

Effect of Cadmium (Cd) on the Quality of Liberica Coffee (*Coffea liberica* Bull ex Hiern) Seedlings Grown with Mycorrhizal *Jatropha* (*Jatropha curcas*) as a Hyperaccumulator

Nur Huda¹, Anis Tatik Maryani², Eliyanti³, Bambang Niko Pasla⁴

¹Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

²Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

³Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

⁴Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Provinsi Jambi, Jambi, Indonesia

Corresponding author email: hnur612932@gmail.com

Abstract—Introduction/Main Objectives: Coffee in Indonesia is an important commodity, but excessive use of fertilizers and pesticides increases the levels of heavy metals, such as cadmium (Cd), in the soil, which is detrimental to plant quality and the environment. Phytoremediation with hyperaccumulator plants such as *Jatropha* can absorb cadmium and persist in contaminated soil. This study aims to study the interaction between mycorrhizal *Jatropha* plants (*Jatropha curcas*) and the growth of Liberica Tungal Composite coffee seedlings (*Coffea liberica* Bull ex Hiern) on cadmium-contaminated land. **Research Methods:** The study was conducted at the Teaching and Research Farm, Faculty of Agriculture, University of Jambi for 3 months (June - October 2024) using a Completely Randomized Design (CRD) with two treatment factors: factor C (C1 = 10 ppm, C2 = 20 ppm) and factor K (K0 = Coffee, K1 = Coffee + 1 *Jatropha*, K2 = 1 Coffee + 2 *Jatropha*, K3 = 2 Coffee + 1 *Jatropha*). Each combination was repeated 5 times, resulting in 40 treatments with a total of 120 plants. Data were analyzed using ANOVA and 5% BNT. **Finding/Results:** The results showed an interaction between cadmium treatment and coffee composition and distance on the variables of total leaf area and percentage of mycorrhizal infection. **Keywords:** Cadmium¹; *Jatropha*²; Liberica Coffee³; Mycorrhiza⁴

Abstrak—Pendahuluan/Tujuan Utama: Kopi di Indonesia merupakan komoditas penting, tetapi penggunaan pupuk dan pestisida berlebihan meningkatkan kadar logam berat, seperti kadmium (Cd), di tanah, yang merugikan kualitas tanaman dan lingkungan. Fitoremediasi dengan tanaman hiperakumulator seperti Jarak pagar dapat menyerap kadmium dan bertahan di tanah tercemar. Penelitian ini bertujuan mempelajari interaksi antara tanaman Jarak (*Jatropha curcas*) bermikoriza dan pertumbuhan bibit kopi Liberika Tungal Komposit (*Coffea liberica* Bull ex Hiern) di lahan terkontaminasi kadmium. **Metode Penelitian:** Penelitian dilakukan di Teaching and Research Farm Fakultas Pertanian Universitas Jambi selama 3 bulan (Juni - Oktober 2024) menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor perlakuan: faktor C (C1= 10 ppm, C2= 20 ppm) dan faktor K (K0= Kopi, K1= Kopi + 1 Jarak, K2= 1 Kopi + 2 Jarak, K3= 2 Kopi + 1 Jarak). Setiap kombinasi diulang 5 kali, menghasilkan 40 perlakuan dengan total 120 tanaman. Data dianalisis menggunakan ANOVA dan BNT 5%. **Temuan/Hasil:** Hasil menunjukkan adanya interaksi antara perlakuan kadmium dan komposisi kopi serta jarak pada variabel luas daun total dan persentase infeksi mikoriza. **Kata kunci:** Cadmium¹; Jarak Pagar²; Kopi Liberika³; Mikoriza⁴

1. PENDAHULUAN

Kopi di Indonesia merupakan salah satu komoditas utama dari hasil sub sektor pertanian yang paling diminati setelah kayu dan karet. Komoditas kopi dianggap menarik selain karena peminatannya yang tinggi, bagi banyak

negara berkembang komoditas ini juga merupakan sumber pendapatan negara non-migas yang berpengaruh. Ditambah lagi, perkebunan kopi juga menciptakan lapangan kerja dan sumber pendapatan masyarakat petani kopi (Izzah, 2020). Dalam skala global,



Indonesia menduduki peringkat ke empat terbesar di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Colombia.

Sebagian besar produksi kopi Indonesia berasal dari perkebunan rakyat, yang pada tahun 2021 menyumbang 780.870 ton, sedangkan perkebunan besar milik negara dan swasta hanya menyumbang masing-masing 4.125 ton dan 1.197 ton. Pada tahun 2022, produksi kopi dari perkebunan rakyat meningkat menjadi 789.972 ton, namun perkebunan besar milik negara dan swasta mengalami penurunan (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2023).

