



Research Article

Fitoremediasi Lahan Tercemar Pb menggunakan *Helianthus annuus L.* dengan *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*

Phytoremediation of Pb Contaminated Land using *Helianthus annuus L.* with *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa*

Cauny Nur Al-Hayah*, Susilo Budiyanto, Eny Fuskhah

Departemen Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto No. 13, Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*Corresponding author: caunynuralhayah@students.undip.ac.id

ABSTRACT

*This study aimed to evaluate the effect of adding various doses and types of bacteria on the growth and ability of sunflower plants to absorb Pb from polluted land. The research was carried out in the study used a factorial experiment with a completely randomized design (CRD). The first factor is the dose of bacteria consisting of (A) 25 ml/plant, 50 ml/plant, and 75 ml/plant. The second factor was the type of bacteria (B), which consisted of *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa*. The observation parameters included plant height, number of leaves, root length, dry matter, Pb levels in the soil, and Pb levels in the leaves, stems, and roots. The data obtained were processed using Analysis of Variance, followed by the Least Significant Difference Test at the 5% level. There is an interaction between the dose of bacteria and the type of bacteria on the parameters of the number of leaves, and root length. The dose of bacteria affects root length, Pb levels in leaves, and Pb levels in stems. The best bacterial dose was 75 ml. The treatment of bacterial species did not affect plant growth, Pb uptake in plants, and Pb adsorption in soil.*

Keywords: Bacillus subtilis, Pseudomonas aeruginosa, Pb

PENDAHULUAN

Tanah yang telah tercemar logam umumnya mengalami penurunan sifat baik sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Cemaran logam pada area pertanian dapat berasal dari pestisida, alih fungsi lahan pertanian, penggunaan air limbah sebagai irigasi, dan longgokan bahan alam ke permukaan tanah (Hidayat, 2015). Luas panen lahan padi mengalami penurunan mencapai 245,47 ribu hektar (2,30%) dibanding 2020 (BPS, 2022). Sebaran lahan kritis dan sangat kritis di Indonesia pada tahun 2018 – 2020 mencapai 14.006.450 hektar (KLHK, 2020).

Logam berat Pb bersifat non-biodegradable, mutagenik, karsinogenik dan merusak sistem saraf bagi kesehatan (Farooqi et al., 2022). Ambang batas maksimum logam Pb pada tanah pertanian yaitu sebesar 150 ppm (KLH dan Dalhousie University, 1992). Baku mutu Pb pada tanah menurut U.S. Environmental Protection Agency kadar aman untuk kegiatan pertanian berkisar 0 – 100 ppm, berpotensi tidak aman untuk tanaman perakaran namun aman untuk tanaman legum, buah dan

hortikultura berkisar pada 100 – 400 ppm, tidak aman untuk budidaya hortikultura dan perkebunan pada kadar lebih dari 400 ppm (US.EPA, 2020).

Fitoremediasi merupakan proses perbaikan lahan dengan memanfaatkan tanaman untuk menjerap, menstabilkan dan mentransformasi beragam senyawa dan unsur logam toksik pada tanah dan air (Zulkernain et al., 2023). Kombinasi bakteri biodegradatif *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. sering dimanfaatkan fitoremediasi pada tanaman akumulator karena mampu meningkatkan biomassa tanaman terhadap cekaman logam, melarutkan P, memproduksi IAA, dan meningkatkan jerapan logam (Glick, 2010).

Penanaman bunga matahari dan penambahan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* dapat meningkatkan translokasi, immobilisasi dan khelat ion Pb^{2+} dalam tanah sehingga tanah dapat dimanfaatkan kembali untuk budidaya pertanian

MATERI DAN METODE

Penelitian dari bulan Juli 2020 – Oktober 2021 di Rumah Kasa dan Laboratorium Terpadu, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (BALINGTAN), Jakenan, Pati.

