

## Pengaruh Perlakuan Tanaman *Azolla* (*Azolla microphylla*) dan Bakteri Akuatik (*Nitrobacter*) Sebagai Fitoremediator pada Kontaminan Logam Berat Timbal (Pb)

### *Effect of Treatment of Azolla Plants (Azolla microphylla) and Aquatic Bacteria (Nitrobacter) as Phytoremediators on Lead (Pb) Heavy Metal Contaminants*

Dian Ummu Abi Hanifah<sup>1</sup> dan Tri Candra Setiawati<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

\*Corresponding author : [candra.setiawati@unej.ac.id](mailto:candra.setiawati@unej.ac.id)

#### ABSTRAK

Produk pertanian merupakan sumber pokok utama untuk memenuhi kebutuhan pangan masyarakat Indonesia yang berasal dari kegiatan budidaya. Kegiatan budidaya mengalami permasalahan yaitu adanya alih fungsi lahan pertanian menjadi tempat industri. Kegiatan industri menghasilkan limbah yang mengandung logam berat dan dapat terakumulasi pada lahan pertanian melalui penggunaan air untuk irigasi. Logam berat timbal terkandung pada bahan input pertanian seperti pupuk kimia dan pestisida kimia. Bahan input pertanian yang mengandung timbal yaitu pupuk NPK sebesar 116,03 mg/kg. Timbal dapat terakumulasi pada air, tanah, dan jaringan tanaman. Tanaman yang mengandung timbal jika dikonsumsi menyebabkan keracunan, mengganggu kerja syaraf, hingga menyebabkan kematian dini. Permasalahan tersebut dapat diatasi melalui proses fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman hiperakumulator *Azolla microphylla* dan Bakteri akuatik (*Nitrobacter*). Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 1 faktor berupa *Azolla microphylla*, *Nitrobacter*, dan kombinasi *Azolla microphylla* + *Nitrobacter* dengan konsentrasi Timbal 10 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *Azolla microphylla* mampu menyerap logam baik yang ditunjukkan dengan kadar Pb pada media sebesar 1,009 ppm, dan pada jaringan tanaman 1,94 ppm. Perlakuan *Nitrobacter* mampu menurunkan kadar Pb yang ditunjukkan pada media sebesar 0,795 ppm. Perlakuan kombinasi *Azolla microphylla* + *Nitrobacter* meninggalkan kadar Pb pada media sebesar 1,092 ppm dan pada jaringan 1,8 ppm. Proses penyerapan dan penguaraian Pb oleh *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti nutrisi, suhu dan pH selama proses fitoremediasi.

Kata Kunci: *Azolla microphylla*, Bakteri Akuatik (*Nitrobacter*), Fitoremediasi dan Timbal

#### ABSTRACT

*Agricultural products are the primary staple source to meet the food needs of the Indonesian people derived from cultivation activities. Cultivation activities experience problems, namely converting agricultural land into industrial sites. Industrial activities produce waste containing heavy metals, which can accumulate on agricultural land through water for irrigation. Heavy metal lead is contained in agricultural input materials such as chemical fertilizers and pesticides. Agricultural input materials that contain lead are NPK fertilizers at 116.03 mg/kg. Lead can accumulate in water, soil, and plant tissues. Plants that contain lead, when consumed, cause poisoning, disrupt nerve work, and cause premature death. Phytoremediation can overcome these problems by utilizing hyperaccumulator plants Azolla microphylla and aquatic bacteria (Nitrobacter). This study used a completely randomized design with 1 factor: Azolla microphylla, Nitrobacter, and a combination of Azolla microphylla + Nitrobacter with a Lead concentration of 10 ppm. The results showed that Azolla microphylla treatment could absorb metals well, as indicated by Pb levels in the media of 1.009 ppm and plant tissues of 1.94 ppm. Nitrobacter treatment reduced Pb levels shown in the media by 0.795 ppm. The combination treatment of Azolla microphylla + Nitrobacter left Pb levels in the media at 1.092 ppm and in the tissue at 1.8 ppm. The process of absorption and removal of Pb by Azolla microphylla and Nitrobacter is influenced by several factors, such as nutrients, temperature, and pH, during the phytoremediation process.*

Keywords: *Azolla microphylla*, Aquatic Bacteria (*Nitrobacter*), Phytoremediation and Lead

Submitted :02-12-2023

In revised : 07-01-2024

Accepted : 31-01-2024

**How to cite** : Hanifah, D., & Candra Setiawati, T. (2024). Pengaruh Perlakuan Tanaman *Azolla* (*Azolla microphylla*) dan Bakteri Akuatik (*Nitrobacter*) Sebagai Fitoremediator pada Kontaminan Logam Berat Timbal (Pb). Berkala Ilmiah Pertanian, 7(1), 53-60. doi:10.19184/bip.v7i1.44294

## PENDAHULUAN

Produk pertanian merupakan sumber pangan utama yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan pangan masyarakat Indonesia yang berasal dari kegiatan budidaya pertanian. Budidaya pertanian mengalami permasalahan dengan adanya alih fungsi lahan pertanian menjadi tempat industri yang berdampak negatif terhadap budidaya pertanian (Rahman dkk., 2018). Dampak negatif kegiatan industri yaitu menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan perairan dan lahan pertanian. Limbah tersebut terakumulasi pada lahan pertanian melalui air yang digunakan untuk irigasi. Air yang mengandung limbah industri dapat menurunkan produktivitas dan kualitas dari lahan pertanian (Abdu dkk., 2017). Limbah industri mengandung logam berat yang dapat menurunkan pH pada lahan pertanian dan logam berat tersebut dapat terakumulasi ke tanaman jika dikonsumsi oleh makhluk hidup menyebabkan keracunan.