Untuk meningkatkan luas area tanaman kopi maka perlu dilakukan Ekstensifikasi lahan yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanaman kopi, namun dalam upaya ini terdapat beberapa kendala seperti berkurangnya lahan potensial. Pada umumnya, petani menggunakan pupuk dan pestisida kimia untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman serta mengendalikan hama dan penyakit. Penggunaan pupuk dan pestisida kimia secara intensif dan berlebihan sering dilakukan oleh para petani. Dalam jangka panjang, penggunaan pupuk dan pestisida berlebih dapat meningkatkan kandungan logam berat dalam tanah, dan berdampak negatif terhadap kualitas tanaman serta lingkungan (Pramono dan Wahyuni, 2008). Penggunaan pupuk dan pestisida dapat menyebabkan pencemaran tanah, air, dan biomassa tanaman oleh logam berat serta sisa-sisa pestisida. Di antara logam berat, kadmium (Cd) merupakan logam yang lebih mudah terakumulasi dalam tanaman dibandingkan dengan logam berat lainnya (Nopriani, 2011).

Guna mengatasi permasalahan terbatasnya lahan yang subur dalam peningkatan produksi kopi, maka minimal ada dua hal yang harus dilakukan : pertama dalam mengendalikan alih fungsi lahan pertanian dan yang kedua adalah meningkatkan kualitas lahan marginal agar dapat kembali berfungsi sebagai lahan pertanian. Lahan marginal adalah lahan yang kehilangan kemampuan untuk mendukung kegiatan fisiologi tumbuhan yang terjadi akibat proses

pembentukan, kerusakan alam atau akibat aktivitas manusia.

Pencemaran logam berat yang tidak terkelola dengan baik dapat terjadi karena sifat logam berat yang memiliki densitas tinggi, sehingga memungkinkan akumulasi mereka dalam tanah. Keberadaan kadmium (Cd) dalam tanah yang melebihi ($>13 \text{ mg/kg}^{-1}$), baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mengganggu proses fisiologis tanaman dengan mempengaruhi permeabilitas membran plasma. Hal ini berdampak pada berbagai proses, seperti respirasi, fotosintesis, serta interaksi tanaman dengan air dan nitrogen, serta metabolisme karbohidrat. Akibatnya, pertumbuhan akar dan tunas mengalami penurunan, hasil panen menurun, dan kerusakan pada biota tanah serta lingkungan dapat terjadi melalui proses erosi dan bioturbasi. Selain itu, akumulasi kadmium dalam makanan dapat berdampak pada kesehatan manusia (Tongarlak *et al.*, 2020). Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 492/MENKES/PER/IV/2010, nilai ambang batas kandungan kadmium dalam tanah ditetapkan sebesar $0,50 \text{ mg/kg}$. Logam berat yang berada di alam dan tidak mengalami transformasi akan menyimpan banyak potensi racun jika terendap dalam jangka waktu lama (Yulianti, 2021).

Fitoremediasi adalah teknik yang menggunakan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Menurut Hidayati dan Sayfuddin (2003), Teknik fitoremediasi didefinisikan sebagai teknologi pembersihan, penghilangan atau pengurangan zat pencemar dalam tanah maupun air dengan mediator tumbuhan berfotosintesis. Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar dengan menggunakan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, dan mentransformasi bahan pencemar, baik itu logam berat maupun senyawa organik.

Tumbuhan yang digunakan untuk fitoremediasi memiliki karakteristik yaitu tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang lebih tinggi dibanding tanaman lainnya, Tumbuhan dapat

mentoleransi unsur dalam tingkat yang tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, dan Tumbuhan memiliki laju translokasi logam berat dari akar ke tajuk yang tinggi sehingga akumulasinya pada tajuk lebih tinggi dari pada akar (Brown *et al.*, 1995). Hasil penelitian (Titi *et al.*, 2005) tentang inventarisasi tumbuhan potensial untuk fitoremediasi lahan dan air tercemar limbah logam berat menunjukkan bahwa beberapa tumbuhan memiliki potensi untuk menyerap logam berat maupun sianida.

Salah satu jenis tanaman yang mampu meremediasi pencemaran tanah adalah tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). Tanaman ini dapat mengakumulasi logam berat hingga 0,25 mg/kg melalui bagian akarnya (Tagentju *et al.*, 2018). Pemilihan tanaman jarak pagar untuk mengatasi tanah tercemar logam berat sangat efektif, khususnya dalam menyerap logam Nikel (Ni). Jarak pagar (*Jatropha curcas*) juga dapat digunakan untuk meremediasi tanah yang terkontaminasi logam Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd). Eksistensi tanaman ini juga dapat bertahan pada tanah yang terkontaminasi logam berat lainnya, seperti Arsenik (As), Kromium (Cr) dan Seng (Zn). Hasil penelitian sebelumnya mengenai pencemaran tanah oleh logam berat telah dilakukan oleh (Eka *et al.*, 2021). Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*) memiliki nilai yang relatif rendah ($< 10\%$) dan mempunyai potensi yang cukup baik sebagai kandidat tanaman yang memiliki sifat hiperakumulator.

