Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab
Volume 8, Nomor 2, Februari 2026
Halaman:17-28

ISSN: 2622-3570
E-ISSN:2621-394X
DOI.10.30872/jatl.8.2.2
026.19822.17-28

Analisis Kandungan Logam Berat Pada Tanah Sawah Di Kecamatan Tenggarong Seberang

Analysis of Heavy Metal Content in Rice Field Soil in Tenggarong Seberang District

AULIA MELYANA FITRI[1)], NURUL PUSPITA PALUPI[1*)], RORO KESUMANINGWATI[1)]

[1)]Departemen of Agroecotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Mulawarman. Jl. Pasir Balengkong, Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75119, East Kalimantan, Indonesia. Tel: +62-541-749161, Fax: +62-541-738341, *email: nurulpuspita2908@gmail.com

Manuscript received: 04 September Revision accepted: 22 October 2025

ABSTRACT

Agriculture plays a crucial role in supporting regional development, including in Tenggarong Seberang District, Kutai Kartanegara Regency. However, intensive mining activities in the area have increasingly pressured environmental quality, particularly agricultural soils, potentially affecting the productivity and sustainability of local farming systems. This study aimed to identify villages affected by heavy metal contamination and determine the concentrations of metals approaching or exceeding critical limits. Soil samples were collected using a random sampling method, and heavy metal contents were analyzed with an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS, Shimadzu AA7000). Results showed spatial variation in metal concentrations across sampling sites. The highest Fe level was recorded in Kerta Buana Village (1,552.05 ppm), Zn in Bukit Pariaman Village (52.68 ppm), Cd and Cu in Separi Village (0.72 ppm and 19.43 ppm, respectively), and Mn in Bhuana Jaya Village (461.48 ppm). Compared with national and international soil quality standards (Government Regulation No. 22/2021 and FAO/WHO, 2017), all Fe, Zn, Cu, and Mn concentrations were below critical limits, while Cd levels in Separi Village approached the upper permissible threshold (0.5–1.0 ppm). This finding indicates potential Cd contamination that requires attention due to its ability to accumulate in plants and pose toxic risks to human health through the food chain. The study provides an important reference for developing strategies to manage and mitigate heavy metal contamination, thereby supporting the sustainability of agricultural productivity in the region.
Keywords: agriculture, heavy metals, pollution, critical threshold values

ABSTRAK

Pertanian memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung pembangunan wilayah, termasuk di Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara. Namun demikian, aktivitas pertambangan yang intensif di wilayah tersebut telah memberikan tekanan yang semakin besar terhadap kualitas lingkungan, khususnya pada tanah pertanian, yang berpotensi memengaruhi produktivitas dan keberlanjutan sistem pertanian lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi desa-desa yang terdampak oleh kontaminasi logam berat serta menentukan konsentrasi logam yang mendekati atau melebihi batas kritis. Sampel tanah diambil menggunakan metode *random sampling*, dan analisis kandungan logam berat dilakukan menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS, Shimadzu AA7000). Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi spasial konsentrasi logam berat antar lokasi pengambilan sampel. Konsentrasi Fe tertinggi ditemukan di Desa Kerta Buana (1.552,05 ppm), Zn tertinggi di Desa Bukit Pariaman (52,68 ppm), Cd dan Cu tertinggi di Desa Separi (masing-masing 0,72 ppm dan 19,43 ppm), serta Mn tertinggi di Desa Bhuana Jaya (461,48 ppm). Berdasarkan perbandingan dengan standar kualitas tanah pertanian nasional dan internasional (Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 dan FAO/WHO, 2017), seluruh konsentrasi Fe, Zn, Cu, dan Mn masih berada di bawah batas kritis, sedangkan kadar Cd di Desa Separi mendekati ambang batas atas yang diizinkan (0,5–1,0 ppm). Temuan ini mengindikasikan adanya potensi awal kontaminasi Cd yang perlu mendapat perhatian, mengingat sifat Cd yang mudah terakumulasi dalam jaringan tanaman dan dapat menimbulkan efek toksik terhadap kesehatan manusia melalui rantai makanan. Hasil penelitian ini menjadi referensi penting dalam pengembangan strategi pengelolaan dan mitigasi risiko pencemaran logam berat guna mendukung keberlanjutan produktivitas pertanian di wilayah tersebut.
Kata Kunci : pertanian, logam berat, pencemaran, nilai batas kritis

PENDAHULUAN

Sektor pertanian memegang peranan strategis dalam pembangunan ekonomi nasional karena menyangkut pemenuhan kebutuhan dasar manusia. Ketersediaan hasil pertanian yang berkelanjutan menjadi fondasi bagi peningkatan kualitas hidup masyarakat yang mandiri, sejahtera, dan harmonis. Pertanian juga berperan penting dalam penyediaan pangan dan sandang yang berkualitas serta merata bagi seluruh lapisan masyarakat. Bagi negara agraris, lahan pertanian menjadi aset vital, karena

dari lahan yang subur dan produktiflah kebutuhan pangan masyarakat dapat terpenuhi. Salah satu contoh utama adalah sawah sebagai tempat produksi padi semakin subur lahan sawah, maka semakin baik pula kualitas gabah yang dihasilkan. Namun demikian, produksi padi sangat bergantung pada kondisi tanah; baik dari segi luas maupun kesuburannya. Perkembangan industri yang pesat di masa depan juga perlu diwaspadai, karena dapat memberikan dampak negatif terhadap sektor pertanian, terutama melalui pencemaran tanah dan air akibat limbah industri. Di Kecamatan Tenggarong Seberang, aktivitas pertambangan batubara telah mencapai skala yang luas dan intensif sehingga menempati porsi signifikan dari wilayah desa-desa setempat. Menurut data pemerintah daerah, Kecamatan Tenggarong Seberang memiliki luas wilayah sekitar 65.674 hektar dan merupakan salah satu kecamatan dengan areal pertambangan yang besar di Kabupaten Kutai Kartanegara (PPID Kutai Kartanegara, 2024). Pada level desa, beberapa studi lapangan melaporkan bahwa areal konsesi tambang dapat menempati >80–90% dari wilayah desa—misalnya kasus Mulawarman yang sebagian besar lahannya sudah menjadi konsesi tambang dan Desa Bhuana Jaya yang sejak 1995 telah mengalami operasi tambang skala besar, dengan dampak nyata pada konversi lahan pertanian dan penurunan luas lahan tanam. Secara lebih luas, rekapan inventaris tambang di Kabupaten menunjukkan bahwa total area konsesi tambang di Kukar mencapai jutaan hektar (rekapitulasi konsesi 2.726.310 ha; 24% dari total wilayah kabupaten pada laporan tertentu), yang mencerminkan skala operasional yang besar dan tekanan tata guna lahan regional (PPID Kutai Kartanegara, 2024; Salsabilla & Murlianti, 2024; "The Paradox of 'Black Gold'", 2024).

