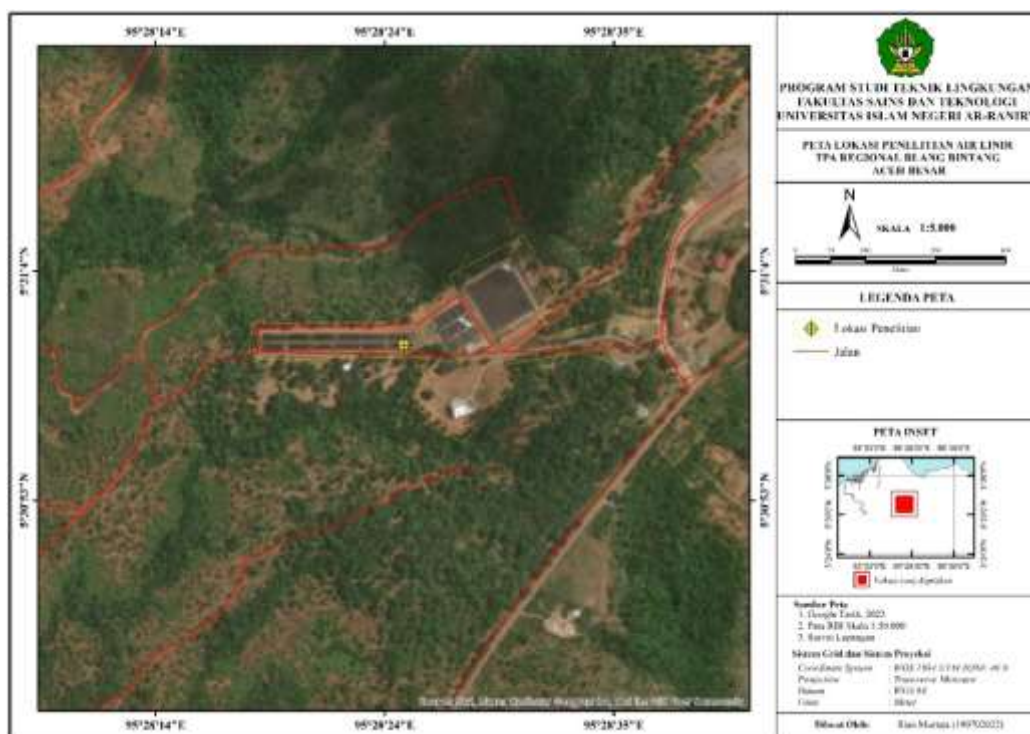


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Adapun penelitian ini terbagi melalui beberapa tahapan yaitu diantaranya sebagai berikut;

1. Tahap pertama adalah melakukan studi literatur, di mana informasi dari berbagai sumber seperti jurnal, publikasi, dan skripsi yang relevan dengan penelitian dikumpulkan.
2. Pengumpulan data, adalah tahapan yang tujuannya adalah untuk mengumpulkan data primer dan sekunder tentang kondisi dari TPA regional Blang Bintang, sehingga bisa ditentukan alternatif pengolahan limbah yang sesuai.
3. Persiapan pengambilan sampel, yang bertujuan untuk melakukan analisis awal terhadap limbah lindi dengan menguji parameter nilai COD, BOD, dan TSS.
4. Tahapan aklimatisasi tanaman *Azolla microphylla* dalam kurun waktu 7 hari dengan menggunakan sampel air lindi sebagai proses penyesuaian tanaman pada lingkungan baru.
5. Rancangan reaktor bak kaca fitoremediasi dengan menggunakan tanaman *Azolla microphylla*.
6. Tahap eksperimen adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang terjadi selama proses fitoremediasi terhadap air limbah lindi (eksperimen variasi massa tanaman dan kontak waktu) untuk menurunkan kadar COD, BOD, dan TSS. Hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 59 tahun 2016 tentang standar baku mutu air lindi.
7. Sampel limbah lindi telah diuji parameternya maka dilakukan tahap analisis data sehingga menjadi informasi dan dapat dimanfaatkan untuk menarik kesimpulan.
8. Tahapan penarikan kesimpulan, yaitu menjawab beberapa persen efisiensi dari variasi massa tanaman dan waktu dari pengolahan limbah untuk menurunkan kandungan parameter pencemar COD, BOD, dan TSS pada hasil pengolahan limbah tersebut. **Gambar 1** menggambarkan diagram alir penelitian

Lokasi pengambilan sampel limbah air lindi dilakukan pada TPA regional Blang Bintang tepatnya di kolam ketiga (reed bed). Lokasi pemeriksaan parameter dilakukan di Laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.