Pemanfaatan hara pada perakaran tanaman (rhizosfer) tidak hanya tergantung pada ketersediaan hara, tetapi juga dipengaruhi oleh interaksi dengan Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA). FMA berfungsi sebagai perantara dalam penyerapan hara, di mana mereka menginfeksi akar tanaman inang dan membentuk jalinan hifa. Ini memungkinkan tanaman bermikoriza untuk meningkatkan kapasitas penyerapan unsur hara, seperti nitrogen, fosfor, dan kalsium, serta meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan terhadap kekurangan air dan serangan patogen. Cendawan mikoriza mengkoloni jaringan korteks

akar selama periode aktif pertumbuhan tanaman (Suryani *et al.*, 2017). Selain itu, menurut Daras *et al.* (2013), mikoriza juga mampu memperbaiki struktur dan agregasi tanah melalui pengaruh hifa atau eksudat glikoprotein. Hifa cendawan bahkan dapat menyerap air dari pori-pori tanah ketika akar tanaman kesulitan menyerap air. Air yang diserap tersebut dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam proses fotosintesis. Tujuan penelitian ini untuk Untuk mempelajari interaksi kombinasi tanaman Kopi Lirebika yang diberi mikoriza dan tanaman Jarak hiperakumulator bermikoriza pada lingkungan terkontaminasi cadmium (Cd).

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di *Teaching and Research Farm* Fakultas Pertanian Universitas Jambi, Desa Mendalo Indah, Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi. Penelitian akan dilaksanakan selama 3 bulan dari bulan Juni – Oktober 2024.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan terdiri dari 2 faktor perlakuan, yaitu : Faktor pertama C dengan 2 taraf perlakuan, yaitu : c_1 = Larutan Cd konsentrasi 10 ppm, c_2 = Larutan Cd konsentrasi 20 ppm. Faktor kedua K (Komposisi Tanaman Kopi dan Tanaman Jarak) dengan 4 taraf perlakuan yaitu : k_0 = 1 tanaman kopi, k_1 = 1 tanaman kopi + 1 tanaman jarak, k_2 = 1 tanaman kopi + 2 tanaman jarak, k_3 = 2 tanaman kopi + 1 tanaman jarak. Dengan demikian, diperoleh 8 kombinasi perlakuan. Perlakuan dan setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak 5 kali sehingga terdapat 40 satuan percobaan. Setiap plot percobaan terdapat 3 tanaman sehingga terdapat 120 tanaman keseluruhan. Dengan tanaman sampel sebanyak 2 tanaman per petak percobaan.

Kemudian untuk melihat adanya perbedaan dilanjutkan dengan uji beda nyata terekecil (BNT) pada taraf $\alpha = 5\%$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1
Tinggi Bibit Kopi Liberika Berdasarkan Pemberian Konsentrasi Cadmium dan Komposisi Bibit Kopi dan Jarak.

Cadmium (ppm)	Komposisi Bibit Kopi dan Jarak				Rata-rata
	1 Kopi	1 Kopi + 1 Jarak	1 Kopi + 2 Jarak	2 Kopi + 1 Jarak	
10 ppm	28,72	31,07	29,53	26,15	28,87 a
20 ppm	26,73	30,16	26,75	25,22	27,21 b
Rata-rata	27,7 b	30,62 a	28,14 b	25,68 c	28,04

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 2
Diameter Batang Kopi Liberika Berdasarkan Pemberian Konsentrasi Cadmium dan Komposisi Bibit Kopi dan Jarak.

Cadmium (ppm)	Komposisi Bibit Kopi dan Jarak				Rata-rata
	1 Kopi	1 Kopi + 1 Jarak	1 Kopi + 2 Jarak	2 Kopi + 1 Jarak	
10 ppm	4,08 b	4,62 a	4,68 a	4,07 b	4,36
	A	A	A	A	
20 ppm	3,96 b	4,87 a	4,02 b	4,07 b	4,23
	A	A	B	A	
Rata-rata	4,02 c	4,75 a	4,35 b	4,07 c	4,30

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil (secara horizontal) dan huruf besar (secara vertikal) tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf $\alpha = 5\%$. Huruf disamping angka untuk membandingkan kombinasi Kopi dengan Jarak dan huruf dibawah angka untuk membandingkan Cadmium.

Tabel 3
Jumlah Daun Kopi Liberika Berdasarkan Pemberian Konsentrasi Cadmium dan Komposisi Bibit Kopi dan Jarak.

Cadmium (ppm)	Komposisi Bibit Kopi dan Jarak				Rata-rata
	1 Kopi	1 Kopi + 1 Jarak	1 Kopi + 2 Jarak	2 Kopi + 1 Jarak	
10 ppm	13,50	12,80	12,80	12,05	12,79
20 ppm	12,10	14,30	12,80	12,10	12,83
Rata-rata	12,80	13,55	12,80	12,08	12,81

Tabel 4
Bobot Kering Tajuk Kopi Liberika Berdasarkan Pemberian Konsentrasi Cadmium dan Komposisi Bibit Kopi dan Jarak.