Logam berat merupakan polutan yang beracun, berbahaya, dan sulit diuraikan oleh organisme hidup (Wijayanti dan Purwanti, 2022). Jika terakumulasi secara terus menerus membentuk sebuah endapan dan sadapat menyebabkan pencemaran. Logam berat dapat berasal dari kegiatan industri, bahan input pertanian, limbah rumah tangga, asap kendaraan bermotor dan lainnya. Logam berat non-essensial yang banyak mencemari lingkungan dan keberadaannya tidak dikehendaki yaitu cadmium (Cd), besi (Fe), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kromium (Cr) (Putra dan Marzuki, 2020).

Logam berat yang banyak mencemari lingkungan perairan dan pertanian yaitu Timbal (Pb). Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang bersifat beracun dan karsinogenik yang membutuhkan jangka waktu lama untuk proses penguraian (Sarwono dkk., 2022). Logam berat timbal keberadaannya di perairan maupun tanah sudah ada namun dengan kadar yang rendah. Logam berat timbal ditemukan pada bahan input pertanian seperti pupuk NPK sebesar 16,03 mg/kg (Wiyantoko dkk., 2017) dan pada pestisida Dithane sebesar 19,37 mg/kg (Samsulaga dan Wimpy, 2022). Bahan input pertanian sangat berperan penting dalam budidaya pertanian. Semakin sering diaplikasikan maka dapat terakumulasi pada tanah dan air sehingga menyebabkan kerusakan ekosistem lingkungan. Logam berat timbal yang terakumulasi pada tanaman dan melebihi ambang batas dapat menyebabkan tanaman mengalami gangguan seperti proses pertumbuhan yang terhambat, perubahan morfologi tanaman, dan proses fotosintesis terganggu sehingga menyebabkan penurunan produktivitas tanaman (Handayanto dkk., 2017).

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dimana baku mutu timbal yang terkandung pada air sebesar 0,03 mg/L. Pb yang terakumulasi dalam air, tanah, dan tanaman jika dikonsumsi oleh manusia menyebabkan keracunan sampai kematian dini (Budhiastuti dkk., 2016). Pb dapat terakumulasi pada molekul DNA melalui saluran pernafasan kemudian disalurkan ke sulur organ tubuh oleh sel darah merah dan berikatan sehingga dapat mengganggu sistem saraf dan lainnya (Rosita dan Widiarti, 2018).

Untuk mengatasi permasalahan cemaran logam berat timbal (Pb) dapat dilakukan dengan cara fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan usaha menghilangkan polutan yang beracun di air maupun tanah yang memanfaatkan tanaman air, rumput-rumputan, serta mikroorganisme (Ajeng dan Wesen, 2015). Fitoremediasi dipilih dikarenakan biaya yang dikeluarkan tidak banyak, efektif dan efisien (Astuti dan Titah, 2020). Fitoremediasi terhadap cemaran logam berat timbal (Pb) memanfaatkan tanaman air yaitu *Azolla microphylla*. *Azolla microphylla* dipilih karena untuk mengurangi gulma, dapat tumbuh dengan cepat dan mampu tumbuh serta beradaptasi pada suhu yang tinggi. Tanaman *Azolla microphylla* termasuk tanaman hiperakumulator yang mampu menyerap logam berat dengan baik (Herniwati, 2021). Selain itu, memanfaatkan mikroorganisme berupa bakteri akuatik (*Nitrobacter*). *Nitrobacter* digunakan karena termasuk dalam bakteri akuatik dimana dapat menjaga kualitas ekosistem perairan dan mengurangi cemaran logam berat timbal (Pb). *Nitrobacter* berperan dalam proses penguraian ion nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) yang terdapat pada senyawa  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  (Said dan Sya'bani, 2014). *Nitrobacter* juga menyerap dan mengurai  $\text{Pb}^{2+}$  melalui mekanisme dari tanaman *Azolla microphylla*.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan penelitian ekperimental karena memiliki variabel dan pengulangan. Proses fitoremediasi dilaksanakan di *green house* Patrang. Tahap analisis kadar logam berat timbal (Pb) dilakukan di Laboratorium CDAST dan Pengerangan Tanaman di Laboratorium Agroteknologi Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari 2023 sampai dengan April 2023. Adapun sasaran penelitian ini yaitu tumbuhan *Azolla microphylla*, bakteri akuatik (*Nitrobacter*), dan logam berat timbal (Pb). Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 1 faktor perlakuan diulang sebanyak 4 kali sehingga kombinasi perlakuan 12. Perlakuan yang digunakan T1= *Azolla microphylla*, T2= Bakteri akuatik 2mL, dan T3= *Azolla microphylla* dan Bakteri akuatik dengan konsentrasi logam berat timbal 10 ppm.