Gambar 2. Peta lokasi pengambilan sampel

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil dari data yang tercantum pada **Tabel 1**, terlihat bahwa air lindi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Regional Blang Bintang belum memenuhi persyaratan untuk dibuang langsung ke perairan, sejalan dengan ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Baku Mutu Air Lindi No. 59 Tahun 2016. Data ini diperkuat dengan adanya nilai parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang melampaui batas yang ditetapkan untuk limbah air lindi.

Tabel 1. Hasil uji kualitas sampel awal air lindi

No	Parameter	Hasil Pengujian	Baku mutu	Keterangan
1	COD	758	300	Tidak Memenuhi
2	TSS	523	100	Tidak Memenuhi
3	BOD	424	150	Tidak Memenuhi

Kelebihan nilai parameter tersebut menunjukkan bahwa kualitas air lindi masih mengandung sejumlah besar zat organik dan partikel-padatan yang dapat merugikan ekosistem perairan jika dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut. Oleh karena itu, diperlukan proses pengolahan air lindi sebelum dibuang ke perairan atau badan air. Upaya pengolahan menggunakan metode fitoremediasi perlu dilakukan untuk mengurangi kadar zat pencemar dan memastikan bahwa air lindi memenuhi standar yang ditetapkan sebelum dibuang. Langkah ini bertujuan untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan menghindari dampak negatif terhadap ekosistem perairan serta kesehatan masyarakat yang dapat terpapar oleh limbah air lindi.

Tabel 2. Hasil analisis parameter COD, BOD dan TSS pada air lindi setelah dilakukannya pengolahan dengan metode Fitoremediasi menggunakan tanaman *Azolla microphylla*

Massa Tanaman (gram)	Waktu Tinggal (hari)	COD (mg/L)				TSS (mg/L)				BOD (mg/L)			
		BM	HPA	HPSE	EP (%)	BM	HPA	HPSE	EP (%)	BM	HPA	HP SE	EP (%)
Bak Kontrol	0	300	758	758		100	523	523		150	424	424	
	7			719	5,14			445	14,91			407	4,00
	14			698	7,91			415	20,65			395	6,83
300 gram	0			758				523				424	
	7			685	9,63			357	31,73			389	8,25
	14			609	19,65			251	52,00			358	15,56
400 gram	0			758				523				424	
	7			640	15,56			273	47,80			377	11,08
	14			584	22,95			205	60,80			329	22,40

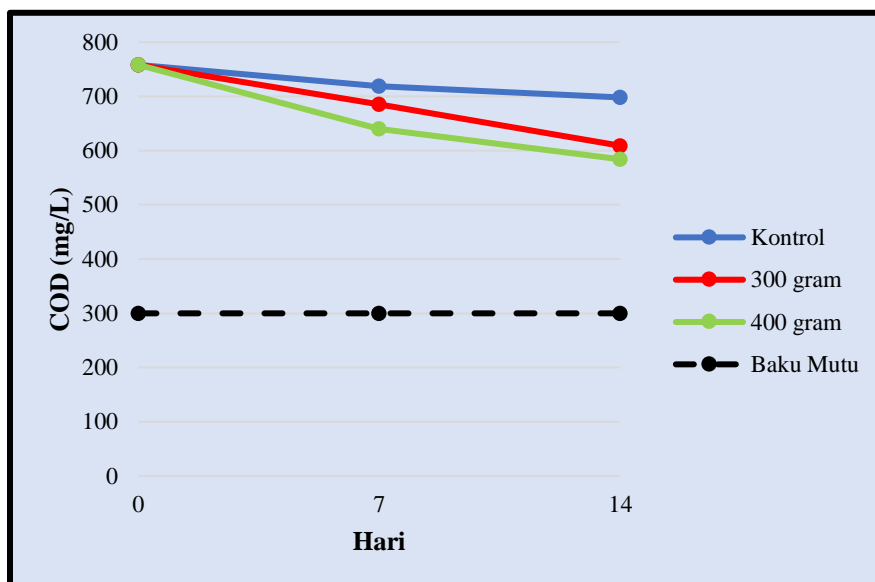
Keterangan: *BM (Baku mutu), *HPA (hasil pengukuran awal), *HPSE (hasil pengukuran setelah eksperimen), *EP (efektivitas penyisihan). *Warna kuning menunjukkan hasil pengolahan yang memenuhi batas baku mutu, *warna biru menunjukkan efektivitas penyisihan tertinggi.