Cadmium (ppm)	Komposisi Bibit Kopi dan Jarak				Rata-rata
	1 Kopi	1 Kopi + 1 Jarak	1 Kopi + 2 Jarak	2 Kopi + 1 Jarak	
10 ppm	8,90	6,47	7,48	6,88	7,43 b
20 ppm	9,04	9,73	8,44	11,14	9,59 a
Rata-rata	8,97	8,10	7,96	9,01	8,51

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 5
Bobot Kering Akar Kopi Liberika Berdasarkan Pemberian Konsentrasi Cadmium dan Komposisi Bibit Kopi dan Jarak.

Cadmium (ppm)	Komposisi bibit Kopi dan Jarak				Rata-rata
	1 Kopi	1 Kopi + 1 Jarak	1 Kopi + 2 Jarak	2 Kopi + 1 Jarak	
10 ppm	2,64	3,37	3,21	2,71	2,98
20 ppm	2,88	3,31	3,26	3,20	3,16
Rata-rata	2,76	3,34	3,23	2,95	3,07

Tabel 6
Infeksi Mikoriza Kopi Liberika Berdasarkan Pemberian Konsentrasi Cadmium dan Komposisi Bibit Kopi dan Jarak.

Cadmium (ppm)	Komposisi Bibit Kopi dan Jarak				Rata-rata
	1 Kopi	1 Kopi + 1 Jarak	1 Kopi + 2 Jarak	2 Kopi + 1 Jarak	
10 ppm	57 a	72 a	71 a	27 b	56,75
	A	A	A	B	
20 ppm	45 b	75 a	65 a	48 b	58,25
	A	A	A	A	
Rata-rata	51	73,5	68	37,5	57,5

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil (secara horizontal) dan huruf besar (secara vertikal) tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf $\alpha = 5\%$. Huruf disamping angka untuk membandingkan kombinasi Kopi dengan Jarak dan huruf dibawah angka untuk membandingkan Cadmium.

Tabel 7
Volume Akar Kopi Liberika Berdasarkan Pemberian Konsentrasi Cadmium dan Komposisi Bibit Kopi dan Jarak.

Cadmium (ppm)	Komposisi Bibit Kopi dan Jarak				Rata-rata
	1 Kopi	1 Kopi + 1 Jarak	1 Kopi + 2 Jarak	2 Kopi + 1 Jarak	
10 ppm	7,90	7,20	5,60	3,85	6,14
20 ppm	6,80	6,25	6,80	5,40	6,31
Rata-rata	7,35	6,73	6,20	4,63	6,23

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa terdapat interaksi pada beberapa variabel pengamatan kopi liberika yaitu variabel diameter batang dan infeksi mikoriza, sedangkan untuk variabel seperti tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering tajuk, bobot kering akar, volume akar dan indeks mutu bibit tidak terdapat interaksi. Sedangkan pada factor tunggal

cadmium memberikan hasil yang berpengaruh nyata pada variabel tinggi tanaman dan bobot kering tajuk namun tidak berpengaruh nyata dengan variabel lainnya, pada factor tunggal komposisi kopi dan jarak memberikan hasil yang berpengaruh nyata terhadap variabel tinggi tanaman, diameter batang serta infeksi mikoriza dan tidak berpengaruh nyata terhadap variabel lainnya.

Pertumbuhan bibit kopi dipengaruhi oleh dua faktor utama genetik dan lingkungan. Dari segi genetik, varietas kopi memiliki peran penting dalam menentukan karakteristik pertumbuhan, ketahanan terhadap penyakit, dan kualitas hasil (Azhari *et al.*, 2018). Varietas unggul, seperti kopi liberika memiliki sifat-sifat tertentu yang membuatnya lebih adaptif terhadap kondisi tertentu seperti ketahanan terhadap iklim ekstrem, toleransi terhadap penyakit, kemampuan beradaptasi pada tanah marginal, pertumbuhan di Ketinggian Rendah dan penyerapan nutrisi yang efisien. Di sisi lain, faktor lingkungan juga sangat mempengaruhi pertumbuhan kopi. dalam siklus hidup tanaman kopi.