Mekanisme toksisitas logam berat yang dilepaskan oleh kegiatan pertambangan (mis. Pb, Cd, As, Hg, Zn, Cu) menjelaskan bagaimana pencemaran tersebut mengancam produktivitas pertanian dan kesehatan masyarakat. Di tanah, logam berat dapat terakumulasi di horizon topsoil dan tersedia untuk diserap oleh akar tanaman; pada tingkat fisiologis logam berat mengganggu proses fotosintesis, menyebabkan klorosis, menurunkan pembelahan sel dan pertumbuhan akar, serta menghambat enzim penting sehingga menurunkan hasil tanaman. Untuk manusia, paparan melalui rute konsumsi pangan tercemar, air minum, dan debu dapat menyebabkan bioakumulasi dan efek kronis misalnya kerusakan sistem saraf dan kognitif pada anak (Pb), gangguan ginjal dan karsinogenisitas (Cd, As), serta efek hepatotoksik atau neurotoksik tergantung unsur—sehingga menciptakan risiko kesehatan masyarakat yang signifikan. Ringkasan tinjauan literatur menunjukkan pola konsentrasi tinggi logam berat di topsoil sekitar lokasi tambang dan lahan pertanian di dekatnya, dengan proporsi sampel lahan/pasar kebun yang melebihi ambang keamanan untuk Cu, Zn, Cd dan lainnya pada beberapa studi kasus di wilayah pertanian yang terkontaminasi. Implisit dari bukti ini adalah urgensi penilaian pemantauan kualitas tanah/air dan intervensi mitigasi untuk melindungi produktivitas lahan serta kesehatan warga terdampak. (Adnan, 2022; Mununga, 2023; BRIN, 2022; Salsabilla, 2023).

Pencemaran lingkungan merupakan faktor yang secara signifikan dapat menurunkan kualitas dan kesehatan tanah, yang pada gilirannya memengaruhi produktivitas pertanian serta kesejahteraan petani dan stabilitas ekosistem lokal. Aktivitas industri yang intensif terbukti memberi dampak negatif terhadap lahan pertanian, terutama melalui penurunan kualitas tanah dan penurunan hasil produksi pertanian (Khasanah *et al.* 2021). Di wilayah Kecamatan Tenggarong Seberang, meningkatnya kegiatan industri dan pertambangan telah memberikan tekanan terhadap keberlanjutan sektor pertanian, tidak hanya dalam bentuk penurunan produktivitas lahan, tetapi juga dalam aspek kesehatan petani dan masyarakat sekitar. Meningkatnya kegiatan industri dan pertambangan di wilayah Kecamatan Tenggarong Seberang telah memberikan tekanan yang nyata terhadap keberlanjutan sektor pertanian. Aktivitas pertambangan batubara di wilayah ini menyebabkan konversi lahan pertanian menjadi area industri dan tambang terbuka, yang berdampak pada penurunan luas tanam serta menurunnya produktivitas pertanian masyarakat setempat (Salsabilla, 2023; Tianur, 2022). Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas penambangan juga mengakibatkan degradasi kualitas tanah dan vegetasi, ditandai oleh turunnya indeks vegetasi dan berkurangnya ketebalan lapisan topsoil yang sangat penting bagi kesuburan tanah pertanian (Tianur, 2022). Selain itu, karakteristik lahan pasca-tambang di Kutai Kartanegara umumnya mengalami erosi, pemadatan, dan penurunan kemampuan infiltrasi, sehingga sulit direhabilitasi kembali untuk fungsi pertanian (Hilmawan, 2016).

Secara alami, tanah mengandung unsur logam seperti silikon (Si), aluminium (Al), besi (Fe), natrium (Na), kalium (K), dan magnesium (Mg), yang berasal dari proses pelapukan bahan induk tanah. Unsur-unsur tersebut memiliki pengaruh penting terhadap sifat fisika dan kimia tanah. Namun, peningkatan intensitas pemanfaatan lahan pertanian sering kali diikuti oleh meningkatnya serangan organisme pengganggu tanaman, sehingga mendorong petani untuk menggunakan pestisida secara masif, termasuk herbisida, fungisida, dan insektisida. Produk-produk pestisida tersebut umumnya mengandung logam berat seperti arsenik (As), tembaga (Cu), seng (Zn), mangan (Mn), merkuri (Hg), dan timbal (Pb), yang dapat meningkatkan risiko kontaminasi tanah (Sari *et al.* 2022).

Logam berat didefinisikan sebagai unsur kimia yang memiliki massa jenis lebih dari 5 g/cm^3, dan sumber utama kontaminasinya di lahan pertanian dapat berasal dari pupuk anorganik dan organik, pestisida, emisi kendaraan bermotor, limbah domestik, serta aktivitas industri dan pertambangan (Handayani *et al.* 2022). Beberapa logam berat yang memiliki potensi mencemari lingkungan meliputi Fe, As, Cd, Pb, Hg, Mn, Ni, Cr, Zn, dan Cu. Unsur-unsur tersebut diketahui memiliki toksisitas tinggi dan penggunaan yang luas dalam berbagai sektor, sehingga dapat menyebabkan penurunan pH tanah dan menjadikan tanah bersifat lebih asam (Sukarjo *et al.* 2019). Kecamatan Tenggarong Seberang memiliki wilayah yang berada di tengah Kabupaten Kutai Kartanegara yang terletak pada posisi antara 116^o 47'-117^o 04' (BT) Bujur Timur dan 0^o 21'-0^o 34' (LS) Lintang Selatan dengan luasan 443,40 km^2 (BPS, 2016).

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama periode Oktober 2023 hingga April 2024. Proses pengambilan sampel dilakukan di area persawahan yang terletak di Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Seluruh proses analisis laboratorium terhadap sampel dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman.

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup sampel tanah sawah, air, aquades, asam perklorat ($HClO_4$), dan asam nitrat (HNO_3). Sementara itu, alat-alat yang digunakan meliputi sekop tangan, plastik klip untuk penyimpanan sampel, oven pengering, saringan, timbangan analitik, lumpang dan alu (mortar), labu ukur, pipet, kertas label, serta instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) tipe Shimadzu AA7000.

Prosedur Penelitian

1. Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan di sembilan desa yang berada di wilayah Kecamatan Tenggarong Seberang, yaitu Desa Mulawarman, Desa Buana Jaya, Desa Bukit Pariman, Desa Separi, Desa Kerta Buana, Desa Bangun Rejo, Desa Manunggal Jaya, Desa Karang Tunggal, dan Desa Bukit Raya dengan masing masing direplikasi 3 kali. Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel adalah *random sampling*, dengan tujuan memperoleh representasi kondisi tanah di setiap lokasi. Tanah diambil dari 7 (tujuh) titik dalam satu petak sawah, kemudian dicampur menjadi satu sampel komposit untuk dianalisis di laboratorium.

2. Analisis Kandungan Logam Berat dalam Tanah

Sampel tanah yang telah dikumpulkan dikeringkan menggunakan oven pada suhu konstan selama 2 hingga 3 hari hingga bobotnya stabil. Selanjutnya, sampel dikhaluskan menggunakan mortar dan disaring dengan saringan berukuran 5 mm untuk memperoleh partikel halus yang homogen. Sejumlah 0,5 gram tanah halus ditimbang dengan timbangan analitik, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur.

Ke dalam sampel tersebut ditambahkan campuran asam perklorat ($HClO_4$) dan asam nitrat (HNO_3) sebanyak 5 mL, lalu didiamkan selama satu malam untuk proses pra-destruksi. Setelah itu, sampel dipanaskan secara bertahap hingga muncul endapan putih sebagai indikator akhir dari proses destruksi. Larutan hasil destruksi didinginkan, dipindahkan ke dalam tabung reaksi, ditambahkan aquades hingga mencapai volume 10 mL, dan dihomogenkan.

Pengukuran konsentrasi logam berat dalam sampel dilakukan dengan menggunakan instrumen Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) tipe Shimadzu AA7000 untuk menentukan kadar unsur logam seperti Pb, Cd, Zn, dan Cu.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah pertanian di Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, mengandung berbagai jenis logam berat yang tersebar di beberapa lokasi. Logam berat yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi unsur besi (Fe), seng (Zn), kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan mangan (Mn). Beberapa dari unsur tersebut, seperti Fe, Zn, dan Mn, merupakan unsur hara mikro esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah tertentu untuk mendukung pertumbuhan dan metabolisme fisiologisnya.