Bahan yang digunakan serbuk logam berat  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , *Azolla microphylla*, aquades, air, bakteri akuatik (*Nitrobacter*) dan AB Mix. Alat yang digunakan bak, kertas label, map, botol air, kamera hp, gelas ukur, TDS meter, pH meter, thermometer air, neraca analitik oven, dan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

Tahap pelaksanaan dimulai persiapan media tanam 5 liter air, tanaman *Azolla microphylla* 20 gram, timbal 0,079 gram, dan bakteri 2 mL. Pengaplikasian perlakuan selama waktu 15 hari dilakukan pengukuran pH, dan suhu, serta kadar Pb yang diserap oleh *Azolla microphylla* dan kadar Pb pada media tanam. Variabel pengamatan dalam penelitian meliputi suhu dan pH, kandungan Pb pada media tanam dan jaringan daun *Azolla microphylla*, serapan Pb, Perhitungan nilai BAF, Perhitungan nilai EF, berat basah dan berat kering tanaman. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan Analisis Sidik Ragam (ANOVA) pada taraf uji 5%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Temperatur (Suhu °C)

Suhu merupakan suatu tingkat energi kinetik yang berasal dari partikel-partikel yang membentuk panas diginnya suatu benda. Suhu merupakan faktor yang berpengaruh terhadap proses fitoremediasi, pertumbuhan tanaman *Azolla microphylla*, dan *Nitrobacter* (Effendi dkk., 2015). Berikut merupakan rata-rata suhu selama proses fitoremediasi yang ditunjukkan pada Gambar 1.

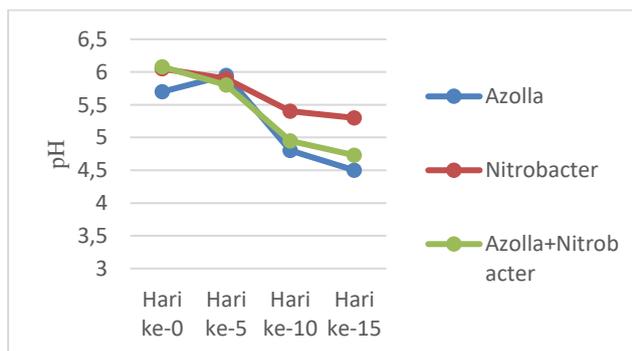


Gambar 1. Suhu Media Tanam Air

Grafik tersebut menunjukkan bahwa rata-rata suhu selama proses fitoremediasi berkisar antara 25-29°C. Pengamatan suhu dilakukan waktu pagi hari pukul 09.00 WIB. Suhu yang mengalami perubahan selama proses remediasi diakibatkan oleh adanya aktivitas dari *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter* pada setiap perlakuan yang digunakan. Selain itu, adanya proses bikomiawi dan biologi yang terdapat diperairan sehingga membuat suhu mengalami perubahan (Yulianto dkk., 2021). Adanya proses fotosintesis dan metabolisme, serta pertumbuhan dari tanaman *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter* sehingga suhu pada perairan berkisar antara 25-29°C. Suhu pada perlakuan *Azolla microphylla* pada akhir remediasi mengalami peningkatan dikarenakan adanya aktivitas penyerapan ion logam berat yang tinggi. Semakin tinggi suhu maka tanaman memiliki kemampuan menyerap ion logam berat semakin tinggi (Rahayuningtyas dkk., 2018). *Nitrobacter* dapat tumbuh dengan baik pada suhu tersebut dikarenakan adanya proses fotosintesis dan absorpsi dari atmosfer atau udara yang menyediakan oksigen pada perairan (Yulianto dkk., 2021).

### Keasaman (pH)

pH merupakan suatu pengukuran untuk mengetahui banyak konsentrasi ion H<sup>+</sup> yang berada pada media. pH digunakan untuk mennetukan tingkat keasaman dan kebasaan pada larutan, serta dapat mempengaruhi penyerapan logam berat timbal (Safrianti dkk., 2012). pH berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter*. Berikut merupakan pH pada media tanam selama proses fitoremediasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.