Tanaman jarak sebagai tanaman hiperakumulator dengan sejumlah sifat fisiologis dan morfologis yang memungkinkan efisiensi dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat dari tanah sehingga pada variabel diameter batang dan infeksi mikoriza terjadi interaksi antara konsentrasi cadmium dan komposisi kopi dan jarak. Dapat dilihat juga pada hasil analisis jaringan tanaman kopi yang menunjukkan kadar cadmium di bawah batas deteksi (<0.0004 mg/Kg) mengindikasikan bahwa tanaman kopi Liberika mampu tumbuh dengan baik pada media yang terpapar cadmium, terutama ketika ditanam bersamaan dengan tanaman jarak. Sistem akar jarak yang luas dan dalam memfasilitasi penyerapan nutrisi dan kontaminan dari lapisan tanah yang lebih dalam, memperluas potensi penyerapan logam berat, selain itu, tanaman ini memiliki mekanisme adaptasi yang baik terhadap stres lingkungan, termasuk kemampuan untuk mengubah metabolisme internal agar dapat bertahan meskipun berada di tanah

terkontaminasi. *Jatropha curcas* juga mampu mengakumulasi logam berat dalam jaringan, terutama pada bagian daun dan batang, dengan menyimpan logam tersebut dalam bentuk senyawa non-toksik, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap pertumbuhannya. Sejalan dengan pendapat (Tagentju *et al.*, 2018) yang menyatakan bahwa tanaman ini dapat mengakulasi tanah tercemar logam berat sebesar 0,25 mg/kg melalui bagian akarnya.

Berdasarkan Tabel 2. Tidak terdapat interaksi antara perlakuan cadmium dan komposisi kopi + jarak pada variabel tinggi tanaman. Kombinasi terbaik yang menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman tertinggi adalah perlakuan dengan 1 kopi + 1 jarak (C1K1) pada konsentrasi 10 ppm cadmium. Hal ini mencerminkan bagaimana komposisi tanaman dapat saling mendukung dalam meningkatkan pertumbuhan, terutama dalam kondisi stres akibat cadmium. Di sisi lain, faktor tunggal cadmium yang berpengaruh nyata adalah pada perlakuan 10 ppm cadmium menghasilkan tinggi rata-rata 28,87 cm, sedangkan peningkatan konsentrasi menjadi 20 ppm menyebabkan penurunan tinggi tanaman menjadi 27,21 cm. Ini menunjukkan bahwa kadar cadmium yang lebih tinggi menghambat pertumbuhan tinggi tanaman, mengganggu proses fisiologis yang penting bagi tanaman. Dengan demikian, kombinasi satu kopi dan satu jarak pada perlakuan 10 ppm menjadi perlakuan terbaik dalam mendukung pertumbuhan tinggi tanaman kopi dalam kondisi terkontaminasi cadmium. Hal ini dikarenakan penyerapan unsur K pada bibit kopi sudah cukup optimal dapat di lihat pada hasil analisis tanah akhir. Didukung pula oleh pendapat Wijayanti (2019) yang menyatakan bahwa pemberian pupuk kalium bertujuan untuk meningkatkan laju fotosintesis tanaman. Dengan peningkatan laju fotosintesis maka akan dihasilkan fotosintat yang digunakan dalam pembentukan sel-sel tanaman. Pembentukan sel baru sebagai akibat aktivitas fotosintesis akan semakin meningkatkan tinggi tanaman (Manurung, 2019).

Berdasarkan analisis tanah awal, kandungan nitrogen (N) total tercatat sebesar 0,33%. Namun, analisis tanah akhir menunjukkan penurunan kandungan nitrogen total, dengan nilai-nilai berturut-turut mencapai 0,08%, 0,09%, 0,10%, 0,09%, 0,06%, 0,10%, 0,08%, dan 0,10%. Penurunan ini menunjukkan bahwa unsur nitrogen telah diserap secara signifikan oleh tanaman. Kondisi ini mencerminkan kemampuan bibit Kopi Liberika dalam menyerap nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhannya, sehingga bibit tersebut mampu mencapai standar tinggi yang diharapkan untuk tanaman berumur 4 hingga 12 bulan. Namun keberadaan kadmiun (Cd) di tanah dapat berkontribusi terhadap penurunan kandungan nitrogen. Kadmiun mengganggu proses penyerapan dan metabolisme tanaman, sehingga mengurangi efisiensi penyerapan nitrogen. Meskipun terjadi penurunan kandungan nitrogen, keberhasilan penyerapan oleh tanaman menunjukkan efektivitas pertumbuhan dan adaptasi bibit Kopi Liberika terhadap kondisi lingkungan. Ini menegaskan pentingnya pengelolaan nutrisi tanah untuk mendukung pertumbuhan optimal tanaman kopi.

Hasil uji lanjut pada Tabel 3 menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara perlakuan cadmium dan komposisi tanaman kopi + jarak yang mana pada perlakuan 20 ppm dengan komposisi 1 kopi + 1 jarak adalah yang terbaik dengan diameter batang sebesar 4,87 mm. Kondisi ini menunjukkan bahwa penanaman komposisi bibit kopi dengan tanaman jarak memberikan hasil yang lebih baik dalam pertumbuhan tanaman kopi dan mendukung pertumbuhan lebih optimal.