Namun demikian, meskipun memiliki peran penting bagi tanaman, keberadaan logam-logam tersebut dalam konsentrasi yang melebihi ambang batas normal dapat berdampak negatif terhadap ekosistem tanah. Akumulasi logam berat dalam kadar tinggi dapat menyebabkan fitotoksisitas, menurunkan produktivitas tanaman, serta mengganggu keseimbangan biokimia tanah, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan tanaman dan keamanan lingkungan (Seran, 2017). Oleh karena itu, pemantauan kandungan logam berat dalam tanah pertanian menjadi aspek penting dalam upaya pelestarian fungsi lahan dan perlindungan terhadap kesehatan manusia serta lingkungan sekitar.

Hasil

Tabel 1. Hasil Analisis Logam Berat di Kecamatan Tenggarong Seberang

Nama desa	**pH**		**Unsur Logam**									
			Fe		Zn		Cd		Cu		Mn	
			ppm									
Separi	4,72	Masam	1066,00	Normal	52,13	Normal	0,72	Normal	19,43	Normal	372,40	Normal
Bukit Pariaman	4,95	Masam	1113,70	Normal	52,68	Normal	0,58	Normal	14,81	Normal	424,46	Normal
Manunggal Jaya	6,52	Agak masam	883.93	Normal	41,29	Normal	0,55	Normal	16,31	Normal	182,66	Normal
Mulawarman	4,57	Masam	914,11	Normal	48,51	Normal	0,52	Normal	13,59	Normal	356,54	Normal
Buana Jaya	5,11	Masam	960,98	Normal	45,70	Normal	0,36	Normal	11,65	Normal	461,48	Normal
Bukit Raya	4,85	Masam	916,73	Normal	46,65	Normal	0,51	Normal	11,43	Normal	230,76	Normal
Kerta Buana	5,28	Masam	1552,05	Normal	40,90	Normal	0,47	Normal	13,57	Normal	295,16	Normal
Karang Tunggal	5,47	Masam	846,99	Normal	48,83	Normal	0,23	Normal	14,42	Normal	192,57	Normal
Bangun Rejo	5,17	Masam	870,00	Normal	39,49	Normal	0,21	Normal	11,80	Normal	123,79	Normal

Hasil Analisis Kandungan Logam Berat dan Sifat Kimia Tanah

Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap sampel tanah sawah yang dikumpulkan dari sembilan desa di Kecamatan Tenggarong Seberang, diperoleh data bahwa konsentrasi logam berat bervariasi antar lokasi. Unsur besi (Fe) menunjukkan nilai tertinggi di Desa Kerta Buana sebesar 1.552,05 ppm, sedangkan nilai terendah terdapat di Desa Karang Tunggal sebesar 846,99 ppm. Konsentrasi tersebut masih berada dalam kisaran umum kandungan Fe alami pada tanah mineral tropis (rata-rata 0,5–5%), namun nilai yang mendekati atau melebihi 1.500 ppm dapat mengindikasikan potensi akumulasi berlebih akibat aktivitas antropogenik seperti tambang dan industri.

Sementara itu, unsur seng (Zn) menunjukkan kadar tertinggi di Desa Bukit Pariaman sebesar 52,68 ppm, dan kadar terendah ditemukan di Desa Bangun Rejo sebesar 39,49 ppm. Jika dibandingkan dengan baku mutu tanah pertanian menurut FAO/WHO (2017), konsentrasi Zn yang aman untuk lahan pertanian berkisar antara 50–300 ppm. Dengan demikian, kadar Zn di lokasi penelitian masih tergolong dalam batas aman, meskipun mendekati ambang batas bawah dari tingkat yang dapat menyebabkan fitotoksisitas pada tanaman peka jika akumulasi berlanjut.

Logam berat kadmium (Cd), yang dikenal bersifat toksik bahkan pada konsentrasi rendah, menunjukkan nilai tertinggi di Desa Separi sebesar 0,72 ppm, sedangkan nilai terendah tercatat di Desa Bangun Rejo sebesar 0,21 ppm. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 dan FAO/WHO (2017), ambang batas maksimum Cd yang diperbolehkan dalam tanah pertanian adalah 0,5–1,0 ppm. Dengan demikian, nilai Cd di Desa Separi sudah mendekati batas atas yang diizinkan, menunjukkan adanya potensi kontaminasi yang perlu diwaspadai. Meskipun seluruh nilai Cd yang terukur masih berada dalam rentang ambang batas, keberadaannya tetap memerlukan perhatian karena sifat Cd yang mudah terakumulasi dalam jaringan tanaman dan dapat menimbulkan risiko toksik bagi kesehatan manusia melalui rantai makanan.

Kandungan tembaga (Cu) tertinggi ditemukan di Desa Separi sebesar 19,43 ppm, sementara nilai terendah berada di Desa Bukit Raya sebesar 11,43 ppm. Adapun unsur mangan (Mn) menunjukkan konsentrasi tertinggi di Desa Buana Jaya (461,48 ppm) dan terendah di Desa Bangun Rejo (123,79 ppm). Selain kandungan logam berat, parameter pH tanah juga dianalisis sebagai faktor pendukung dalam memahami dinamika unsur hara dan logam berat di dalam tanah. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pH tanah di lokasi penelitian berkisar antara 4,57 hingga 6,52, yang dikategorikan sebagai tanah masam hingga agak masam. Keasaman tanah ini dapat meningkatkan kelarutan logam berat, sehingga berpotensi mempengaruhi ketersediaannya bagi tanaman dan dapat memperbesar risiko toksisitas.