Bahan

Bahan penelitian yang digunakan yaitu benih matahari (*Helianthus annuus* L.) varietas IPB BM1 sebanyak 27 tanaman, urea, SP 36, KCl, NB (Nutrient Broth), agar, hablur $Pb(NO_3)_2$, tanah tercemar Pb 150 ppm, kompos, isolat Balingtan *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis*, pestisida kimia. Alat yang digunakan adalah sekop, tray semai, selang, piringan, pengaduk kayu, paku, palu, lem tembak, ember berdiameter 30 cm, neraca digital $\pm 0,001$ g, mistar $\pm 0,1$ cm, tabung destruksi, cawan petri, erlenmeyer, tabung reaksi, gelas ukur berbagai ukuran, hot plate, ose, inkubator, oven, kapas, stirrer, laminar air flow, alat tulis dan kamera.

Metode

Rancangan penelitian yang digunakan adalah percobaan faktorial 3 x 3 dengan dasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang diulang sebanyak 3 kali. Faktor pertama adalah dosis bakteri (mL per tanaman) yang terdiri atas 3 taraf yaitu (A1) 25 mL, (A2) 50 mL, dan (A3) 75 mL. Faktor kedua adalah jenis bakteri yang terdiri atas 3 perlakuan bakteri yaitu (B1) *Bacillus subtilis*, (B2) *Pseudomonas aeruginosa*, dan (B3) kombinasi *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Percobaan diamati hingga mencapai umur tanaman 63 HST. Didapatkan populasi tanaman percobaan sebanyak 27 unit percobaan.

Pembuatan Tanah Tercemar Pb (II) 150 ppm

Pembuatan tanah tercemar dengan cara menimbang tanah dan kompos (2:1) seberat 10 kg kemudian dibubuhi $Pb(NO_3)_2$ 2.477 g yang telah dilarutkan dalam 100 mL aqua destilata ke dalam 10 kg tanah. Tanah yang telah tercampur larutan Pb kemudian diinkubasi selama 2 minggu. Air ditambahkan kedalam ember inkubasi tanah sebanyak $\frac{3}{4}$ volume ember. Tanah yang telah tercampur larutan Pb kemudian diaduk tiap 2 kali sehari selama 2 minggu masa inkubasi.

Pembuatan Inokulan Bakteri

Pembuatan inokulan bakteri dilakukan dengan cara peremajaan, perbanyakan dan perhitungan bakteri. Peremajaan isolat bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* dilakukan dengan cara mengambil 1 ose kultur murni lalu digoreskan pada media NB agar kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu $37^\circ C$. Perbanyakan bakteri dilakukan dengan cara mengambil 1 ose hasil peremajaan ke dalam media NB sebanyak 1.4 L lalu di-shaker pada kecepatan 150 rpm selama 2 hari. Perhitungan bakteri dilakukan dengan uji Standard Plate Count menggunakan metode pour plate. Sampel diambil 1 mL kemudian diencerkan 10 seri pengenceran lalu ditumbuhkan pada cawan petri

menggunakan media NB agar. Dilakukan pengulangan pada setiap seri sebanyak 3 kali (triplo). Inkubasi cawan petri selama 24 jam pada suhu 37°C.

Penanaman Bunga Matahari var. IPB BMI dan Inokulasi Bakteri

Analisis awal tanah meliputi analisis kimia dan tekstur tanah. Pemupukan pertama (N 150 kg ha⁻¹, P2O5 125 kg ha⁻¹, K2O 125 kg ha⁻¹) bunga matahari varietas IPB BM 1 dilakukan saat tanaman berumur 14 HST bersamaan dengan pindah tanam. Pemupukan kedua dilakukan saat tanaman berumur 7 HST sementara inokulasi bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* dilakukan saat 14 HST. Inokulasi bakteri dilakukan dengan menambahkan 10% molase dari total volume inokulan. Pemeliharaan meliputi penyiraman, penyulaman, dan pengendalian hama penyakit secara fisik, mekanik dan kimiawi. Pemanenan dilakukan pada 63 HST dilanjutkan pengamatan dan pengolahan data. Parameter pengamatan meliputi jumlah daun, tinggi tanaman, panjang akar, bahan kering tanaman, kadar Pb dalam tanah, kadar Pb dalam daun, batang, dan akar.