Dari **Tabel 2**, tergambar bahwa penambahan tanaman *Azolla microphylla* mampu menurunkan nilai COD, TSS, dan BOD pada air lindi. Sebelum diolah, nilai COD awal sebesar 758 mg/L. Setelah diaplikasi tanaman *Azolla microphylla*, nilai COD mengalami penurunan tertinggi pada hari ke-14 dengan massa tanaman 400 gram, mencapai 584 mg/L (22,95%). Hal serupa juga terjadi pada parameter TSS, di mana nilai awal sebelum diolah adalah 523 mg/L. Pada hari ke-14 dengan massa tanaman 400 gram, nilai TSS mengalami penurunan tertinggi sebesar 205 mg/L (60,80%). Sementara itu, parameter BOD menunjukkan penurunan sebesar 329 mg/L (22,40%) setelah penambahan tanaman *Azolla microphylla*, dibandingkan dengan pengujian awal tanpa pengolahan yang menunjukkan nilai BOD sebesar 424 mg/L.

Variasi massa tanaman dan waktu tinggal mempengaruhi penurunan nilai COD, TSS, dan BOD pada air lindi setelah penambahan *Azolla microphylla*. Tabel tersebut menggambarkan adanya perubahan yang signifikan dalam penurunan parameter kualitas air lindi dengan waktu tinggal pada hari ke-7 dan ke-14, serta variasi massa tanaman *Azolla microphylla* pada 300 gram dan 400 gram juga menggambarkan adanya perubahan yang signifikan dalam penurunan parameter kualitas air lindi. Pada hari ke-14, dengan massa tanaman *Azolla microphylla* 400 gram tampaknya menjadi titik fokus utama dalam penurunan parameter-parameter tersebut, karena mencapai penurunan dengan tingkat efektivitas yang tertinggi. Adapun data parameter yang terdapat pada **Tabel 2** belum menunjukkan hasil parameter yang berhasil turun memenuhi ambang batas mutu air lindi TPA sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 59 Tahun 2016.

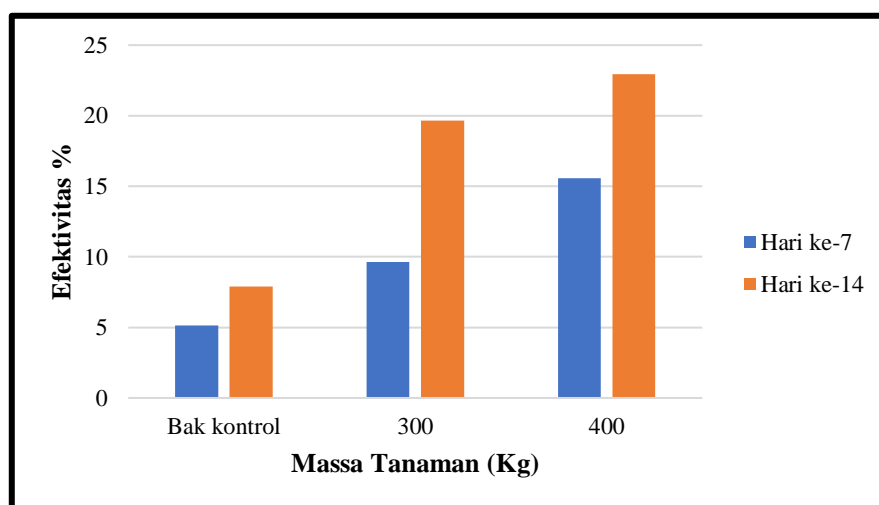
Azolla microphylla merupakan tanaman fitoremediasi yang efektif dalam proses membersihkan, atau mengurangi polutan pada air lindi. Terlihat pada **Tabel 2** tanaman *Azolla microphylla* mampu menurunkan nilai parameter COD 22,95%, TSS 60,80% dan BOD 22,40%, faktor ini terjadi karena lindi memiliki senyawa organik yang mudah terurai di lingkungan [8]. Dengan adanya perlakuan *Azolla microphylla* dalam air lindi, tanaman ini efektif dalam menyerap senyawa organik melalui akar dan daunnya. Proses ini melibatkan interaksi khusus antara tanaman dan senyawa-senyawa organik, di mana *Azolla microphylla* secara efisien menyerap dan menyimpan senyawa-senyawa tersebut dengan proses fitoremediasi.

Efektivitas tanaman *Azolla microphylla* telah terbukti mampu dalam menurunkan parameter COD dan BOD, keadaan ini terlihat setelah dilakukannya penelitian terdahulu oleh [9]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *Azolla microphylla* memberikan efektivitas penurunan COD sebesar 72,79% dan BOD sebesar 62,72%. Selain itu, penelitian sebelumnya oleh [5] juga mencatat bahwa *Azolla microphylla* memiliki efektivitas yang signifikan dalam menurunkan parameter (TSS) sebesar 95%. Kesimpulan dari kedua penelitian tersebut memperkuat pandangan bahwa pemanfaatan tanaman *Azolla microphylla* memiliki dampak positif dalam memelihara kualitas air dan lingkungan yang sehat. Hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh, khususnya dalam pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) terhadap air lindi dengan perlakuan menggunakan tanaman *Azolla microphylla* dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 3. Grafik penurunan parameter COD