Diskusi

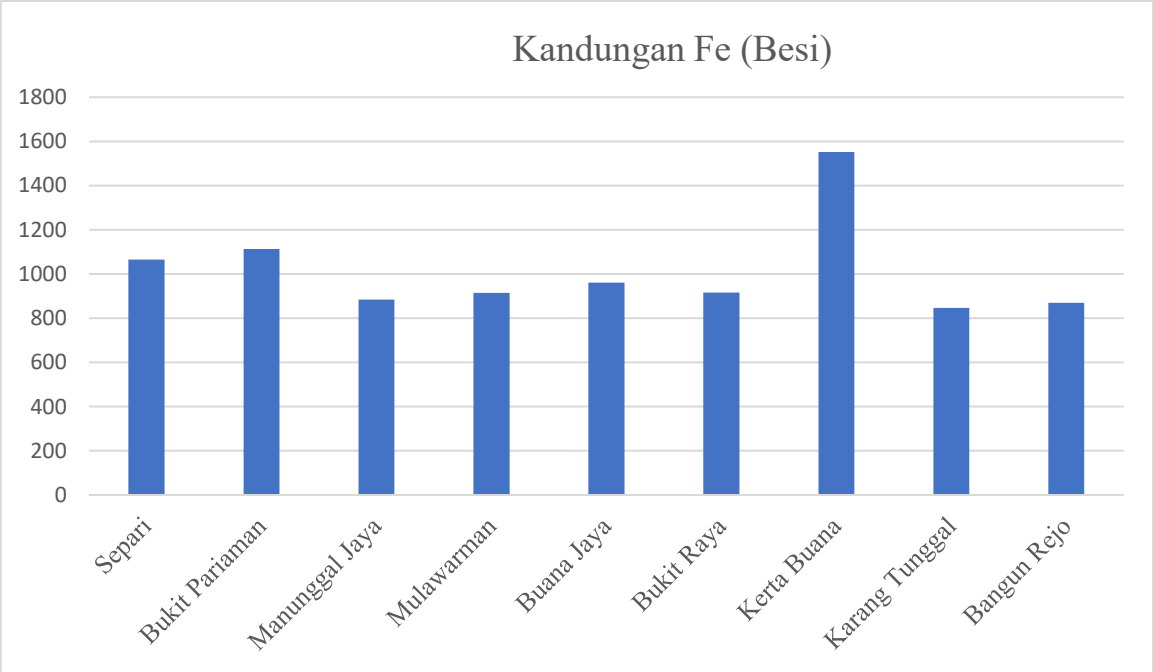
Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa meskipun konsentrasi logam berat yang terdeteksi pada sampel tanah sawah di Kecamatan Tenggarong Seberang masih berada dalam kisaran ambang batas yang diperbolehkan, terdapat potensi akumulasi logam berat di beberapa lokasi yang berdekatan dengan aktivitas industri dan pertambangan. Aktivitas pertambangan di Kecamatan Tenggarong Seberang menunjukkan pola sebaran yang luas dan intensif, sehingga memberikan tekanan nyata terhadap lingkungan dan sektor pertanian di sekitarnya. Berdasarkan data dari Pemerintah Kabupaten Kutai Kartanegara, Kecamatan Tenggarong Seberang memiliki luas sekitar 65.674 hektar dan merupakan salah satu wilayah dengan konsentrasi izin tambang batubara terbesar di kabupaten tersebut (PPID Kutai Kartanegara, 2024). Beberapa desa seperti Mulawarman dan Bhuana Jaya bahkan dilaporkan memiliki wilayah yang lebih dari 80% telah menjadi area konsesi tambang aktif sejak pertengahan 1990-an (Salsabilla & Murlianti, 2024). Selain tambang batubara terbuka, wilayah ini juga dilalui jalur transportasi berat untuk angkutan batubara dan material tambang yang berdekatan dengan area pemukiman serta lahan pertanian produktif. Pola spasial ini mengindikasikan adanya potensi tinggi penyebaran partikel debu dan air limpasan tambang yang dapat menjadi sumber utama polusi logam berat di tanah pertanian sekitar.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi unsur logam seperti besi (Fe), mangan (Mn), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan seng (Zn) meningkat secara signifikan di area sekitar lokasi tambang. Studi yang dilakukan di wilayah Tenggarong melaporkan bahwa konsentrasi Fe dalam limbah tambang dapat mencapai 6.454 mg/L pada periode puncak aktivitas tambang (Adnan, 2022). Pola sebaran konsentrasi logam berat umumnya menurun seiring jarak dari sumber pencemar, dengan area dalam radius 50–200 meter dari zona tambang atau jalur angkutan berat menunjukkan kadar yang melampaui ambang batas aman untuk tanah pertanian (Mununga, 2023). Mekanisme toksisitas logam berat terhadap tanaman terjadi melalui penyerapan ion logam oleh akar, yang kemudian mengganggu proses fisiologis seperti fotosintesis, pembelahan sel, dan aktivitas enzim, sehingga mengakibatkan klorosis, nekrosis, dan penurunan hasil panen. Pada manusia, paparan kronis logam berat melalui air tanah, udara berdebu, dan hasil pertanian yang terkontaminasi dapat menyebabkan gangguan saraf, ginjal, hati, serta meningkatkan risiko kanker (BRIN, 2022). Dengan demikian, keterkaitan antara lokasi tambang, pola sebaran logam berat, dan kedekatan lahan pertanian serta permukiman menunjukkan adanya urgensi tinggi untuk dilakukan pemantauan kualitas tanah dan air secara berkala di Tenggarong Seberang.

Peta sebaran spasial yang mengintegrasikan lokasi tambang, jalur transportasi, dan area pertanian akan sangat membantu dalam memvisualisasikan hubungan antara sumber pencemar dan area terdampak. Misalnya, zona “hotspot” konsentrasi tinggi logam berat biasanya terbentuk di sekitar kolam limbah, area pengupasan tanah, atau sepanjang jalan angkutan batubara, dan secara bertahap menurun menuju lahan yang lebih jauh dari sumber polusi. Pola spasial semacam ini telah banyak dilaporkan di wilayah tambang di Asia dan Amerika Selatan, dan sangat relevan diterapkan untuk konteks Tenggarong Seberang sebagai dasar penentuan prioritas rehabilitasi lahan dan perlindungan kesehatan masyarakat (The

Paradox of "Black Gold", 2024; Nasir, 2023). Dengan adanya data peta tersebut, analisis hubungan antara intensitas pertambangan dan tingkat akumulasi logam berat dapat disajikan lebih kuat, memberikan gambaran visual yang mempertegas urgensi mitigasi dan pengawasan lingkungan di wilayah pertanian sekitar tambang.Fenomena ini mengisyaratkan adanya tekanan lingkungan yang bersifat laten, yang apabila tidak ditangani dengan baik dapat mengarah pada degradasi kualitas tanah secara bertahap. Oleh karena itu, langkah-langkah pemantauan secara berkala serta penerapan strategi mitigasi berbasis pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan perlu segera dilakukan guna mencegah munculnya dampak negatif terhadap produktivitas lahan dan keamanan hasil pertanian (Nugroho *et al.* 2023).

Lebih lanjut, untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif terhadap kondisi tanah dan potensi pencemarannya, berikut disajikan pembahasan mengenai masing-masing unsur logam berat yang dianalisis dalam penelitian ini:

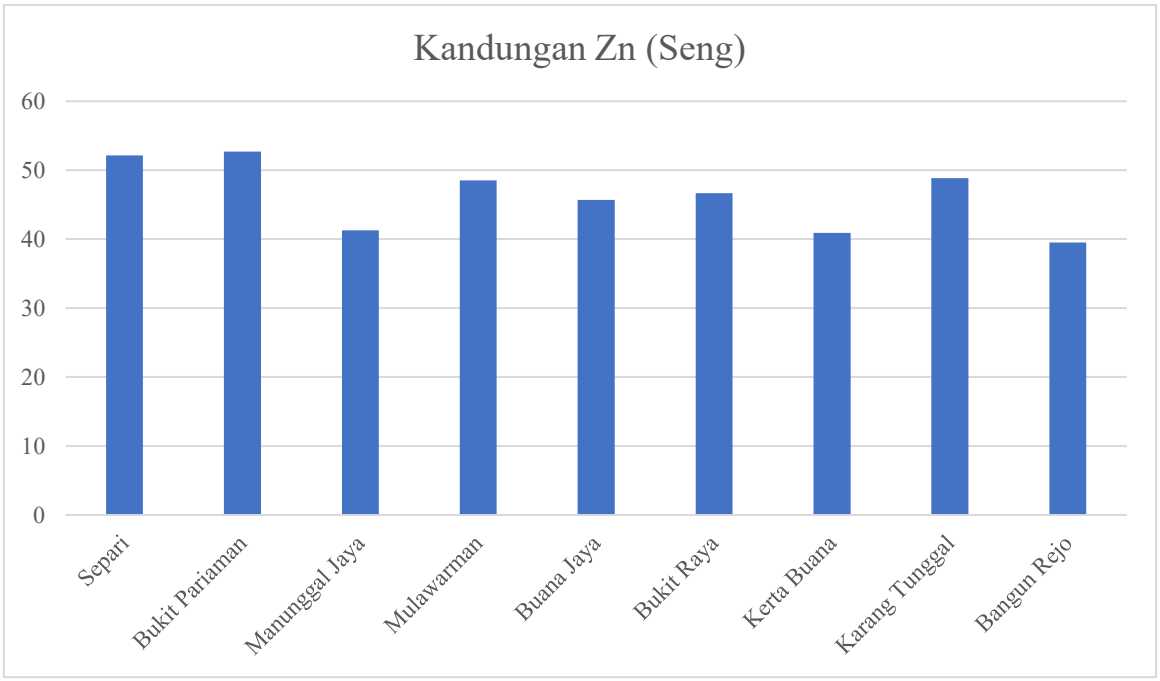


Gambar 1. Grafik hasil analisis kandungan Fe (besi)