Data yang telah diperoleh diuji menggunakan Analysis of Variance (ANOVA) dan hasil analisis ragam yang berpengaruh nyata terhadap parameter yang diamati kemudian diuji lanjut menggunakan uji *Least Significant Different* (LSD) pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan jenis bakteri, dosis bakteri dan interaksi antara jenis bakteri dengan dosis bakteri tidak berpengaruh terhadap tinggi tanaman bunga matahari. Tinggi tanaman akibat perlakuan jenis bakteri dan dosis bakteri berdasarkan uji LSD disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Tinggi Tanaman dengan Perlakuan Dosis dan Jenis Bakteri

Jenis Bakteri	Dosis Bakteri (mL)			Rataan
	25	50	75	
	(cm)			
<i>Bacillus subtilis</i>	28.40	42.33	39.33	36.69
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	44.50	38.17	49.17	43.94
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	39.00	38.33	40.50	39.28
Rataan	37.30	39.61	43.00	39.97

Berdasarkan Tabel 1. dapat dilihat bahwa tinggi tanaman bunga matahari pada semua perlakuan baik jenis bakteri maupun dosis bakteri menunjukkan tinggi yang sama. Aplikasi inokulan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* pada dasarnya mengurangi toksitas logam terhadap tanaman. Hal ini sesuai pernyataan Wrobel et al. (2023) yang menyatakan bahwa *Bacillus subtilis* melakukan bioapsorpsi, bioakumulasi dan biopresipitasi untuk mengurangi kadar logam dalam tanah, penambahan *Bacillus subtilis* pada tanaman yang memiliki resistensi tinggi terhadap cekaman logam meningkatkan pertumbuhan tanaman tersebut dan efisiensi bioremediasi.

Jumlah Daun Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan jenis bakteri dan dosis bakteri tidak berpengaruh terhadap jumlah daun tanaman sedangkan interaksi antara jenis bakteri dengan dosis bakteri berpengaruh terhadap jumlah daun tanaman. Jumlah daun tanaman bunga matahari akibat perlakuan jenis bakteri dan dosis bakteri dan berdasarkan hasil uji LSD ($p < 0,05$) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Jumlah Daun Tanaman Bunga Matahari dengan Perlakuan Dosis dan Jenis Bakteri

Jenis Bakteri	Dosis Bakteri (mL)			Rataan
	25	50	75	
	(helai)			
<i>Bacillus subtilis</i>	19.00a	23.33a	18.33a	20.22
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	25.67a	20.33a	25.00a	23.67
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	24.67a	10.67a	25.33a	20.22
Rataan	23.11	18.11	22.89	21.37

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan LSD pada taraf $\alpha=5\%$

Berdasarkan Tabel 2. dapat diketahui bahwa jumlah daun tanaman bunga matahari pada perlakuan jenis bakteri *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas aeruginosa* dengan perlakuan dosis 50 mL menunjukkan hasil terendah dibanding seluruh perlakuan. Dosis 50 mL inokulan kurang baik untuk menunjang pertumbuhan daun tanaman. *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* bersifat antagonis terhadap patogen tanah namun tidak berpengaruh terhadap tanaman karena tanah yang tidak steril. Tanaman bunga matahari mengalami cekaman biotik dan abiotik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Pinaria dan Assa (2017) yang menyatakan tanah yang dengan perlakuan uji bakteri perlu melalui proses sterilisasi bakar, oven atau autoklaf agar patogen pembawa dalam tanah menurun sehingga terlihat pengaruh uji bakterinya. Tanaman bunga matahari dapat optimal tumbuh pada proses fotoremediasi apabila faktor lingkungan optimal. Suhu menjadi salah satu faktor pembatas tumbuhnya bunga matahari dengan, tercatat suhu screen house sebesar 27 – 34°C dengan kelembaban 80%. Menurut Djaenudin et al. (2011) menyatakan bunga matahari memiliki kelas kesesuaian rerata pada temperatur (S1)18 – 26°C, (S2)26 – 28°C, (S3)28 – 30°C, dan (S3) > 30°C.