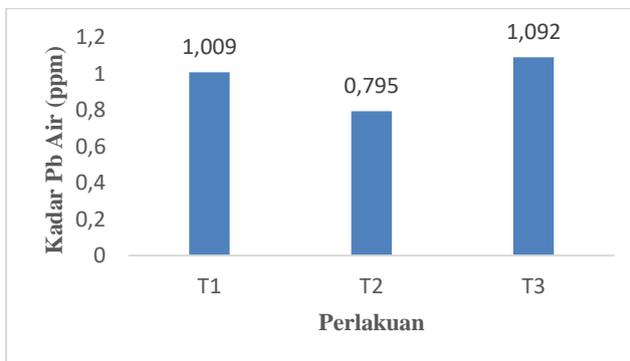


Gambar 2. pH Media Tanam

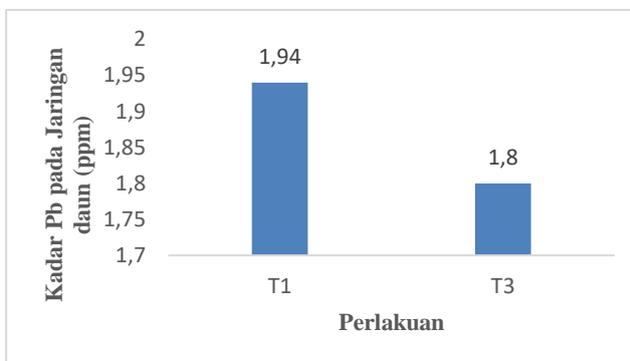
Grafik tersebut menunjukkan bahwa pH selama proses fitoremediasi mengalami penurunan pH. Penurunan pH selama proses fitoremediasi berlangsung dikarenakan proses fotosintesis dimana CO<sub>2</sub> yang dihasilkan semakin banyak dari hasil respirasi makan secara bertahap ion H<sup>+</sup> akan terlepas sehingga menyebabkan pH dalam air mengalami penurunan atau pH masam (Ni'mah dkk., 2019). Penurunan pH disebabkan oleh penyerapan nutrisi pada tanaman *Azolla microphylla* diikuti dengan penyerapan ion logam berat timbal. Penurunan pH disebabkan oleh adanya aktivitas dari *Nitrobacter* dalam menyerap logam berat timbal dan dapat menghambat laju pertumbuhannya (Pratama dkk., 2016). Laju pertumbuhan bakteri menurun disebabkan oleh aktivitas dari enzim-enzim yang menurun. Enzim tersebut berguna untuk mengakatalisa reaksi yang berhubungan dengan pertumbuhan dari bakteri tersebut (Sarnia dkk., 2017). Adanya proses metabolisme yang dilakukan oleh *Nitrobacter* dimana CO<sub>2</sub> yang digunakan untuk metabolisme semakin sedikit sehingga ion H<sup>+</sup> akan terlepas sehingga pH mengalami penurunan (Hertika dan Baghaz., 2022).

**Kadar Logam Berat Pb (ppm)**

Variabel kadar logam berat Pb meliputi kadar Pb pada media tanam dan kadar Pb pada jaringan daun *Azolla microphylla*. Penurunan kadar Pb pada media yang terendah yaitu perlakuan T2 *Nitrobacter* sebesar 0,795 ppm dan nilai tertinggi kadar Pb yang terserap oleh tanaman yaitu perlakuan T1 sebesar 1,94 ppm. Berikut merupakan kadar Pb yang tertinggal pada media tanam dan kadar Pb yang terserap oleh tanaman disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Kadar Pb pada Media Tanam



Gambar 4. Kadar Pb pada Jaringan Daun *Azolla microphylla*

Perlakuan T1 *Azolla microphylla* bekerja dalam meremediasi logam berat dengan baik dimana menyisahkan kadar Pb dalam media rendah dan kadar Pb yang terserap oleh tanaman lebih tinggi dibandingkan dengan T3. Hal tersebut dikarenakan *Azolla microphylla* mampu menyerap logam berat Pb sampai ke tajuk tanaman dengan maksimal dikarenakan memiliki mekanisme penyerapan fitoekstraksi. Fitoekstraksi merupakan penyerapan Pb mulai dari sel epidermis pada bagian akar, kemudian ditransport oleh xilem dan ditranslokasikan ke bagian tajuk tanaman (Suharjo dkk., 2022). Proses akumulasi timbal pada dinding sel diendapkan dan akan masuk ke vakuola. Dinding sel yang mengendap timbal diserap dengan mengikat suberin dan pektin. Sedangkan, pada vakuola membentuk senyawa pengikat dalam bentuk asam amino dan asam organik (Tampubolon dan Sulastris, 2017). Selain memiliki mekanisme penyerapan fitoekstraksi terdapat beberapa faktor yang mendukung dalam proses fitoremediasi beralngsung yaitu nutrisi, suhu dan pH yang tercukupi untuk proses pertumbuhan tanaman, sehingga proses metabolisme tanaman dapat beralngsung dengan baik.

Perlakuan T2 *Nitrobacter* dimana mampu menurunkan kadar Pb dengan baik diantara kedua perlakuan. Hal tersebut dikarenakan *Nitrobacter* dapat tumbuh dan menyerap ion logam berat Pb dengan baik yang didukung oleh adanya suhu pH dan nutrisi. Logam berat Pb direduksi oleh *Nitrobacter* melalui mekanisme yaitu dimana ion logam berat Pb masuk ke dalam sel bakteri melalui membrane dan akan bereaksi dengan beberapa komponen yang terdapat pada sel bakteri seperti NADPH, FADH2 dan beberapa komponen lainnya (Ahmed, 2014). Penurunan kadar Pb juga disebabkan oleh pH yang tinggi pada akhir penelitian yaitu 5,5 sehingga menyebabkan terbentuknya reaksi antara Pb<sup>2+</sup> dengan OH<sup>-</sup> yang membentuk sebuah endapan (Tampubolon dan Sulastris, 2017).

Perlakuan T3 kombinasi *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter* menunjukkan kadar Pb pada media dengan nilai yang tinggi dibandingkan dengan kedua perlakuan, sedangkan pada jaringan tanaman lebih rendah kadar Pb yang dikandung. Hal tersebut dikarenakan pada *Nitrobacter* menyerap sebagian nutrisi yang ada pada media tanaman dan adanya Pb yang mengendap pada bak. *Nitrobacter* menghalangi penyerapan nutrisi pada tanaman dimana bakteri tidak mampu melakukan symbiosis dengan tanaman sehingga menghasilkan asam organik yang rendah yang membuat penyerapan nutrisi oleh tanaman rendah (Singh *et.al.*, 2022).

*Nitrobacter* menyerap ion logam berat Pb sebagian pada tanaman *Azolla microphylla* sehingga menyebabkan kadar Pb yang terserap oleh tanaman menjadi rendah. Selain itu, dipengaruhi oleh beberapa proses penyerapan oleh tanaman yaitu proses Fitotransformasi yaitu tanaman mampu mengurangi logam berat timbal menjadi sederhana dan berguna untuk tanaman (Nadhila dan Titah, 2020). Proses *phytovolatization* yaitu proses alokasi dan transpirasi zat kontaminasi pada tanaman dalam bentuk terurai kemudian dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk uap pada proses fotosintesis atau waktu proses pemanenan (Sigoro dkk., 2015).