Analisis Kandungan Besi (Fe) pada Tanah Sawah

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, konsentrasi besi (Fe) tertinggi ditemukan di Desa Kerta Buana, yaitu sebesar 1.552 ppm. Tingginya nilai Fe di lokasi tersebut diduga berkorelasi dengan penggunaan pupuk kimia secara intensif dalam praktik budidaya serta kemungkinan adanya kontribusi dari aktivitas pertambangan yang berdekatan, yang menyebabkan pelarutan unsur Fe ke dalam tanah. Secara visual, tanah sawah yang memiliki kandungan Fe tinggi umumnya ditandai dengan munculnya endapan berwarna abu kehitaman dan air yang mengandung lapisan karatan berwarna merah kecokelatan. Unsur Fe memiliki peran penting dalam proses metabolisme tanaman, terutama dalam pembentukan klorofil dan fungsi enzimatik seperti sitokrom dalam rantai respirasi. Meskipun Fe bukan komponen utama klorofil, keberadaannya esensial dalam mendukung proses fotosintesis. Namun, akumulasi Fe dalam jumlah berlebih dapat bersifat fitotoksik bagi tanaman padi, yang ditandai dengan gejala seperti bercak coklat pada jaringan daun, gangguan dalam proses pertumbuhan, serta tampilan morfologi tanaman yang kerdil.

Kehadiran bahan organik di dalam tanah memiliki peran penting dalam mengatur dinamika unsur Fe, karena senyawa organik dapat membentuk kelat yang membantu menjaga ketersediaan Fe dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Selain itu, perubahan nilai pH tanah akibat aktivitas dekomposisi bahan organik turut memengaruhi mobilitas dan kelarutan unsur Fe. Di sisi lain, Fe yang berasal dari sumber antropogenik seperti limbah industri cenderung bersifat toksik karena sulit mengalami degradasi secara alami dan cenderung terakumulasi di lingkungan. Walaupun unsur ini dibutuhkan dalam jumlah tertentu oleh organisme hidup, konsentrasi Fe yang melebihi ambang batas dapat memberikan dampak merugikan terhadap ekosistem dan kesehatan manusia (Gelyaman, 2018).



Gambar 2. Grafik hasil analisis kandungan Zn (seng) di sawah

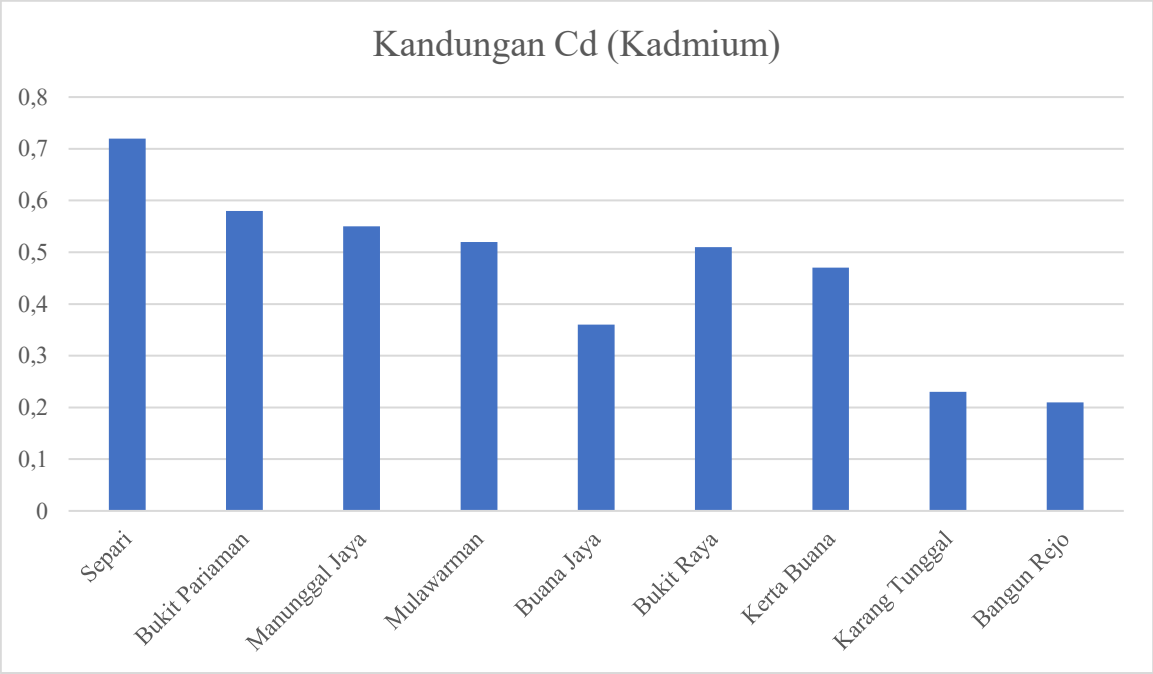
Analisis Kandungan Seng (Zn) pada Tanah Sawah

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, konsentrasi unsur seng (Zn) tertinggi ditemukan di Desa Bukit Pariaman, yaitu sebesar 52,68 ppm. Meskipun nilai tersebut mendekati ambang batas kritis, kandungannya masih tergolong dalam kisaran yang dapat ditoleransi oleh tanaman. Akumulasi Zn di lahan pertanian umumnya disebabkan oleh aktivitas antropogenik, seperti penggunaan pupuk, pestisida, serta pengaruh dari pencemaran lingkungan akibat aktivitas industri di sekitar kawasan pertanian. Secara kimiawi, tingginya kadar Zn dalam tanah sering kali berkaitan dengan dinamika reduksi-oksidasi (redoks) besi (Fe). Pada kondisi tergenang, seperti pada lahan sawah, senyawa oksida Fe mengalami reduksi, yang menyebabkan pelepasan Zn ke dalam larutan tanah. Ketika kondisi tanah kembali menjadi aerob, aktivitas mikroorganisme yang mendegradasi bahan organik akan meningkatkan ketersediaan Zn dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Seng merupakan unsur hara mikro yang memiliki peranan vital dalam berbagai proses fisiologis tanaman, seperti aktivasi enzim, biosintesis hormon tumbuh, serta dalam regulasi proses pertumbuhan dan perkembangan jaringan. Defisiensi Zn pada tanaman umumnya ditandai dengan pertumbuhan terhambat, daun berwarna kuning (klorosis), serta penurunan kualitas dan jumlah hasil panen. Sebaliknya, akumulasi Zn dalam jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan gejala toksisitas, seperti nekrosis pada jaringan daun dan bahkan kematian jaringan tanaman.