Panjang Akar Tanaman

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan dosis bakteri dan interaksi antara dosis bakteri dengan jenis bakteri berpengaruh terhadap panjang akar sedangkan perlakuan jenis bakteri tidak berpengaruh terhadap panjang akar tanaman. Panjang akar tanaman akibat perlakuan dosis bakteri dan perlakuan jenis bakteri berdasarkan hasil uji LSD ($p<0,05$) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Panjang Akar Tanaman Bunga Matahari dengan Perlakuan Dosis dan Jenis Bakteri

Jenis Bakteri	Dosis Bakteri (mL)			Rataan
	25	50	75	
	----- (cm) -----			
<i>Bacillus subtilis</i>	3.33d	5.00bc	5.67b	4.67
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5.00cd	2.67d	7.00a	4.89
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	4.67cd	5.33bc	5.67ab	5.22
Rataan	4.33b	4.33b	6.11a	4.93

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada matriks interaksi dan baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan LSD pada taraf $\alpha=5\%$

Berdasarkan Tabel 3. dapat diketahui bahwa interaksi dosis bakteri dengan jenis bakteri berpengaruh terhadap panjang akar tanaman bunga matahari. Perlakuan jenis bakteri *Bacillus subtilis* pada perlakuan dosis 75 mL sama dengan dosis 50 mL namun lebih tinggi dibanding dosis 25 mL. Panjang akar tanaman bunga matahari pada perlakuan jenis bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada dosis bakteri 75 mL menunjukkan hasil tertinggi pada perlakuan dosis 50 mL dan dosis 25 mL yang menunjukkan hasil sama. Panjang akar tanaman bunga matahari pada perlakuan jenis bakteri *Bacillus*

subtilis + *Pseudomonas aeruginosa* pada perlakuan dosis 75 mL sama dengan perlakuan jenis bakteri *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas aeruginosa* pada perlakuan dosis bakteri 50 mL namun lebih tinggi dibanding perlakuan dosis 25 mL sedangkan pada perlakuan jenis bakteri *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas aeruginosa* 50 mL sama dengan perlakuan jenis bakteri *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas aeruginosa* pada dosis bakteri 25 mL. Panjang akar tertinggi dihasilkan pada jenis bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dengan perlakuan dosis 75 mL dan jenis bakteri *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas aeruginosa* dengan perlakuan dosis 75 mL. Hal ini menunjukkan kedua bakteri menunjang pertumbuhan tanaman bunga matahari pada cekaman logam berat pada dosis tertinggi perlakuan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sorour et al. (2022) yang menyatakan bahwa *Pseudomonas* dan *Bacillus* merupakan spesies yang dominan ditemukan pada rhizosfer bunga matahari dan mampu meningkatkan kapasitas serapan hara. Hal ini didukung Kong dan Glick (2017) yang menyatakan bahwa *Pseudomonas aeruginosa* meningkatkan translokasi hara tanaman pada tanah tercemar Pb sedangkan *Bacillus subtilis* meningkatkan efisiensi fotosintesis dan meningkatkan level kolonisasi pada rhizosfer tanaman.

Panjang akar tanaman bunga matahari pada pemberian perlakuan dosis bakteri 75 mL lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan dosis bakteri 25 mL dan dosis bakteri 50 mL, sedangkan panjang akar tanaman pada pemberian perlakuan dosis bakteri 25 mL sama dengan pemberian perlakuan dosis bakteri 50 mL. Perlakuan pemberian dosis bakteri 75 mL memberikan hasil panjang akar tertinggi karena semakin banyak dosis inokulan semakin luas permukaan bioapsorsi logam pada tanah sehingga membantu proses pertumbuhan akar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hindersah dan Matheus (2015) yang menyatakan penambahan bakteri pada proses bioremediasi meningkatkan aktivitas bakteri pada rizosfer tanaman yang dapat memperbaiki kualitas tanah.