Dari **Gambar 3** menunjukkan bahwa fitoremediasi menggunakan *Azolla microphylla* mampu menurunkan parameter COD dari air lindi. Adapun dalam proses fitoremediasi, mikroba yang ada pada akar tanaman *Azolla microphylla* mampu merombak beberapa senyawa organik dalam air lindi. Hal ini sesuai dengan penelitian [10] yang menyatakan bahwa terjadinya Penurunan konsentrasi COD disebabkan oleh aktivitas oksidasi yang dilakukan oleh mikroorganisme, yang mengurai bahan organik dan anorganik dalam sampel air limbah menjadi karbon dioksida dan air. Penurunan parameter COD dengan waktu tinggal selama 14 hari dengan massa tanaman 400-gram belum mampu turun sampai ke titik batas baku mutu air lindi TPA menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 untuk parameter COD yaitu 584 mg/L

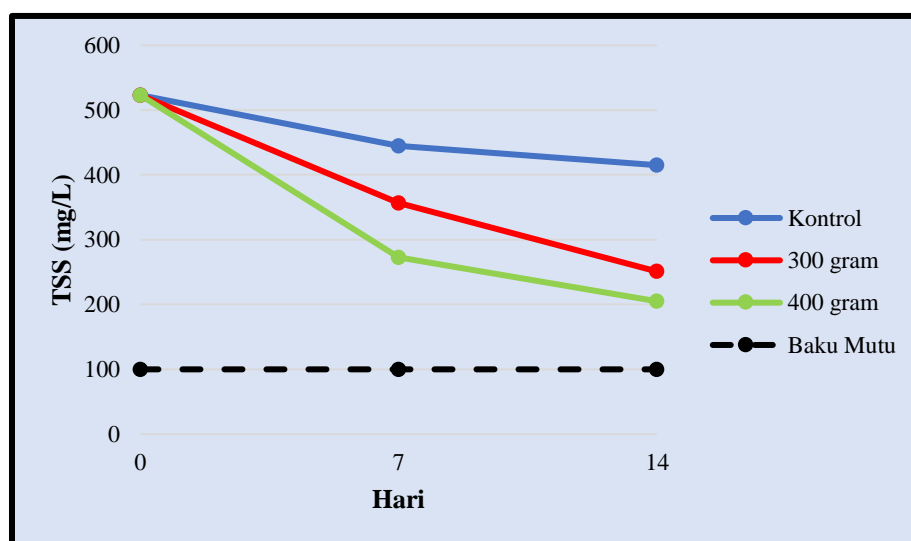


Gambar 4. Grafik persentase penurunan COD

Berdasarkan **Gambar 4** diatas menunjukkan bahwa pengaruh massa tanaman dan waktu tinggal terhadap parameter pencemar dalam air lindi sangatlah berpengaruh, penurunan parameter COD yang sangat signifikan terjadi pada hari ke-14 dengan massa tanaman 300-gram memiliki efektivitas 19,65% dan 400-gram dengan efektivitas mencapai 22,95%. Tanaman *Azolla microphylla* mampu menurunkan parameter COD dari 758 mg/L hingga mencapai 609 mg/L dan 584 mg/L pada limbah lindi dengan waktu tinggal selama 14 hari. Waktu kontak antara tanaman dengan air lindi pada metode fitoremediasi ini sangatlah berpengaruh, karena semakin panjang waktu tinggal maka akan semakin besar pula kemungkinan terjadinya penurunan COD dengan efektif dan sebaliknya jika waktu tinggal tanaman terlalu singkat, proses fitoremediasi mungkin belum mencapai tahap optimal [11]. Oleh karena itu, penentuan waktu tinggal yang tepat untuk tanaman sangat penting dalam penerapan metode fitoremediasi.

Menurut [12] *Azolla microphylla* menyerap nutrisi dan bahan organik dengan efisien dari air limbah. Selain itu, hubungan simbiotik dengan mikroba di sekitarnya juga berkontribusi pada dekomposisi bahan organik, mengurangi beban COD dalam limbah. Transformasi senyawa kimia yang terjadi selama pertumbuhan tanaman ini juga turut berperan dalam menurunkan nilai COD. Hasil penelitian menunjukkan penurunan yang relatif bagus dalam konsentrasi COD setelah air lindi dikontakkan dengan *Azolla microphylla* dan waktu tinggal selama 14 hari. Dalam waktu tinggal 14 hari mikroorganisme yang terdapat pada akar tanaman *Azolla microphylla* sudah bisa mendegradasi senyawa-senyawa organik dalam air lindi, situasi ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh [5] yang menunjukkan hasil COD selama 14 hari mencapai tingkat efektivitas 67%.