Dalam sistem tanah, unsur hara seng (Zn) bergerak menuju akar tanaman terutama melalui proses difusi, yaitu perpindahan ion Zn^{2+} dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke daerah dengan konsentrasi rendah di sekitar permukaan akar. Laju difusi Zn sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan dan sifat tanah. Salah satu faktor utama adalah konsentrasi Zn^{2+} dalam larutan tanah; semakin tinggi konsentrasi Zn yang tersedia, semakin besar gradien konsentrasi yang mendorong pergerakan ion menuju akar tanaman. Kadar air tanah juga berperan penting karena difusi berlangsung melalui fase cair tanah semakin tinggi kelembapan tanah, maka semakin cepat pula pergerakan Zn, sedangkan pada kondisi kering difusi menjadi sangat terbatas. Selain itu, suhu tanah turut memengaruhi kecepatan difusi; suhu yang lebih tinggi meningkatkan energi kinetik ion dan menurunkan viskositas air, sehingga mempercepat difusi Zn. Faktor pH tanah juga berpengaruh besar terhadap kelarutan dan ketersediaan Zn. Pada tanah masam (pH rendah), Zn^{2+} cenderung lebih larut sehingga mudah berdifusi menuju akar. Sebaliknya, pada tanah alkalis (pH tinggi), Zn mudah membentuk senyawa tidak larut seperti $Zn(OH)_2$ sehingga menurunkan ketersediaannya dalam larutan tanah. Kandungan liat dan bahan organik dalam tanah juga memengaruhi proses ini; partikel liat dan bahan organik bermuatan negatif dapat mengadsorpsi Zn^{2+}, sehingga mengurangi jumlah Zn yang bebas berdifusi, meskipun pada kondisi tertentu bahan organik dapat membentuk kompleks kelat yang justru meningkatkan mobilitas Zn. Selain faktor-faktor tersebut, aktivitas penyerapan akar tanaman berperan sebagai penggerak utama difusi, karena akar yang aktif menyerap Zn menciptakan gradien konsentrasi antara zona akar dan larutan tanah di sekitarnya, sehingga mendorong pergerakan Zn^{2+} secara berkelanjutan. Dengan demikian, difusi Zn dalam tanah merupakan hasil interaksi kompleks antara sifat kimia tanah, kondisi fisik lingkungan, dan aktivitas biologis akar tanaman.

Selain berdampak pada pertumbuhan tanaman, kelebihan Zn juga dapat memberikan efek negatif terhadap kesehatan manusia. Konsentrasi Zn yang tinggi di dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan fisiologis seperti diare, muntah, kerusakan hati, ginjal, serta sistem hematopoietik. Dalam lingkungan akuatik, Zn yang terlarut dalam kadar tinggi berpotensi menimbulkan kematian biota perairan. Walaupun Zn merupakan unsur esensial dalam sistem imun dan metabolisme

manusia, pengelolaan konsentrasinya dalam tanah dan air harus dilakukan secara bijak untuk menghindari risiko ekologis dan kesehatan (Sakya, 2016).

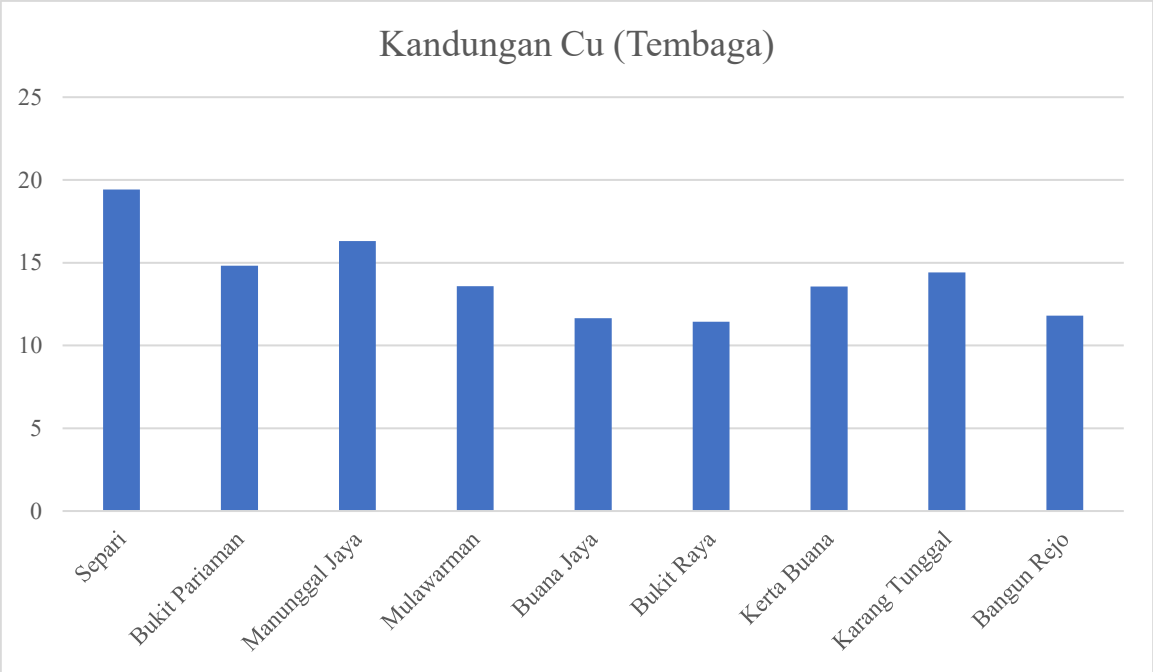


Gambar 3. Grafik hasil analisis kandungan Cd (kadmium) di sawah

Analisis Kandungan Kadmium (Cd) pada Tanah Sawah

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat kadmium (Cd) tertinggi ditemukan pada sampel tanah sawah di Desa Separi, dengan nilai sebesar 0,72 ppm. Meskipun nilai ini masih berada di bawah ambang batas kritis yang ditetapkan, yakni 3–8 ppm, keberadaannya tetap memerlukan perhatian khusus mengingat sifat toksiknya yang tinggi. Pencegahan terhadap peningkatan konsentrasi Cd perlu segera dilakukan melalui strategi pengelolaan lingkungan dan pengendalian sumber pencemar. Sumber utama kontaminasi Cd di lahan pertanian dapat berasal dari berbagai aktivitas antropogenik, antara lain pembuangan limbah industri, pertambangan logam, serta penggunaan pupuk fosfat yang mengandung residu logam berat. Selain itu, Cd juga dapat masuk ke dalam lahan sawah melalui deposisi atmosfer akibat hujan yang membawa partikel debu dan asap dari kawasan industri dan tambang ke dalam sistem irigasi. Di samping itu, Cd juga dapat berasal dari proses alami seperti pelapukan batuan induk, aktivitas vulkanik, serta pembakaran bahan bakar fosil seperti batubara.

Kadmium tergolong sebagai salah satu logam berat paling beracun setelah merkuri (Hg), dengan tingkat toksisitas yang tinggi bahkan pada konsentrasi yang relatif rendah. Dalam lingkungan perairan, Cd mudah terlarut dan dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui bioakumulasi oleh organisme akuatik. Akumulasi Cd di dalam tubuh manusia bersifat kronis dan sulit dieliminasi; waktu paruh biologisnya diperkirakan mencapai 20 hingga 30 tahun. Paparan Cd secara berkepanjangan dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan serius, seperti kanker, penyakit ginjal kronis, gangguan kardiovaskular, serta kerusakan jaringan tulang (Mahendra *et al.,* 2018). Pada tanaman, Cd dapat mengganggu proses fisiologis dengan menyebabkan nekrosis pada jaringan, klorosis daun, serta penurunan efisiensi fotosintesis, yang pada akhirnya menyebabkan pertumbuhan terhambat dan tanaman menjadi layu. Jika kandungan Cd di dalam tanah terus meningkat tanpa pengendalian yang memadai, maka lahan pertanian berisiko mengalami penurunan kualitas dan kesuburan secara signifikan hingga mencapai tingkat pencemaran yang tidak layak untuk kegiatan budidaya pertanian.