Bahan Kering Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan dosis bakteri, dan interaksi antara dosis bakteri dengan jenis bakteri, dan jenis bakteri tidak berpengaruh terhadap bahan kering tanaman bunga matahari. Bahan kering tanaman bunga matahari akibat perlakuan dosis bakteri dan jenis bakteri berdasarkan hasil uji LSD ($p < 0,05$) disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata Bahan Kering Tanaman Bunga Matahari dengan Perlakuan Dosis dan Jenis Bakteri

Jenis Bakteri	Dosis Bakteri (mL)			Rataan
	25	50	75	
	------(g)-----			
<i>Bacillus subtilis</i>	2.00	3.16	2.35	2.50
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.65	1.35	3.22	2.41
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.03	1.43	3.60	2.35
Rataan	2.22	1.98	3.06	2.42

Berdasarkan Tabel 4. dapat diketahui bahwa bahan kering tanaman bunga matahari menunjukkan hasil yang sama pada perlakuan jenis bakteri dan dosis bakteri. Tanaman bunga matahari yang memiliki resistensi terhadap cekaman logam berat namun tingginya cekaman logam dapat mengganggu transport hara dan zat padat terlarut dalam jaringan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Paliwal et al. (2013) yang menyatakan bahwa bahan kering bunga matahari mengalami pengurangan seiring meningkatnya konsentrasi Pb dalam tanah. Bobot bahan kering tanaman bunga matahari menandakan berat makro molekul hasil fotosintesis selama proses penanaman pada tanah tercemar. Logam berat bersifat beracun pada konsentrasi diatas ambang batas aman menghambat pembentukan klorofil menjadikan pembentukan bahan kering tanaman rendah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Li et al. (2020) yang menyatakan bahwa cekaman logam dapat menghambat sintesis klorofil, dikarenakan substitusi ion logam berat pada Mg^{2+} pembentuk klorofil.

Kadar Pb pada Tanah

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan dosis bakteri, jenis bakteri dan interaksi antara dosis bakteri dengan jenis bakteri tidak berpengaruh terhadap kadar Pb dalam tanah. Analisis Pb pada tanah akibat perlakuan dosis bakteri dan jenis bakteri berdasarkan hasil uji LSD ($p < 0,05$) disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata Hasil Analisis Pb pada Tanah dengan Perlakuan Dosis dan Jenis Bakteri

Jenis Bakteri	Dosis Bakteri (mL)			Rataan
	25	50	75	
	----- (ppm) -----			
<i>Bacillus subtilis</i>	46.361	50.346	58.854	51.854
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	42.594	76.756	65.964	61.771
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	61.842	81.225	37.752	60.273
Rataan	50.265	69.443	54.190	57.966

Berdasarkan Tabel 5. didapatkan hasil kadar Pb pada tanah dengan perlakuan dosis bakteri dan jenis bakteri menunjukkan kadar yang sama. Pemberian inokulum bakteri pendegradasi logam berbagai dosis tidak berpengaruh nyata terhadap perubahan konsentrasi Pb pada tanah. Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* meremediasi sifat beracun logam Pb terhadap tanaman sehingga mendukung proses fitostabilisasi pada perakaran. Secara teoritis konsentrasi logam Pb tidak berkurang pada mekanisme bioremediasi oleh bakteri namun berubah menjadi senyawa yang tidak beracun. Hal ini dapat disebabkan karakteristik tanah maupun faktor eksternal pada lingkungan. Umumnya ion Pb^{2+} berikatan dengan fraksi liat dan kompleks organik melekul, semakin tinggi fraksi liat tanah semakin kuat ikatan Pb^{2+} dalam tanah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Setiadi et al. (2017) yang menyatakan bahwa sifat bioavailabilitas logam berat bergantung pada sifat fisika kimia fraksi tanah. Hal ini didukung pernyataan Tiquia-Arashiro (2018) yang menyatakan bahwa mekanisme bioadsorpsi bakteri dapat dilakukan dengan memproduksi exopolisakarida, mengeksudat asam organik untuk presipitasi logam, pembentukan siderofor untuk mengakumulasi logam, dan sekuestrasi senyawa kompleks logam ke dalam sitoplasma.