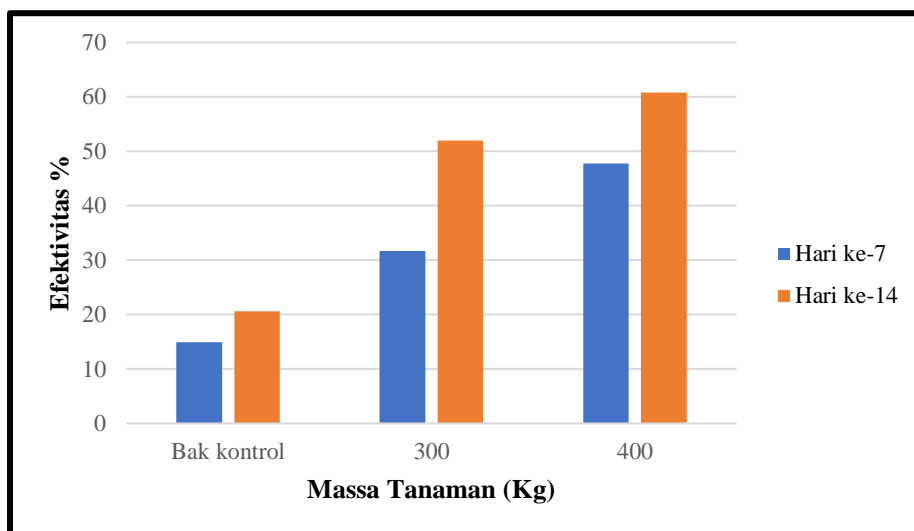
Berdasarkan eksperimen dan analisis hasil uji *Total Suspended Solids* (TSS) yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh, data yang terdapat pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa tanaman *Azolla microphylla* memiliki kemampuan untuk menurunkan nilai TSS yang terkandung dalam air lindi. Hasil analisis menunjukkan bahwa fitoremediasi menggunakan *Azolla microphylla* mampu dalam mengurangi jumlah partikel padatan yang tersuspensi dalam air lindi. **Gambar 5** menunjukkan potensi tanaman *Azolla microphylla* sebagai agen penyaring.



Gambar 5. Grafik penurunan parameter TSS

Grafik analisis penurunan pada **Gambar 5** parameter TSS memberikan gambaran kemampuan tanaman *Azolla microphylla* sebagai agen penyaring dalam menurunkan TSS dalam air lindi. Pada hari ke-14 dengan massa tanaman *Azolla microphylla* 300 gram dan 400 gram terjadinya penurunan yang sangat optimal, penurunan yang sangat signifikan terjadi pada massa tanaman 400 gram dari nilai awal sebesar 523 mg/L turun mencapai 205 mg/L, dan massa tanaman 300 gram turun mencapai 251 mg/L. Hasil analisis menunjukkan perlakuan tanaman *Azolla microphylla* selama 14 hari dengan massa tanaman 300 gram dan 400 gram belum mampu turun ke titik baku mutu air lindi TPA menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 untuk parameter TSS yaitu 100 mg/L.

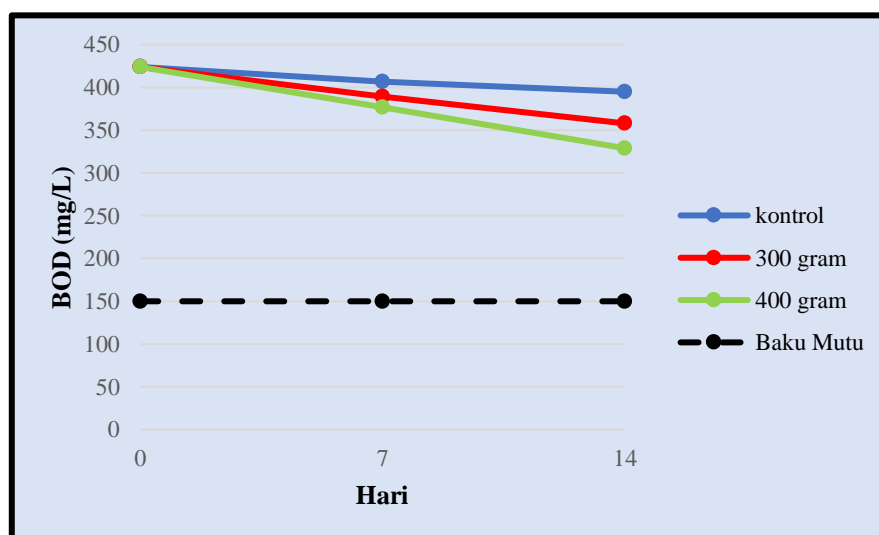
Tanaman *Azolla microphylla* memiliki kemampuan menyerap padatan tersuspensi dengan efisien. Kemampuan ini membuat *Azolla microphylla* menjadi pilihan yang baik pada metode fitoremediasi ini untuk membersihkan air lindi yang mengandung partikel-partikel tersuspensi atau endapan. Ketika *Azolla microphylla* tumbuh di air lindi, akarnya dapat menangkap dan menyerap partikel-partikel padatan seperti debu, lumpur, dan bahan organik lainnya yang tersuspensi dalam air [5].