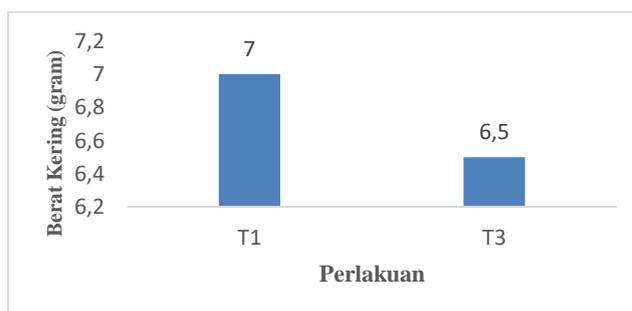
**Berat Tanaman (g)**

Variabel berat tanaman meliputi berat kering dan berat basah. Berat basah dengan nilai rata-rata tertinggi ditunjukkan pada perlakuan T1 yaitu tanaman *Azolla microphylla* sebesar 135,5 gram. Berat kering dengan nilai rata-rata tertinggi ditunjukkan pada perlakuan T1 tanaman *Azolla microphylla* sebesar 7 gram. Berikut merupakan nilai berat basah dan berat kering yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Berat Basah *Azolla microphylla*

Berat basah merupakan hasil pertumbuhan tanaman melalui proses metabolisme tanaman dengan kadar air yang tinggi dan mengandung residu cemaran logam berat timbal. Berat basah pada perlakuan T1 dengan nilai yang tinggi disebabkan oleh nutrisi, suhu dan pH yang digunakan cukup untuk pertumbuhan tanaman dalam proses penyerapan logam berat timbal hingga sampai ke tajuk tanaman. Menurut Supriyantini dan Soenardjo (2015), tumbuhan dapat menurunkan kadar toksitas dari logam berat timbal melalui pengenceran dengan cara menyimpan air yang mengandung ion logam dalam daun sehingga menghasilkan biomassa semakin meningkat dan menghasilkan berat basah yang semakin tinggi pula. Perlakuan T3 nilai berat basah yang rendah yaitu disebabkan oleh kandungan biomassa yang rendah pada tanaman dikarenakan logam berat timbal pada tanaman sebagian diserap oleh bakteri kemudian diuraikan. Selain itu, disebabkan oleh perebutan nutrisi oleh tanaman *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter* sehingga mengganggu pertumbuhan tanaman yang menghasilkan berat basah dengan nilai rendah (Baroroh dkk., 2018).

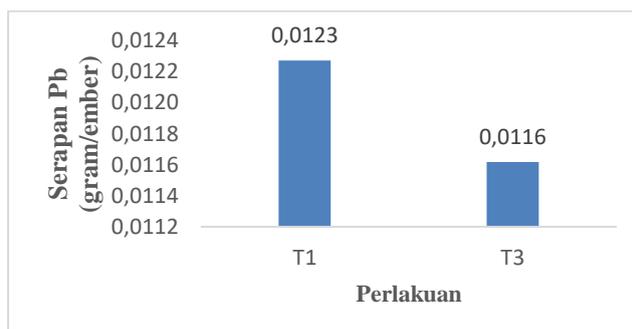


Gambar 6. Berat Kering *Azolla microphylla*

Grafik diatas menunjukkan nilai berat kering selama proses fitoremediasi. Berat kering merupakan hasil metabolisme tanaman tanpa kadar air yang telah dihilangkan melalui proses pengeringan. Perlakuan T1 menunjukkan nilai yang tertinggi dikarenakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman tercukupi untuk proses penyerapan ion logam berat timbal dan pertumbuhan tanaman *Azolla microphylla*. Ketersediaan nutrisi yang cukup dapat mendukung proses metabolisme tanaman dengan baik sehingga meningkatkan berat kering (Fua, 2020). Berat kering menunjukkan akumulasi hasil sintesis senyawa organik melalui proses metabolisme tanaman (Sitorus dkk., 2014). Perlakuan T2 menunjukkan berat kering yang rendah karena adanya perebutan nutrisi oleh *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter* untuk proses pertumbuhan dan penyerapan ion logam Pb.

**Serapan Pb**

Serapan merupakan hasil kali dari kadar Pb pada jaringan tanaman dengan berat kering tanaman. Berikut merupakan hasil serapan Pb tanaman *Azolla microphylla* yang ditunjukkan pada Gambar 7.