Kadar Pb pada Daun Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan dosis bakteri berpengaruh terhadap kadar Pb pada daun tanaman. Perlakuan jenis bakteri dan interaksi antara dosis bakteri dengan jenis bakteri tidak berpengaruh terhadap kadar Pb pada daun tanaman. Analisis Pb pada daun tanaman bunga matahari akibat perlakuan dosis dan jenis bakteri berdasarkan hasil Uji LSD ($p < 0,05$) disajikan pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6. dapat diketahui bahwa kadar Pb pada daun tanaman perlakuan dosis bakteri 25 mL menunjukkan yang sama dengan dosis bakteri 50 mL, sedangkan perlakuan pemberian dosis bakteri 50 mL sama dengan perlakuan dosis bakteri 75 mL namun perlakuan dosis 25 mL lebih tinggi dibanding perlakuan dosis 75 mL. Perlakuan dosis bakteri 75 mL menunjukkan hasil terendah terhadap kadar Pb dalam daun. Aplikasi dosis bakteri yang tinggi semakin banyak bakteri membentuk ikatan kompleks dengan logam menyebabkan tanaman lebih mudah mensekuestrasi logam Pb tanah ke dalam sel tanaman. Tingginya dosis bakteri yang diaplikasikan meningkatkan potensi pembentukan senyawa kompleks dengan logam sehingga tanaman lebih mudah menyerap unsur hara yang tersedia. Hal ini sesuai Windiastuti et al. (2023) yang menyatakan bahwa *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman pada cekaman tanah tercemar. Kadar Pb daun menunjukkan adanya proses fitoekstraksi namun ion Pb bersifat immobile, berikatan erat dengan mineral liat, dan bahan organik menjadikan proses fitoekstraksi sulit dilakukan

bunga matahari. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kumar et al. (2020) yang menyatakan bunga matahari cenderung melakukan fitostabilisasi pada akar dengan kadar 7.76 ± 0.008 mg/kg.

Tabel 6. Rata-rata Hasil Analisis Pb pada Daun Tanaman Bunga Matahari dengan Perlakuan Dosis dan Jenis Bakteri

Jenis Bakteri	Dosis Bakteri (mL)			Rataan
	25	50	75	
	------(ppm)-----			
<i>Bacillus subtilis</i>	21.25	10.73	9.93	13.97
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12.71	14.05	8.55	11.77
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12.49	9.32	9.10	10.31
Rataan	15.48a	11.37ab	9.19b	12.02

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan LSD pada taraf $\alpha=5\%$

Kadar Pb pada Batang Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan dosis bakteri berpengaruh terhadap kadar Pb pada batang tanaman bunga matahari, sedangkan perlakuan jenis bakteri dan interaksi antara dosis bakteri dengan jenis bakteri tidak berpengaruh terhadap kadar Pb pada batang tanaman bunga matahari. Kadar Pb pada batang tanaman bunga matahari akibat perlakuan dosis bakteri dan jenis bakteri hasil uji LSD ($p<0,05$) disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rata-rata Hasil Analisis Pb pada Batang Tanaman Bunga Matahari dengan Perlakuan Dosis dan Jenis Bakteri

Jenis Bakteri	Dosis Bakteri (ml)			Rataan
	25	50	75	
	------(ppm)-----			
<i>Bacillus subtilis</i>	9.69	2.81	4.00	36.69
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	4.10	8.30	4.77	43.94
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	15.47	3.71	5.58	39.28
Rataan	9.75a	4.94b	4.78a	6.49

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan LSD pada taraf $\alpha=5\%$

Berdasarkan Tabel 7. dapat diketahui pada perlakuan dosis bakteri 25 mL sama dengan dosis bakteri 75 mL terhadap kadar Pb pada batang lebih tinggi dibanding perlakuan dosis bakteri 50 mL. Dosis bakteri 50 mL menunjukkan kadar Pb terendah pada batang. Hal ini menunjukkan pada perlakuan dosis bakteri yang 50 mL dapat meningkatkan aktivitas fitostabilisasi lebih efektif pada perakaran tanaman. Akumulasi Pb pada batang disebabkan translokasi pada jaringan xylem pada proses fitoekstraksi sebagai respon tanaman hiperakumulator terhadap cekaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Pasricha et al. (2021) yang menyatakan bahwa fitoekstraksi Pb dalam tajuk merupakan hasil tranlokasi akar dalam bentuk senyawa kompleks metal. Hal ini didukung Benizri et al. (2021) bakteri resisten logam berperan meningkatkan biomassa tanaman dan meningkatkan konsentrasi bioavailabilitas logam terhadap tanaman.