Gambar 6. Grafik persentase penurunan TSS

Efektivitas tanaman *Azolla microphylla* dalam mengurangi TSS mencapai angka tertinggi yakni 60,80% dan 52% pada hari ke-14. Kemampuan tanaman ini dalam menghilangkan TSS secara substansial menjadi 205 mg/L memberikan indikasi positif terhadap peran fitoremediasi *Azolla microphylla* dalam membersihkan air limbah lindi. Situasi ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh [5] yang menyatakan bahwa tanaman *Azolla microphylla* memiliki efektivitas dalam menurunkan parameter TSS mencapai 95% pada hari ke-14 dengan massa tanaman 300 gram pada limbah tahu. **Gambar 6** memperlihatkan bahwa selama 14 hari penelitian, *Azolla microphylla* mampu secara efisien menangkap dan mengurangi partikel padatan yang bersuspensi dalam air lindi.

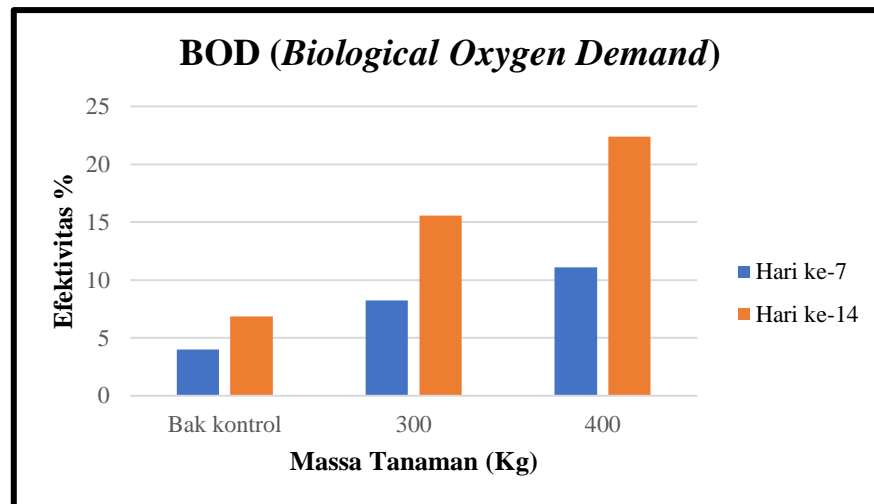
Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis uji *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh, data yang terdapat pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa tanaman *Azolla microphylla* memiliki potensi untuk menurunkan nilai BOD dalam air lindi. Eksperimen ini menggambarkan bahwa fitoremediasi menggunakan *Azolla microphylla* efektif dalam mengurangi beban pada oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi materi organik dalam air lindi. Penurunan nilai BOD dapat dianggap sebagai indikasi bahwa tanaman *Azolla microphylla* mampu mengurangi kadar zat-zat organik yang dapat menyebabkan penurunan kualitas air. Untuk grafik penurunan BOD dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik penurunan parameter BOD

Berdasarkan hasil grafik yang terdapat pada **Gambar 7** penurunan parameter *Biological Oxygen Demand* (BOD), dapat diamati bahwa tanaman *Azolla microphylla* berhasil menunjukkan dalam menurunkan kadar BOD pada hari ke-14 mencapai 329 mg/L dengan massa tanaman 400-gram dan 358 mg/L dengan massa tanaman 300-gram dari 424 mg/L pengujian awal. **Gambar 8** menunjukkan bahwa

pada titik tertentu dalam pertumbuhan *Azolla microphylla* terjadi penurunan dalam beban oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan materi organik dalam air lindi. Massa tanaman 400 gram dan 300 gram pada hari ke-14 dikaitkan dengan peningkatan kemampuan tanaman *Azolla microphylla* bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media untuk mengubah, menstabilkan, atau menghancurkan zat kontaminan menjadi kurang atau tidak berbahaya sama sekali [13]. Adapun penurunan BOD sampai pada hari ke-14 belum mampu menurunkan parameter BOD pada titik baku mutu air lindi TPA menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 untuk parameter BOD yaitu 150 mg/L. Kondisi ini terjadi karena BOD yang terkandung dalam air lindi terlalu banyak sehingga tidak mampu distabilkan oleh *Azolla microphylla* untuk proses metabolisme atau dikenal dengan tahap fitodegradasi. BOD tersebut tidak mampu diuraikan oleh mikroorganisme dalam kurun waktu yang singkat [13]–[15].