Pada Tabel 4, terlihat bahwa pada faktor tunggal cadmium 20 ppm adalah yang terbaik dengan 12,83 helai daun, selanjutnya pada faktor tunggal perlakuan komposisi tanaman Kopi + Jarak memberikan perbedaan terhadap jumlah daun. Perlakuan 1 Kopi + 1 Jarak menunjukkan jumlah daun tertinggi dengan rata-rata 13,55 helai, sedangkan perlakuan 2 Kopi + 1 Jarak mencatatkan rata-rata terendah, yaitu 11,78 helai. Meskipun demikian, perlakuan 2 Kopi + 1 Jarak masih mampu melebihi standar jumlah daun bibit

Kopi Liberika umur 4-12 bulan. Hasil analisis tanah awal menunjukkan kandungan fosfor (P) yang tinggi, yaitu 45,84%, yang berperan penting dalam fotosintesis. Selain itu, kalium (K) juga berfungsi dalam mengatur stomata, mendukung pertumbuhan jumlah daun. Namun, pada perlakuan 2 Kopi + 1 Jarak, jumlah daun yang lebih rendah diduga akibat akumulasi logam berat cadmium pada tanaman kopi, yang menghambat kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi.

Pada Tabel 5, hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan cadmium memiliki pengaruh signifikan terhadap bobot kering tajuk tanaman kopi Liberika. Perlakuan dengan konsentrasi 10 ppm menghasilkan bobot kering tajuk rata-rata 7,43 g, sedangkan pada konsentrasi 20 ppm bobot kering tajuk meningkat menjadi 9,59 g. Sedangkan pada factor tunggal kopi + jarak terbaik adalah perlakuan komposisi 2 kopi + 1 jarak dengan 9,01 g. Hal ini disebabkan oleh tingginya kadar logam berat cadmium pada konsentrasi 20 ppm di tanah, yang membuat tanaman hiperakumulator jenuh dalam menyerap logam berat. Akibatnya, kandungan unsur hara di tanah, terutama fosfor (P), berkurang, sehingga kebutuhan unsur hara P untuk kopi Liberika belum terpenuhi.

Hasil uji lanjut pada tabel 6 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara perlakuan cadmium dan komposisi tanaman. Rata-rata bobot kering akar pada factor tunggal cadmiu adalah 2,98 g hingga 3,15 g dan pada factor tunggal kopi + jarak adalah 2,76 g hingga 3,34 g dengan perlakuan komposisi 1 kopi + 1 jarak adalah yang tertinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun cadmium memiliki dampak negatif, tanaman kopi Liberika masih mampu mempertahankan bobot kering akarnya. Pada hasil analisis tanah akhir menunjukkan bahwa ada penurunan kandungan nitrogen akibat akumulasi cadmium, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan bobot kering tajuk dan akar. Penurunan ketersediaan nutrisi dapat menyebabkan tanaman kesulitan dalam proses metabolisme tanaman, yang pada gilirannya dapat mengurangi bobot kering tajuk dan akar.

Cadmium yang berperan sebagai stresor yang mengganggu proses fisiologis tanaman. Peningkatan kadar cadmium dalam media tanam mengakibatkan penurunan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan nutrisi, sehingga menghambat pertumbuhan tinggi tanaman. Selain itu, cadmium juga mengganggu fotosintesis dan respirasi, yang berakibat pada penurunan bobot kering tajuk. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa pencemaran logam berat memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap pertumbuhan dan biomassa tanaman kopi Liberika, mencerminkan sensitivitas tanaman terhadap kondisi pencemaran. Di perkuat dengan adanya pernyataan bahwa meningkatnya kadar logam yang membahayakan adalah adanya logam kadmium (Cd) dalam tanah (Pramono dan Wahyuni, 2008). Peningkatan kadar logam Cd akan berpengaruh terhadap struktur kloroplas yaitu dapat menyebabkan degradasi membran tilakoid yang akan menghambat reaksi kimia fotosintesis. Terganggunya reaksi fotosintesis dapat mempengaruhi pertumbuhan pada tanaman (Setiawati, 2009).

Suhu dan kelembapan merupakan faktor lingkungan yang penting dalam pertumbuhan tanaman kopi, terutama dalam konteks pertumbuhan akar dan kualitas bibit suhu dan kelembapan yang di ukur di *Teaching and Research Farm* Fakultas Pertanian Universitas Jambi yang di ukur menggunakan alat ukur *Termometer hygrometer*, pengamatan di lakukan 3 bulan selama penelitian berlangsung. Berdasarkan pengamatan dalam rata-rata suhu mencapai 31,30° C, suhu optimal untuk pertumbuhan tanaman kopi berkisar antara 21-30°C. Pada rentang suhu ini, tanaman menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam volume akar dan indeks mutu bibit. Suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat mengganggu proses fisiologis tanaman, seperti fotosintesis dan respirasi, sehingga menghambat kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi, terutama dalam kondisi terpapar cadmium. Selain itu, kelembapan tanah juga berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. kelembapan