Kadar Pb pada Akar Tanaman

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan dosis bakteri, jenis bakteri, dan interaksi antara perlakuan dosis bakteri dengan jenis bakteri tidak berpengaruh terhadap kadar Pb pada akar

tanaman bunga matahari. Hasil uji adar Pb pada akar tanaman akibat perlakuan dosis bakteri dan jenis bakteri menggunakan uji LSD ($p < 0,05$) disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rata-rata Hasil Analisis Pb pada Akar Tanaman Bunga Matahari dengan Perlakuan Dosis dan Jenis Bakteri

Jenis Bakteri	Dosis Bakteri (mL)			Rataan
	25	50	75	
	------(ppm)-----			
<i>Bacillus subtilis</i>	136.9	24.7	29.0	63.53
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	75.3	25.0	15.4	38.56
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9.0	20.7	39.4	23.01
Rataan	73.72	23.45	27.92	41.70

Berdasarkan Tabel 8. didapatkan hasil perlakuan dosis bakteri dan jenis bakteri menunjukkan hasil analisis Pb pada akar tanaman kadar yang sama. Afinitas logam, konsentrasi logam berat tersedia, sifat fisika-kimia tanah, dan jenis tanaman mempengaruhi mekanisme proses fitoremediasi tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mohrazi et al. (2023) yang menyatakan bahwa bunga matahari cenderung melakukan mekanisme fotostabilisasi untuk logam Cd dan Pb pada perakaran serta fotoekstraksi pada tajuk untuk logam Zn dan Ni. Tanaman hiperakumulator mengekskudat khelat pada area rizofe untuk membentuk senyawa kompleks. Hal ini sesuai dengan pernyataan Alaboudi et al. (2018) yang menyatakan bahwa tanaman bunga matahari mengikat Pb lebih besar pada bagian akar dibanding tajuk sebesar tanah tercemar 200 ppm Pb.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa terdapat interaksi pemberian dosis bakteri dan jenis bakteri pada parameter jumlah daun, dan panjang akar. Dosis bakteri berpengaruh terhadap panjang akar, kadar Pb pada daun dan kadar Pb pada batang, didapat dosis bakteri terbaik yaitu 75 mL. Perlakuan jenis bakteri tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, serapan Pb pada tanaman dan jerapan Pb pada tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terimakasih kepada Balai Lingkungan Pertanian, Pati, Jawa Tengah sebagai fasilitator penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaboudi, K., A. B. Ahmed. Dan G. Brodie. 2018. Phytoremediation of Pb dan Cd contaminated soil by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *J. Annals of Agriculture Sciences*, 66(1):123-127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.05.007>.
- Benizri, E., S. Lopez, A. Durand, dan P. S. Kidd. 2021. Diversity and role of endophytic dan rhizosphere microbes associated with hyperaccumulator plants during metal accumulation. *J. Agromining: Farming for Metals, Mineral Resource Review*: 239 – 279.
- BPS. 2022. Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2021. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Djaenudin, D., Marwan, H., Subagjo, H., dan A. Hidayat. 2011. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan Untuk Komoditas Pertanian. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Bogor.