Gambar 8. Grafik persentase penurunan BOD

Pada **Gambar 8** menunjukkan hasil efektivitas yang tinggi dengan waktu kontak tanaman *Azolla microphylla* pada air lindi hari ke-14 dengan massa tanaman sebesar 300-gram dan 400 gram. Hasil menunjukkan bahwa tanaman dengan massa 400-gram berhasil mencapai nilai efektivitas mencapai 22,40%, sementara tanaman dengan massa awal 300-gram mencapai nilai efektivitas sebesar 15,56%. Rendahnya efektivitas penurunan BOD dalam pengolahan air lindi dapat disebabkan oleh tingginya kandungan senyawa organik dalam limbah tersebut. Limbah yang dominan mengandung senyawa organik tinggi cenderung memerlukan proses pengolahan yang lebih kompleks dan efisien untuk mengurangi tingkat BOD secara signifikan. Penyebab utama dari tingginya BOD melibatkan dekomposisi senyawa organik oleh mikroorganisme yang memerlukan lebih banyak oksigen untuk menguraikannya. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efektivitas penurunan BOD, diperlukan strategi pengolahan limbah yang lebih canggih dan berfokus pada pengurangan senyawa organik, serta penerapan teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi proses pengolahan limbah [16]–[18].

Penggunaan tanaman *Azolla microphylla* pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Blang Bintang perlu dipertimbangkan dengan cermat karena beberapa faktor yang dapat mempengaruhi ketidakcocokan aplikasi metode fitoremediasi. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi ketidakcocokan ini, salah satunya karakteristik lingkungan di TPA yang tidak mendukung pertumbuhan optimal tanaman tersebut. Tanaman *Azolla microphylla* dapat tumbuh diperairan yang mempunyai kelembaban dan suhu tertentu, melihat kondisi kolam *reed bed* pada TPA Blang Bintang yang tidak memiliki atap, sangat tidak mungkin tanaman *Azolla microphylla* tumbuh berkembang pada kondisi tersebut. Adapun penelitian yang telah dilakukan ini merupakan penelitian dengan skala kecil penggunaan *Azolla microphylla*, apabila tanaman ini di implementasikan pada TPA Blang Bintang kemungkinan besar budidaya tanaman *Azolla microphylla* harus di rencanakan mengingat adanya potensi kematian tanaman pada kondisi tertentu pada penelitian yang telah dilakukan. Oleh karena itu, apabila diinginkan penggunaan *Azolla microphylla* dalam konteks TPA Blang Bintang, perlu dilakukan perencanaan yang cermat untuk mengurangi faktor-faktor risiko yang mungkin mempengaruhi keberhasilan tanaman ini hidup pada air lindi.

Dalam meningkatkan efektivitas penggunaan tanaman dalam pengelolaan air lindi pada TPA Blang Bintang, sangat penting untuk mempertimbangkan pemilihan tanaman alternatif yang lebih sesuai dengan kondisi lingkungan di lokasi tersebut. Tanaman yang lebih tahan terhadap lingkungan di TPA akan menjadi pilihan yang lebih bijak. Hal ini tidak hanya dapat meningkatkan kelangsungan hidup tanaman tetapi juga

membantu dalam mereduksi parameter-parameter yang berbahaya pada air lindi tersebut. Oleh karena itu, sebelum mengimplementasikan strategi penggunaan tanaman pada TPA Blang Bintang, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami spesifikasi lingkungan dan memilih tanaman yang dapat beradaptasi dengan baik, sekaligus memberikan kontribusi positif terhadap proses pengelolaan limbah di lokasi tersebut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tanaman *Azolla microphylla* efektif dalam menurunkan kadar pencemar pada air lindi, dengan persentase penurunan tertinggi masing-masing sebesar 22,95% untuk COD, 60,80% untuk TSS, dan 22,40% untuk BOD. Hasil ini menunjukkan bahwa *Azolla microphylla* memiliki kemampuan fitoremediasi terhadap senyawa organik dan padatan tersuspensi dalam air lindi TPA Blang Bintang.
2. Variasi perlakuan massa tanaman sebesar 300-gram dan 400-gram serta waktu tinggal selama 7 dan 14 hari berpengaruh terhadap efektivitas penurunan parameter kualitas air lindi. Perlakuan terbaik diperoleh pada massa tanaman 400-gram dengan waktu tinggal selama 14 hari, yang memberikan hasil paling signifikan dalam menurunkan ketiga parameter pencemar tersebut.

5. Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh atas fasilitas dan bantuan teknis yang diberikan selama pelaksanaan eksperimen.

6. Referensi

- [1] Akbar, R. I. D. H. A. "Analisa Kelayakan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir Sampah Kelurahan Gampong Jawa, Banda Aceh Menggunakan Sistem Informasi Geografis." *Etd Unsyiah* (2016).
- [2] I. Risnawati and T. P. Damanhuri, "Penyisihan Logam Pada Lindi Menggunakan Constructed Wetland Metal Removal From Leachate In Constructed Wetland," *Jurnal. Progr. Stud. Tek. Lingkung. Fak. Sipil dan Lingkung. ITB*, 2010.
- [3] Fattayat, Rahmadian. *Pengolahan Air Lindi TPA Regional Blang Bintang Menggunakan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes) Dengan Metode Constructed Wetland Non Kontinyu*. Diss. UIN Ar-Raniry, 2022.
- [4] M. Hadiwidodo, W. Oktiawan, A. R. Primadani, Bernadette Nusye Parasmitta, and I. Gunawan, "Pengolahan air lindi dengan proses kombinasi biofilter anaerob-aerob dan wetland," *J. Presipitasi Media Komun. Dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 9, no. 2, pp. 84–95, 2012.
- [5] S. Unisah and T. Akbari, "Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Metode Fitoremediasi Tanaman *Azolla Microphylla* pada Industri Tahu B Kota Serang," *J. Lingkung. dan Sipil*, vol. 3, no. 2, pp. 73–86, 2020.
- [6] Raihan, Muhammad. "Effect of Plant Density (*Scripus grossus*) and filed teki plant (*Cyperus rotundus*) In Domestic Wastewater Treatment." (2022).
- [7] Ernawan, Danang. "Pengaruh penggenangan dan konsentrasi timbal (Pb) terhadap pertumbuhan dan serapan Pb *Azolla microphylla* pada tanah berkarakter kimia berbeda." (2010).
- [8] Murtaja, Rian. *Efektivitas Pengolahan Air Lindi TPA Blang Bintang Menggunakan Tanaman Paku Air (Azolla Microphylla)*. Diss. UIN Ar-Raniry Fakultas Sains dan Teknologi, 2024.
- [9] Y. Pratiwi, S. Sunarsih, and K. P. Dewi, "Pengolahan Limbah Cair Industri Elektroplating Dengan Fitoremediasi Menggunakan *Azolla Microphylla*," *J. Teknol.*, vol. 12, no. 1, pp. 54–62, 2019.
- [10] A. Nafisah, "Degradasi Kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Tenun Oleh Bakteri Endofit," pp. 1–75, 2020.
- [11] S. N. Rohmah, H. R. IW, and N. Hilal, "Efisiensi Tanaman *Azolla Pinnata* Dalam Menurunkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Sohun di Desa Arcawinangun Kecamatan Purwokerto Timur Kabupaten Banyumas Tahun 2018," *Bul. Keslingmas*, vol. 38, no. 1, pp. 37–47, 2019, doi: 10.31983/keslingmas.v38i1.4072.
- [12] E. Surdina, S. A. El-Rahimi, and I. Hasri, "Pertumbuhan *Azolla microphylla* dengan Kombinasi Pupuk Kotoran Ternak," *J. Ilm. Mhs. Kelaut. dan Perikan. Unsyiah*, vol. 1, no. 3, pp. 298–306, 2016.
- [13] A. G. Ilmannafian, E. Lestari, and F. Khairunisa, "Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 21, no. 2, pp. 244–253, 2020, doi: 10.29122/jtl.v21i2.4012.

- [14] F. Hanum, R. Tambun, M. Y. Ritonga, and W. W. Kasim, "Aplikasi elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 4, pp. 13–17, 2015.
- [15] Hanum, Farida. *Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dari unit deoiling ponds menggunakan membran mikrofiltrasi*. Diss. Universitas Sumatera Utara, 2009.
- [16] A. Amira, K. Utomo, and S. Pramadita, "Efektivitas Penurunan BOD dan TSS Menggunakan Media Filter Serabut Kelapa dan Serbuk Serabut Kelapa," *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [17] A. A. Amri and T. Widayatno, "Penurunan kadar BOD, COD, TSS, Dan pH pada limbah cair tahu dengan menggunakan Biofilter," *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 8, no. 1, pp. 6–10, 2023.
- [18] S. Sisnayati, D. S. Dewi, R. Apriani, and M. Faizal, "Penurunan BOD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair pabrik kelapa sawit menggunakan proses aerasi plat berlubang," *J. Tek. Kim.*, vol. 27, no. 2, pp. 38–45, 2021.