rata-rata mencapai 81,78 % sedangkan untuk kelembapan ideal sekitar 60-80% agar dapat meningkatkan pertumbuhan akar dan kualitas bibit. Kelembapan yang cukup memungkinkan mikoriza berfungsi lebih efektif, membantu tanaman dalam penyerapan air dan nutrisi. Dalam kondisi kelembapan yang rendah, tanaman cenderung mengalami stres, yang dapat mengurangi volume akar dan indeks mutu bibit, terutama pada tanaman yang terpapar cadmium. Interaksi antara suhu, kelembapan, dan cadmium sangat mempengaruhi kesehatan tanaman. Tanaman kopi yang terinfeksi mikoriza dapat beradaptasi lebih baik pada variasi suhu dan kelembapan, berkat peningkatan kemampuan penyerapan nutrisi. Dengan demikian, kombinasi kondisi lingkungan yang optimal, ditunjang oleh keberadaan mikoriza, dapat membantu tanaman kopi mengatasi stres akibat cadmium.

Hasil uji lanjut pada tabel 7 persentase infeksi mikoriza menunjukkan bahwa terjadi efek interaksi antara cadmium dan tanaman kopi dengan perlakuan 20 ppm cadmium dan komposisi 1 kopi + 1 jarak adalah yang terbaik yaitu 75 %. Interaksi antara perlakuan cadmium dan komposisi tanaman menunjukkan bahwa perlakuan dengan mikoriza dapat meningkatkan infeksi mikoriza secara signifikan. Dalam hal ini, mikoriza berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman, terutama dalam kondisi tanah yang terkontaminasi. Kehadiran mikoriza dapat membantu tanaman dalam mengatasi stres yang disebabkan oleh cadmium, sehingga meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap unsur hara dari tanah. Ini sejalan dengan hasil analisis tanah akhir, yang menunjukkan bahwa meskipun ada penurunan ketersediaan nutrisi akibat akumulasi cadmium, tanaman yang terinfeksi mikoriza masih dapat memanfaatkan sumber daya nutrisi yang ada dengan lebih baik.

Penggunaan mikoriza juga berperan aktif karena penggunaan mikoriza pada tanaman terutama pada tanaman kopi liberika, memberikan sejumlah keunggulan yang

signifikan. Mikoriza berperan sebagai agen hayati yang meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, terutama nitrogen dan fosfor, dari tanah. Dengan adanya hifa mikoriza yang menjalin simbiosis dengan akar tanaman, luas permukaan yang dapat menyerap nutrisi menjadi lebih besar, sehingga tanaman dapat lebih mudah mendapatkan hara meskipun dalam kondisi tanah yang kurang subur. Hal ini juga di nyatakan oleh (Prayudyaningsih dan Sari, 2016) menyatakan bahwa Mikoriza dapat membantu perkembangan akar serta meningkatkan serapan fosfor (P) dan unsur hara lainnya seperti N, K, Zn, Co, S dan Mo dari dalam tanah, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan, memperbaiki agregat tanah Mikoriza merupakan struktur yang terbentuk karena asosiasi simbiosis mutualisme antara cendawan tanah dengan akar tanaman tingkat tinggi.

Hasil pengukuran volume akar, seperti yang tercantum dalam Tabel 10, pada Perlakuan 1 Kopi menunjukkan volume akar rata-rata 7,35 ml, sedangkan perlakuan 2 Kopi + 1 Jarak hanya mencapai 4,63 ml dan dengan konsentrasi 20 ppm dengan 6,31 ml adalah yang teringgi. Volume akar yang lebih besar menunjukkan kemampuan tanaman untuk menjelajahi lebih banyak tanah dan meningkatkan penyerapan air serta nutrisi.

Berdasarkan hasil pengamatan seluruh variabel yang telah diamati, dapat dilihat bahwa pertumbuhan bibit kopi Liberika menunjukkan variasi yang signifikan tergantung pada perlakuan cadmium dan komposisi tanaman. Standar pertumbuhan bibit kopi umur 4-12 bulan, sebagaimana (lampiran 2), mencakup tinggi minimal 15 cm, diameter batang minimal 0,3 mm, dan jumlah daun minimal 5 pasang daun yang sudah mengembang. Pada perlakuan dengan konsentrasi 10 ppm cadmium dan komposisi 1 kopi + 1 jarak, bibit menunjukkan pertumbuhan tertinggi dengan rata-rata tinggi 31,07 cm, diameter batang 4,62 mm dan jumlah daun 12,80 helai , yang mana telah memenuhi dan bahkan melebihi standar yang ditetapkan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Terdapat interaksi positif antara tanaman kopi bermikoriza dan jarak hiperakumulator dalam meningkatkan kualitas bibit kopi di media terkontaminasi cadmium, dengan perlakuan 10 ppm cadmium dan kombinasi 1 kopi + 1 jarak menunjukkan pertumbuhan terbaik pada diameter batang dan persentase infeksi mikoriza. Selain itu, konsentrasi 10 ppm cadmium lebih baik dibandingkan 20 ppm, yang mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi cadmium mengganggu pertumbuhan tanaman. Pemilihan komposisi tanaman yang tepat sangat penting untuk rehabilitasi lahan tercemar. Berdasarkan hasil penelitian disarankan menanam komposisi 1 tanaman kopi dengan 1 tanaman jarak hiperakumulator bermikoriza pada media terkontaminasi 10 ppm cadmium (Cd).