- Farooqi, Z. U. R., M.M. Hussain, M A. Ayub, A. A. Qadir, dan P. Ilic. 2022. *Phytoremediation Biotechnological Strategies for Promoting Invigorating Environs*. Academic Press Elsevier. London.
- Glick, B. R. 2010. Using soil bacteria facilitate phytoremediation. *J. Elsevier Biotechnology Advance*, 28:367-374. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.02.001>.
- Hidayat, B. 2015. Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar. *J. Pertanian Tropik*, 2(1):31-41.
- Hindersah, R. dan J. Matheus. 2015. Respons pertumbuhan vegetatif jagung di tailing tambang timah terkontaminasi kadmium setelah inokulasi bakteri indigenus. *J. Agrologia*, 4(1):8-14.
- KLH dan Dalhousie, University Canada. 1992. *Environmental Management in Indonesia. Report of Soil Quality Standards for Indonesia*. Jakarta.
- KLHK. 2020. *Statistik 2020 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Lingkungan Hidup dan Kehutanan*. Jakarta.
- Kong, Z., dan B. R. Glick. 2022. The role of plant growth-promoting bacteria in metal phytoremediation. *J. Advances in microbial physiology*, 71:97-132. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2017.04.001>.
- Kumar, C.P. Ms, A. K. Chaturvedi, A. A. Shabnam, G. Subrahmanyam, R. Monda, dan K. K. Yadav. 2020. Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches *Int. J. of Environmental Research and Public Health*, 17(7):2179. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179>.
- Li, C., J. Yang, dan D. Wang. 2020. Phytoremediation of uranium and cadmium contaminated soils by sunflower [*Helianthus annuus* (L.)] enhanced with biodegradable chelating agents. *J. of Cleaner Production*, 263:121491. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121491>.
- Mohrazi, A., R. Ghasemi-Fasaei, A. Mojiri dan S.S. Shirazi. 2023. Investigating an electro-bio-chemical phytoremediation of multi-metal polluted soil by maize and sunflower using RSM-based optimization methodology. *J. Environmental and Experimental Botany*, 211: 105352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105352>.
- Paliwal, H. B., N. Gupta, dan A. James. 2013. Study accumulation of lead in sunflower [*Helianthus annuus* (L.)]. *J. of Industrial Pollution Control*, 30(1):91-96.
- Pasricha, S., V. Mathur, A. Garg, S. Lenka, K. Verma dan S. Agarwal. 2021. Molecular mechanisms underlying heavy metal uptake, translocation and tolerance in hyperaccumulators-an analysis Heavy metal tolerance in hyperaccumulators. *J. Environmental Challenges*, 4: 100197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100197>.
- Pinaria, A. G., dan B. H. Assa. 2017. *Jamur Patogen Tanaman Terbawa Tanah*. Media Nusa Creative. Malang.
- Setiadi, A. D., B. Rumhayati, dan C. Retnaningdyah. 2017. Profil fraksi geokimia logam Cd, Pb, dan Zn pada sedimen wilayah reklamasi lumpur Sidoarjo di muara sungai Porong Sidoarjo. *J. Natural B.*, 4(1):11-22.
- Sorour, A. A., H. Khairy, dan H. A. H. Zaghoul. 2022. Microbe- plant interaction as a sustainable tool for mopping up heavy metal contaminated sites. *J. BMC Microbiology*, 22:174. doi: <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02587-x>.
- Tiquia-Arashiro, S.M. 2018. Lead absorption mechanisms in bacteria as strategies for lead bioremediation. *J. Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(13):5437-5444.
- U.S.EPA. 2020. *Lead in Soil*. U.S. EPA Office of Research and Development. EPA/625/R-00/012. Region III. Ohio.
- Windiastuti, E., M. H. Ramadhan, V. T. Manik., F. Kurniati, dan Y. Sunarya. 2023. Response of [*Cucumis sativus* (L)].'s growth and harvest to variations in soaking time and plant growth promoting Rhizobacteria concentration. *J. Biologi Tropis*, 23(3):164-172.

- Wrobel, M., W. Sliwakowski, P. Kowalczyk, K. Kramkowski, dan J. Dobrzynski. Bioremediation of heavy metal by genus *Bacillus*. *J. Int. Environ. Res. Public Health*, 20(6):4964. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph20064964>.
- Zulkernain, N. H., T. Uvarajan, dan C. C. Ng. 2023. Roles and significance of chelating agents for potentially toxic elements (PTEs) phytoremediation in soil: A review. *J. of Environmental Management*. 341:117926. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117926>.