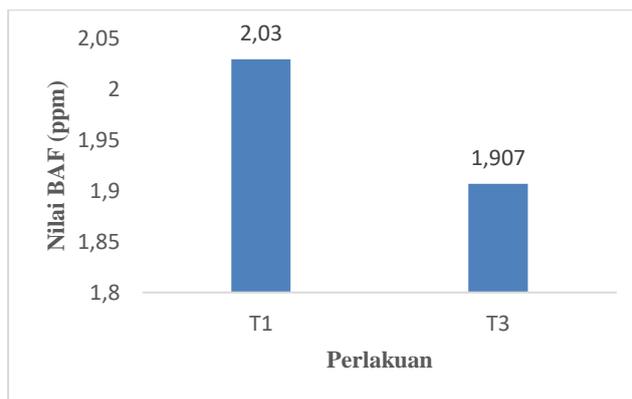


Gambar 7. Serapan Pb pada *Azolla microphylla*

Serapan Pb yang dihasilkan oleh tanaman *Azolla microphylla* yaitu T1 0,0123 gram/ember dan T3 0,0116 gram/ember. Tanaman *Azolla microphylla* menyerap ion logam berat timbal dengan baik hingga sampai ke tajuk tanaman sehingga menghasilkan berat kering dan kadar Pb pada jaringan tanaman yang tinggi jika dikalikan maka menghasilkan nilai serapan Pb yang tinggi, serta mengandung biomassa yang tinggi hasil dari metabolisme tanaman (Kafle *et.al.*, 2022). Serapan Pb menunjukkan bahwa tanaman *Azolla microphylla* mampu menyerap ion logam berat Pb dengan baik dalam kondisi tercekam, suhu dan pH yang rendah maupun tinggi. Serapan Pb yang tinggi disebabkan oleh tanaman memiliki mekanisme penyerapan fitoekstraksi.

**Nilai BAF (*Bioaccumaltion Factor*)**

BAF menunjukkan suatu kemampuan organisme dalam menyerap zat senyawa berbahaya dari lingkungan yang laju penyerapan lebih besar dibandingkan dengan laju pelepasannya (Simbolon dan Purbonegoro, 2021). BAF merupakan suatu indikator yang menunjukkan tanaman termasuk dalam tanaman hiperakumulator atau tidak. Berikut merupakan hasil perhitungan nilai BAF yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai BAF *Azolla microphylla*

Keterangan: BAF<1 (Hiperakumulator rendah), BAF=1 (Hiperakumulator sedang), dan BAF>1 (Hiperakumulator tinggi) (Baker, 1981).

Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai BAF yang dihasilkan perbandingan kadar Pb pada tanaman dan media tanaman yaitu BAF>1. Nilai BAF>1 menunjukkan bahwa tanaman *Azolla microphylla* yang digunakan untuk fitoremediasi termasuk dalam tanaman hiperakumulator. *Azolla microphylla* mampu menyerap ion logam berat sampai ke bagian tajuk tanaman dan menghasilkan biomassa yang tinggi melalui proses metabolisme. Proses bioakumulasi logam berat timbal dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor sifat dari tanaman hiperakumulator yaitu spesies tanaman, fisiologi akar, batang, dan daun, kadar logam berat dalam air, pH, kandungan nutrisi, cahaya matahari, serta kelembapan (Widyasari, 2021).

**Nilai EF (*Enrichment Factor*)**

Nilai EF digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran ekosistem perairan yang tercemar logam berat dan digunakan untuk mengetahui logam berat yang mencemari lingkungan bersumber dari aktivitas antropogenik atau dari alami (Permata dkk., 2018). Berikut merupakan hasil dari perhitungan nilai EF yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai EF (*Enrichment Factor*)

Perlakuan	EF	Kategori
1. Bakteri	0,788 ppm	Pengayaan Rendah
2. Bakteri+Azolla	1,082 ppm	Pengayaan Rendah

Keterangan: EF<2 (Pengayaan rendah), 2<EF<5 (Pengayaan sedang), 5<EF<20 (Pengayaan secara signifikan), 20<EF<40 (Pengayaan berat), dan EF>40 (Pengayaan sangat berat) (Jahan and Stezov, 2018).

Tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai EF yang dihasilkan dari perhitungan berkisar antara 0,788-1,082 ppm termasuk dalam kategori pengayaan rendah. Nilai EF<2 menunjukkan bahwa tidak mengindikasikan adanya unsur logam berat timbal pada sedimen dan faktor antropogenik (Purbonegoro, 2022). Logam berat timbal termasuk dalam pengayaan rendah yang bersumber dari pengikisan batuan mineral dan partikulat pada debu yang mengandung logam (Palar, 2012). Nilai EF<2 disebabkan oleh penggunaan konsentrasi logam berat timbal yang rendah yaitu sebesar 10 ppm. Nilai EF<2 diakibatkan oleh aktivitas *Azolla microphylla* yang menguraikan bahan organik dan mampu menurunkan pH menjadi masam yang menyebabkan logam berat pada media mudah diuraikan atau terserap oleh tanaman maupun bakteri (Tampubolon dan Sulastri, 2017).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan mengenai pengaruh tanaman *Azolla microphylla* dan bakteri akuatik (*Nitrobacter*) sebagai fitoremediator pada kontaminan logam berat timbal (Pb) dapat disimpulkan bahwa:

1. Tanaman *Azolla microphylla* mempunyai kemampuan menyerap logam berat timbal paling baik dibandingkan dengan kombinasi antara *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter* dengan kadar Pb pada tanaman sebesar 1,94 dengan nilai BAF sebesar 2,03 (BAF>1)
2. *Nitrobacter* memiliki kemampuan menyerap dan menguraikan logam berat timbal lebih baik dengan kadar Pb yang tertinggal di media tanam sebesar 0,795 ppm dibandingkan dengan tanaman *Azolla microphylla* sebesar 1,009 ppm maupun kombinasi antara *Azolla microphylla* dan *Nitrobacter* sebesar 1,092 ppm.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada kedua orang tua yang sudah membiayai penelitian mulai dari awal hingga selesai dan memberikan dukungan serta semangat. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dosen Pembimbing telah memfasilitasi prasarana penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ema Sintia yang telah membantu dalam proses penelitian hingga selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdu, N., Abdullahi, A.A. and Abdulkadir, A. (2017). Heavy Metals And Soil Microbes. *Environ Chem Lett*, 15: 65–84. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0587-x>
- Ahemad, M. (2014). Bacterial Mechanisms For Cr (VI) Resistance and Reduction: An Overview and Recent Advances. *Folia Microbiology*, 59:321-332. <https://doi.org/10.1007/s12223-014-0304-8>
- Ajeng, A. B dan P. Wesen. 2015. Penyisihan Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Proses Fitoremediasi. *Teknik Lingkungan*, 5(2): 16-23. <http://eprints.upnjatim.ac.id/id/eprint/6365>
- Astuti, A.D., dan H.S. Titah. (2020). Studi Fitoremediasi Polutan Minyak Bumi di Wilayah Pesisir Tercemar Menggunakan Tumbuhan Mangrove (Studi Kasus: Tumpahan Minyak Mentah Sumur YYA-1 Pesisir Karawang Jawa Barat. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 111-116. DOI: [10.12962/j23373539.v9i2.53046](https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.53046)
- Baker, A.J. (1981). Accumulators and Excluders Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1): 643-654. <https://doi.org/10.1080/01904168109362867>
- Baroroh, F., E. Handayanto, dan R. Irawanto. (2018). Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman *Brassica rapa*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1): 689-700. <http://orcid.org/0000-0002-3955-1278>
- Budiastuti, P., M. Raharjo, N.A.Y. Dewanti. (2016). Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal Di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Kesehatan Masyarakat*, 4(5): 119-125. <https://doi.org/10.14710/jkm.v4i5.14489>
- Effendi, H., B.A. Utomo, G.M. Darmawangsa, dan R.E. Karo-Karo. (2015). Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Lele (*Clarias sp.*) Dengan Kangkung (*Ipomoea aquatica*) Dan Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) Dalam Sistem Resirkulasi. *Ecolab*, 9(2): 80-92. <https://doi.org/10.20886/iklh.2015.9.2.80-92>
- Handayanto, E., Nuraini, Y., N. Muddarisna, N. Syam, dan A. Fiqri. (2017). *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. Malang: UB Press.
- Herniwanti. (2021). *Fitoremediasi Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang (Phytoremediation of Acid Mine Drainage Management)*. Sumatra Barat: Mitra Cendekia Media.
- Hertika, A.M.S., dan R. Baghaz. (2022). *Buku Ajar Kualitas dan Pengelolaannya*. Malang: UB Press
- Jahan, S., and Strezov, V. (2018). Comparison of Pollution Indices For The Assessment of Seaports of NSW, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 128: 295-306. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.036>
- Kafle, A., A.Timilsina, A. Gautam, K. Adhikari, A. Bhattarai, and N. Aryal. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, Plant Selection and Enhancement By Natutral and Synthetic Agents. *Environmental Advances*, 8: 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203>
- Nadhila,U., dan H.S. Titah. (2020). Kajian Penambahan EDTA Pada Fitoremediasi Logam Berat Timbal. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2): 117-122. DOI: [10.12962/j23373539.v9i2.53280](https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.53280)
- Ni'mah L., M.A. Anshari, dan H.A. Saputra. (2019). Pengaruh Variasi Massa dan Lama Kontak Fitoremediasi Tumbuhan Parupuk (*Phragmites karka*) Terhadap Derajat Keasaman (pH) dan Penurunan Kadar Merkuri pada Perairan Bekas Penambangan Intan dan Emas Kabupaten Banjar. *Jurnal Konversi*, 8(1):55-62. <https://doi.org/10.24853/konversi.8.1.8>
- Palar, H. (2012). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Peraturan Pemerintah. (2001). PP RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. 421-487.
- Permata, M.A.D., A.I.S. Purwiyanto, dan G. Diansyah. (2018). Kandungan Logam Berat Cu (Tembaga dan Pb (Timbal) pada Air dan Sedimen Di Kawasan Industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*, 1(1): 7-14. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v1i1.667>
- Pratama, F.A., N. Afiati, dan A. Djunaedi. (2016). Kondisi Kualitas Ir Kolam Budidaya Dengan Penggunaan Probiotik dan Tanpa Probiotik Terhadap Pertumbuhan Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias sp.*) Di Cirebon, Jawa Barat. *Management of Aquatic Resources*, 5(1): 38-45. <https://doi.org/10.14710/mari.v5i1.10666>
- Purbonegoro, T. (2022) Penggunaan Indeks Pencemaran Logam Berat Dalam Sedimen Di Wilayah Pesisir: Studi Kasus Segara Anakan Cilacap Jawa Tengah. *Oseana*, 47(1): 12-19.