DAFTAR PUSTAKA

- Azhari, R., Soverda, N., & Alia, Y. 2018. Respon Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Terhadap Pupuk Kandang Sapi. *Agroecotania*, 6(2), 49–57.
- Brown S L, R L Chaney JS, Angle dan AJM, Baker. 1995. Zinc and Cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. *Soil science Society of America Journal* 59:125-133.
- Daras U, O Trisilawati, dan I Sobari. 2013. Pengaruh mikoriza dan amelioran terhadap pertumbuhan benih kopi. *J. of Industrial and Beverage Crops*, 4(2), 145-156
- Direktorat Jenderal Perkebunan 2023. Statistik perkebunan Kopi Indonesia 2022. Nomor 360-450 hlm
- Eka K, P Srisena, W Budianta, P Studi, T Geologi, F Teknik dan UG Mada, (2021). Fitoremediasi Tanah Tercemar Pb Dan Zn Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah. 6(1), 23–30. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v6i1.2129>
- Hidayati, Sayfuddin, 2003, Potensi Hipertoleransi dan Serapan Logam Beberapa Tumbuhan Terhadap Limbah Pengolahan Emas, Bidang Botani Pusat Penelitian Biologi – LIPI, Bogor.
- Izzah S N. 2020. Peran asosiasi eksportir dan industri kopi Indonesia (AEKI) dalam meningkatkan standar mutu dan daya saing ekspor kopi Indonesia di pasar Eropa, *JOM FISIP*, 7, pp. 1–16.
- Nopriani LS (2011) Teknik uji cepat untuk identifikasi pencemaran logam berat tanah di lahan apel Batu. Disertasi Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang
- Manurung A I. (2019). Pengaruh Dosis Dolomit dan Pupuk Kalium terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Bawang Merah (*Alium ascalanicum* L.) Varietas Vietnam. *Jurnal Agrotekda*, 3(2), 103-116.
- Pasla, B. N., Frimawaty, E., Nasution, I., Dianto, M., Almahendra, R., & Ferina, I. S. (2022). VOSviewer: Bibliometric Analysis Tools for Industry 4.0 and Supply Chain. *Jurnal Prajaiswara*, 3(2), 75-88.
- Setiawati M D. 2009. Uji Toksisitas Kadmium dan Timbal pada Mikroalga *Chaetoceros gracilis*, Skripsi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
- Suryani, E., Syarif, A., Kasno, A., & Mardjono, R. (2017). Peran Mikoriza Dalam Peningkatan Produktivitas Tanaman Kopi. *Warta Perkaretan*, 36(2), 135-148.
- Tagentju I A, A Paserang dan W Harso. 2018. Akumulasi Nikel pada Akar dan Tajuk Tumbuhan Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.), Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L.) dan Sawi Hijau (*Brassica rapa* L.) pada Tanah Terkontaminasi Nikel Nickel Accumulation in Root and Shoot of *Jatropha* 2023. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains* 6 (1): 300-305
- Titi J, S fauzia dan H Nuril, 2005. Inventarisasi tumbuhan potensial untuk fitoremediasi lahan dan air terdegradasi penambangan emas. *Biodiversitas* vol. 6 No. 1. hal. 31-33.
- Tongarlak S, M Zengin, dan A Mamedov. 2020. Investigating Cadmium Accumulation in Wheat and Barley Cultivars from Acidic Soil of Central Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(1): 1
- Pramono A dan S Wahyuni. 2008. Kandungan Logam Berat pada Sistem Integrasi Tanaman Ternak di DAS Serang. Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Prayudaningsih R dan Sari. 2016. Pertumbuhan semai *Alstonia scholaris*, *Acacia auriculiformis* dan *Muntingia calabura* yang diinokulasi Fungi Mikoriza Arbuskular pada media tanah bekas tambang kapur.

Jurnal Penelitian Kehutanan Wallaceae,
3(1):13-23.

Wijayanti N dan S Raden. (2019). Pengaruh Pemberian Pupuk Kalium dan Hormon Giberelin terhadap Kuantitas dan Kualitas Buah Belimbing Tasikmadu Di Kabupaten Tuban. Berkata Ilmiah Pertanian, 2(4), 169-172.

Yulianti LIM. (2021). Potensi *Calotropis gigantea* dalam Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) Phytoremediation Potential of *Calotropis Gigantea* in Removal of Heavy Metals Lead (Pb). Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati, 6(2), 120–128. <https://doi.org/10.24002/biota.v6i2.2985>