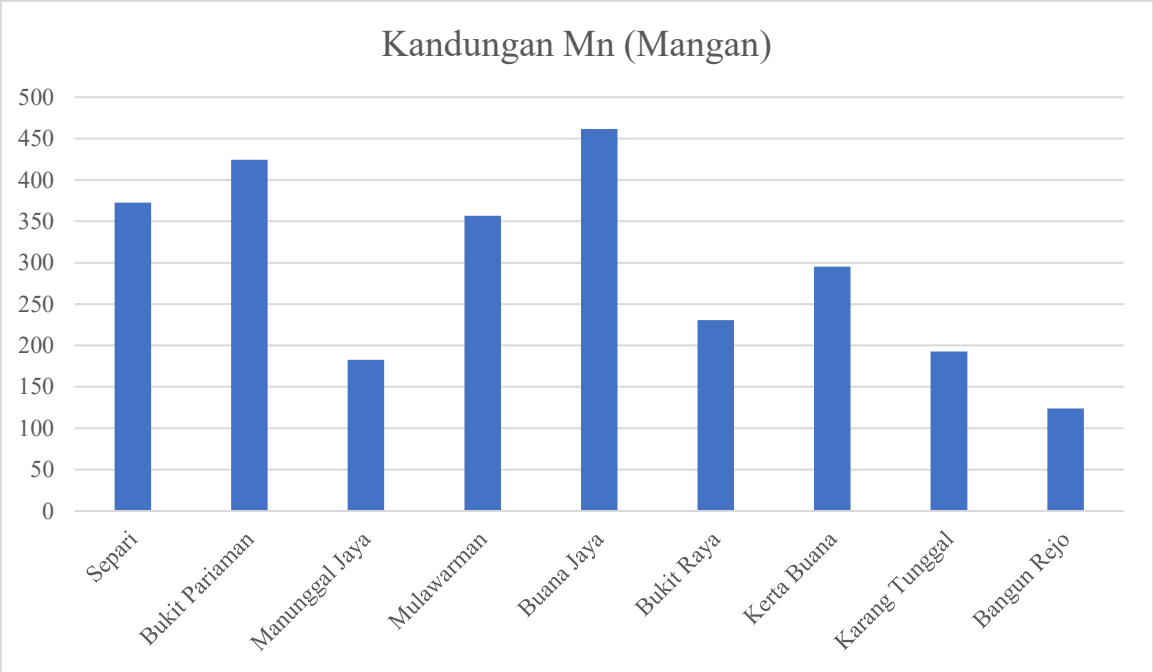


Gambar 4. Grafik hasil analisis kandungan logam Cu (tembaga) di tanah sawah

Analisis Kandungan Tembaga (Cu) pada Tanah Sawah

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, kandungan tembaga (Cu) di lahan sawah Kecamatan Tenggarong Seberang menunjukkan variasi antar lokasi, dengan konsentrasi tertinggi tercatat di Desa Separi. Meskipun demikian, seluruh nilai Cu yang terdeteksi masih berada dalam kisaran ambang normal, yaitu antara 60 hingga 125 ppm, sehingga belum menimbulkan risiko toksisitas baik terhadap tanaman maupun manusia. Namun demikian, peningkatan kadar Cu dalam tanah tetap perlu diantisipasi, mengingat keberadaannya dapat meningkat akibat faktor antropogenik maupun proses geokimia alamiah. Secara alami, kandungan Cu dalam tanah dapat bertambah melalui pelapukan batuan induk, erosi tanah, dan deposisi akibat curah hujan. Sementara itu, kontribusi aktivitas manusia berasal dari limbah domestik, penggunaan pestisida dan fungisida berbasis tembaga dalam praktik pertanian, serta emisi dari aktivitas pertambangan. Dalam tanah, kelarutan dan mobilitas ion Cu dipengaruhi oleh tingkat keasaman (pH) serta interaksinya dengan senyawa organik dan mineral, khususnya melalui proses penjerapan oleh koloid tanah.

Unsur Cu termasuk mikronutrien esensial bagi tanaman dan berperan penting dalam berbagai proses fisiologis, seperti fotosintesis, respirasi seluler, lignifikasi dinding sel, serta pembentukan serbuk sari. Kekurangan Cu pada tanaman padi dapat ditunjukkan dengan gejala daun menggulung, ujung daun mengering, serta tanaman tampak layu akibat gangguan metabolisme. Sebaliknya, akumulasi Cu dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan klorosis, kerusakan jaringan, dan kematian tanaman. Kekurangan unsur Cu lebih umum ditemukan pada tanah dengan pH rendah (masam), di mana ketersediaan unsur ini cenderung menurun. Dari aspek kesehatan manusia, paparan tembaga dalam jumlah yang berlebihan dapat bersifat toksik. Debu tembaga yang terhirup dalam dosis sebesar 3,5 mg/kg diketahui dapat menyebabkan gangguan saluran pernapasan dan kerusakan jaringan mukosa. Sementara itu, akumulasi Cu dalam tubuh manusia akibat konsumsi atau paparan jangka panjang dapat memicu gejala seperti mual, muntah, rasa terbakar di saluran pencernaan, diare, tekanan darah rendah (hipotensi), hingga nekrosis hati dan koma dalam kasus ekstrem (Astari & Utami, 2018). Oleh karena itu, pemantauan kandungan Cu di tanah pertanian tetap perlu dilakukan secara berkala sebagai bagian dari upaya pengendalian kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.



Gambar 5. Grafik Hasil Analisis kandungan Logam Mn (mangan) di tanah sawah

Analisis Kandungan Mangan (Mn) pada Tanah Sawah Kecamatan Tenggarong Seberang

Berdasarkan hasil analisis yang ditampilkan pada Gambar 5, diketahui bahwa konsentrasi mangan (Mn) tertinggi terdapat di lahan sawah Desa Buana Jaya, dengan nilai mencapai 461,48 ppm. Meskipun nilai tersebut relatif tinggi dibandingkan desa lain, kadar Mn ini masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan ambang batas kritis sebesar 1.500 ppm. Namun demikian, tanpa adanya langkah mitigasi yang tepat, potensi peningkatan konsentrasi Mn tetap perlu diwaspadai, terutama karena pengaruh dari aktivitas antropogenik seperti pertambangan serta perkembangan permukiman di sekitar area persawahan. Secara ekologis, keberadaan Mn dalam sedimen atau tanah umumnya belum memberikan dampak langsung yang merugikan bagi biota apabila kadarnya belum melampaui ambang batas toksik. Dalam konteks fisiologis tanaman, Mn memegang peranan penting dalam mendukung aktivitas fotosintetik, terutama dalam sintesis klorofil, sehingga berkontribusi terhadap intensitas warna hijau daun, termasuk pada daun tua.

Namun demikian, dalam kondisi tanah yang bersifat masam (pH < 6,5), kelarutan Mn meningkat secara signifikan hingga mencapai tingkat yang dapat meracuni tanaman. Gejala kekurangan Mn pada tanaman, khususnya padi, sering kali menyerupai defisiensi besi (Fe), yang ditandai dengan klorosis pada daun muda warna hijau daun memudar menjadi kekuningan atau keputihan, sedangkan tulang daun tetap berwarna hijau. Jika kondisi ini berlanjut, jaringan yang terdampak dapat mengalami nekrosis, mengering, atau menyusut. Sebaliknya, akumulasi Mn dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan gejala toksisitas seperti pertumbuhan tanaman yang terhambat (kerdil), serta munculnya bercak coklat pada tulang daun dan pelepah, terutama di bagian daun bawah. Kondisi tanah yang terlalu asam memperbesar risiko terjadinya kelebihan Mn, sehingga perlu dilakukan pengapuran atau perbaikan pH tanah secara periodik guna mengurangi ketersediaan Mn dalam bentuk larut (Dewantoro, 2017).