- Putra, A.Y., dan F. Marizki. (2020). Analisis Logam Berat pada Air Tanah di Kecamatan Kubu Babussalam, Rokan Hilir, Riau. *Jurnal Katalisator*, 5(1), 47-53. <http://doi.org/10.22216/jk.v5i1.5277>
- Rahayuningtyas, I., N.E. Wahyuningsih, dan Budiyo. (2018). Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak dan Berat Tanaman Apu-apu (*Pistia stratiotes* L.) Terhadap Kadar Timbal pada Irigasi Pertanian. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6):166-174. <https://doi.org/10.14710/jkm.v6i6.22172>
- Rahman, A., R. Aziz, A. Indrawati, dan M. Usman. (2018). Pemanfaatan Beberapa Jenis Arang Aktif sebagai Bahan Absorben Logam Berat Cadmium (Cd) pada Tanah Sedimen Drainase Kota Medan sebagai Media Tanam. *Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 5(1), 42-54. DOI: [10.31289/agr.v5i1.4240](https://doi.org/10.31289/agr.v5i1.4240)
- Rosita, B., dan L. Widiarti. (2018). Hubungan Toksisitas Timbal (Pb) Dalam Darah Dengan Hemoglobin Pekerja Pengecatan Motor Pekanbaru. *Prosiding Seminar Kesehatan Perintis*, 1(1): 1-10.
- Said, N.I., dan M.R. Sya'bani. (2014). Penghilangan Amoniak Di Dala Air Limbah Domestik Dengan Proses *Moving Bed Biofilm Recator* (MBBR). *JAI*, 7(1): 44-65. <https://doi.org/10.29122/jai.v7i1.2399>
- Safrianti, I., N. Wahyuni, dan T.N. Zaharah. (2012). Adsorpsi Timbal (II) Oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat: Pengaruh pH dan Waktu Kontak. *JKK*, 1(1): 1-7
- Sarnia, S., H. Natsir, dan S. Dali. (2017). Produksi dan Karakterisasi Enzim Kitosanase dari Isolat Bakteri Klebsiella sp. *Techno: Jurnal Penelitian* 4(02): 08-15. DOI: <https://doi.org/10.33387/tk.v4i02.339>
- Samsulaga, R.F., dan Wimpy. (2022). Hubungan Jenis Pestisida Berdasarkan Kandungan Senyawa Aktif Yang Digunakan Terhadap Kadar Timbal (Pb) Dalam Darah Petani Di Kabupaten Bangka. *Jurnal Surya Medika*, 8(3): 146-153. <https://doi.org/10.33084/jsm.v8i3.3626>
- Sarwono, E., Adnan, F., dan Elvanyani, R. (2022). Kemampuan Tanaman Sirih Gading (*Epipremnum aureum*) Dalam Menyerap Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Dari Emisi Gas Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(2), 44-52. <http://dx.doi.org/10.30872/jtlunmul.v5i2.7087>
- Sigiro, E. R. P. S., A.W.N. Jati dan L.I. Murwani. (2015). Efektivitas Penyerapan Timbal (Pb) Menggunakan Penambahan Mikoriza Dan EDTA Pada Bunga Matahari (*Helianthus annuus* LINN.). *Yogyakarta: Universitas Atma Jaya*, 1-10.
- Simbolon, A.R., dan T. Purbonegoro. (2021). Bioakumulasi Merkuri (Hg) pada Lamun *Enhalus acoroides* dan Mangrove *Rhizophora apiculata* di Pulau Pari, Kepulauan Seribu. *Oseonologi dan Limnologi Di Indonesia*, 6(3): 137-147.
- Singh, S.K., X. Wu, C. Shao, and H. Zhang. (2022). Microbial Enhancement of Plant Nutrient Acquisition. *Stress Biology*, 2(3):1-14. <https://doi.org/10.1007/s44154-021-00027-w>
- Sitorus, U. K. P., B. Siagian, dan N. Rahmawati. (2014). Respon Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.) Terhadap Pemberian Abu Boiler dan Pupuk Urea Pada Media Pembibitan. *Jurnal Online Agroteknologi*, 2(3), 1021-1029. DOI: [10.32734/jaet.v2i3.7455](https://doi.org/10.32734/jaet.v2i3.7455)
- Suharjo, H.M., R. Ernawati, dan Nurkhamin. (2022). Cekaman Logam Berat Cromium Terhadap Tanaman. *Jurnal Teknologi Mineral*, 10(1): 8-16. <http://dx.doi.org/10.30872/jtm.v10i1.7496>
- Supriyantini, E., dan N. Soenardjo. (2015). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Akar dan Buah Mangrove (*Avicennia marina*) Di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(2): 98-106. <https://doi.org/10.14710/jkt.v18i2.520>
- Tampubolon, K., dan Y.S. Sulastri. (2017). Potensi *Azolla pinnata* Sebagai Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Timbal (Pb). *Inovasi di Bidang Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 1(1): 236-244.
- Yulianto, M.R., E. Safitri, I. Sintya, W. Savira, dan Herlina. (2021). Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Sebagai Agen Fitoremediasi LAS (*Linier Alky Benzene Sulphonate*) Detergen. *Inovasi Riset Biologi dalam Pendidikan dan Pengembangan Sumber Daya Lokal*, 952-960
- Widyasari, N.L. (2021). Kajian Tanaman Hiperakumulator pada Teknik Remediasi Lahan Tercemar Logam Berat. *Jurnal Ecocentrism*, 1(1): 17-24. <https://doi.org/10.36733/jeco.v1i1.1748>
- Wijayati, W.I., dan I.F. Purwanti. (2022). Kajian Remediasi Tanah Terkontaminasi Logam Berat Timbal di Desa Pesarean, Kabupaten Tegal dengan Stabilisasi/Solidifikasi. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), 28-33. DOI: [10.12962/j23373539.v11i2.83122](https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.83122)
- Wiyantoko, B., P. Kurniawati, dan T.E. Purbaningtiyas. (2017). Pengujian Nitrogen Total, Kandungan Air dan Cemaran Logam Timbal pada Pupuk Anorganik Nitrogen Phospor Kalium (NPK) Padat. *Sains dan Teknologi*, 6(1): 51-60. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v6i1.9439>