Dari sisi lingkungan perairan, Mn sering kali ditemukan bersama Fe dalam lapisan kerak bumi dan dapat terlarut dalam air tanah maupun air permukaan, terutama dalam kondisi defisiensi oksigen. Apabila konsentrasi Mn dalam air melebihi ambang batas aman, maka akan menimbulkan rasa dan aroma logam yang tidak sedap, mengubah warna air menjadi kecoklatan, serta berpotensi menimbulkan gangguan fungsi hati dan keluhan kesehatan lainnya pada manusia (Awliahasanah *et al.* 2021).

KESIMPULAN

Kandungan logam berat pada tanah sawah di Kecamatan Tenggarong Seberang menunjukkan variasi antar lokasi. Secara umum, konsentrasi logam Fe, Zn, Cu, dan Mn masih berada di bawah ambang batas kritis berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 dan pedoman FAO/WHO (2017), sehingga belum mengindikasikan pencemaran serius. Namun, kadar Cd di Desa Separi (0,72 ppm) mendekati batas maksimum yang diizinkan (1,0 ppm), mengindikasikan potensi awal kontaminasi kadmium yang perlu diwaspadai karena sifat toksiknya yang mudah terakumulasi dalam jaringan tanaman dan dapat masuk ke rantai makanan manusia.

Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pengawasan dan pengelolaan kualitas tanah secara berkelanjutan di wilayah pertanian sekitar kawasan industri dan pertambangan. Upaya strategis yang direkomendasikan meliputi: (i) pemantauan berkala dan sistem peringatan dini terhadap logam berat utama pada tanah dan air irigasi, (ii) pengelolaan tanah

dan remediasi ramah lingkungan menggunakan bahan organik seperti biochar, kompos, dan pupuk kandang, (iii) fitoremediasi dan diversifikasi tanaman melalui pemanfaatan tanaman hiperakumulator seperti *Vetiveria zizanioides*, *Amaranthus sp.*, dan *Helianthus annuus*, serta (iv) pengawasan ketat aktivitas industri dan pertambangan dengan penerapan prinsip *polluter pays*.

Selain itu, edukasi dan pemberdayaan petani perlu diperkuat untuk meningkatkan kesadaran akan dampak logam berat dan penerapan praktik pertanian berkelanjutan. Sinergi antar pihak ini diharapkan mampu meminimalkan risiko akumulasi logam berat sekaligus menjaga ketahanan pangan dan keberlanjutan ekosistem pertanian di Kecamatan Tenggarong Seberang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara moral, material, maupun teknis, selama proses pelaksanaan penelitian ini. Penghargaan khusus ditujukan kepada Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman atas penyediaan sarana dan prasarana laboratorium yang sangat membantu dalam kegiatan analisis. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada aparat dan masyarakat desa di wilayah Kecamatan Tenggarong Seberang yang telah memberikan izin, kerja sama, serta bantuan selama kegiatan pengambilan sampel di lapangan. Tidak lupa, rasa hormat dan terima kasih penulis sampaikan kepada para dosen pembimbing atas bimbingan, saran, serta masukan yang konstruktif dalam penyusunan karya ilmiah ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pertanian, khususnya dalam pengelolaan sumber daya lahan yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Adnan M. 2022. Research progress on heavy metals pollution in the soil: a review. Environmental Pollution

Astari MA, & Utami B. 2018. Uji daya adsorpsi adsorben kombinasi sekam padi dan bagasse fly ash untuk menjerap logam Cu pada sistem batch. Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Environmental, and Learning 15(1): 766–774

Awliahasanah R, Sari DNSN, Yanti D, Azrinindita ED, Ghassani D, Maulidia NS, & Sulistiyorini D. 2021. Analisis risiko kesehatan lingkungan kandungan mangan pada air sumur warga Kota Depok. Jurnal Sanitasi Lingkungan 1(2): 80–86

BPS Kutai Kartanegara. 2016. Kecamatan Tenggarong Seberang dalam Angka 2012. Kabupaten Kutai Kartanegara

Dewantoro TG. 2017. Pengaruh penyemprotan silika dan mangan terhadap pertumbuhan, produksi, dan mutu benih kedelai (Glycine max [L.] Merrill) [Skripsi]

Gelyaman GD. 2018. Faktor-faktor yang memengaruhi bioavailabilitas besi bagi tumbuhan. Jurnal Saintek Lahan Kering 1(1): 14–16

Handayani CO, Sukarjo S, Dewi T, & Zu'amah H. 2022. Logam berat dan probabilistik penilaian risiko kesehatan melalui konsumsi beras dari lahan sawah di Hulu Sungai Citarum. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia 21(2): 225–234

Hilmawan R. 2016. Coal mining operations and its impact on sectoral and regional area: evidence of East Kalimantan, Indonesia. Journal of Indonesian Applied Economics 8(1)

Khasanah U, Mindari W, & Suryaminarsih P. 2021. Kajian pencemaran logam berat pada lahan sawah di kawasan industri Kabupaten Sidoarjo. Jurnal Teknik Kimia 15(2): 73–81

Mahendra R, Siaka IM, & Suprihatin IE. 2018. Bioavailabilitas logam berat Pb dan Cd dalam tanah perkebunan budidaya kubis di daerah Kintamani Bangli. Ecotropic Jurnal Ilmu Lingkungan 12(1): 42–49

Mununga FK. 2023. Assessment of heavy metal pollution of agricultural soils: a regional study example. Agronomy

Nasir M. 2023. Environmental management of coal mining areas in East Kalimantan, Indonesia

Nugroho GA, Kusumarini N, Romadhoni W, & Kurniawan S. 2023. Effect of micronutrient fertilization on production and soil fertility in maize. Jurnal Online Pertanian Tropik 10(3): 20–28

PPID Kabupaten Kutai Kartanegara. 2024. Profil Kecamatan Tenggarong Seberang. PPID Kukar. [Internet]. Available from: https://ppid.kukarkab.go.id

Pusat Riset BRIN. 2022. Remediation of Heavy Metals Polluted Soils in Indonesia. BRIN Press

Sakya AT. 2016. Peningkatan ketersediaan nutrisi mikro pada tanaman: upaya mengurangi malnutrisi pada manusia. Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture 31(2): 118–128

Salsabilla N. 2023. Analisis dampak sosial ekonomi masyarakat lingkar tambang Desa Bhuana Jaya, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kutai Kartanegara [Tesis]. Universitas Mulawarman

Salsabilla N, & Murlianti S. 2024. Social reconfiguration and marginalization of farmers in Tenggarong Seberang (case studies: Mulawarman, Bhuana Jaya). Komunitas Journal

Sari R, Palupi NP, Kesumaningwati R, & Jannah R. 2022. Penyerapan logam berat besi (Fe) dengan metode fitoremediasi pada tanah sawah menggunakan tanaman kangkung air (Ipomoea aquatica). Universitas Mulawarman

Seran R. 2017. Pengaruh mangan sebagai unsur hara mikro esensial terhadap kesuburan tanah dan tanaman. Bio-edu 2(1): 13–14

Sukarjo PW, Handayani CO, & Harsanti ES. 2019. Assessment of heavy metal contamination risk in rice field and rice plant in Brantas Watershed, Jombang Regency. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan 6: 1033–1042

The Paradox of 'Black Gold' (Coal). 2024. Laporan/analisis tentang luas konsesi tambang di Kukar. tri.or.id

Tianur A. 2022. The decline in vegetation index in Mulawarman Village and Tenggarong Seberang District caused by increased coal mining activities