

Bioakumulasi Logam Cu dan Pb Pada Tanah Sawah

Surya L. Budisyah Tambunan^{1,*}, Dini Hariyati Adam¹, Badrul Ainy Dalimunthe¹, Ika Ayu Putri Septyani¹

Fakultas Sains Teknologi, Program Studi Agroteknologi, Universitas Labuhanbatu, Rantauprapat, Indonesia

Email: ^{1,*}tambunanbudi3@gmail.com, ²dinihariyatiadam@gmail.com, ³badrulainy@gmail.com, ⁴ikaputri@ulb.ac.id

Email Penulis Korespondensi: tambunanbudi3@gmail.com

Abstrak-Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kadar logam berat tembaga (Cu) dan timbal (Pb) pada tanah sawah di Desa Sigambal, Kecamatan Rantau Selatan, serta mengevaluasi tingkat pencemaran tanah berdasarkan indikator Faktor Pengkayaan (Enrichment Factor/EF), Faktor Kontaminasi (Contamination Factor/CF), dan Indeks Beban Polusi (Pollution Load Index/PLI). Sampel tanah diambil dari tiga petak sawah pada titik hulu, tengah, dan hilir, kemudian dianalisis menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar rata-rata logam Cu sebesar 1,23 mg/kg masih berada jauh di bawah ambang batas alami (25 mg/kg), sementara kadar rata-rata logam Pb mencapai 32,58 mg/kg, melebihi nilai referensi alami (17 mg/kg). Nilai EF untuk Cu dan Pb < 2, serta CF < 1, menunjukkan tingkat kontaminasi rendah yang kemungkinan berasal dari sumber geogenik. Namun, nilai PLI sebesar 17,538 (>1) menunjukkan bahwa tanah telah mengalami pencemaran secara umum. Hasil ini menegaskan pentingnya pemantauan berkala dan tindakan mitigasi untuk mencegah risiko ekologis dan kesehatan akibat akumulasi logam berat di lingkungan pertanian.

Kata Kunci: Bioakumulasi; Logam Berat; Tembaga (Cu); Timbal (Pb); Tanah Sawah.

1. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan isu krusial di tingkat global, terutama di negara-negara dengan populasi yang terus meningkat seperti Indonesia. Padi, sebagai makanan pokok utama bagi sebagian besar penduduk Indonesia, memegang peran strategis dalam pembangunan nasional dan menjadi komoditas prioritas untuk pengembangan serta penelitian. Ketersediaan sumber makanan yang cukup menjadi sangat penting seiring dengan pertumbuhan populasi yang tidak terhenti, yang pada gilirannya turut memicu berbagai bentuk pencemaran lingkungan. Di antara berbagai jenis polutan yang berkontribusi terhadap degradasi lingkungan, logam berat menjadi perhatian utama. Hal ini disebabkan oleh karakteristik logam berat yang persisten di lingkungan, toksisitasnya, serta kemampuannya untuk terakumulasi secara biologis, yang dapat menimbulkan dampak merugikan bagi kesehatan manusia dan ekosistem secara keseluruhan (Uddin & Cassim, Mohamed Zakeel, MohamedZavahir, 2021). Pencemaran lingkungan, khususnya oleh logam berat, dapat mengganggu aktivitas makhluk hidup. Bahan pencemar ini bersifat toksik dan berbahaya, serta dapat terakumulasi dalam tubuh organisme seiring waktu.

Logam berat seperti Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) merupakan beberapa jenis pencemar yang sering ditemukan di lahan sawah. Tembaga (Cu) memiliki sifat non-degradable, artinya tidak dapat terurai atau dihancurkan secara alami, dan cenderung mudah terakumulasi dalam rantai makanan. Sementara itu, Timbal (Pb) dikenal dapat memengaruhi proses pertumbuhan tanaman, dan konsumsi tanaman yang tercemar Pb dapat menyebabkan keracunan pada manusia (Malang, 2022). Apabila logam berat mencemari tanah sawah, hal ini berpotensi menyebabkan gagal panen bagi petani. Beberapa faktor yang sering dikaitkan dengan pencemaran ini meliputi penggunaan pupuk anorganik, aktivitas transportasi, dan pembuangan limbah rumah tangga yang masuk ke badan air. Dampak dari pencemaran ini tidak hanya mengganggu pertumbuhan tanaman hingga menyebabkan gagal panen, tetapi keberadaan logam berat dalam tanah sawah juga perlu diwaspadai dalam jangka panjang karena dapat membahayakan kesehatan makhluk hidup, termasuk manusia. Unsur-unsur logam berat ini dapat diserap oleh akar tanaman, masuk ke dalam jaringan tanaman, dan kemudian terakumulasi dalam buah atau bagian tanaman lain yang dikonsumsi. Logam, baik ringan maupun berat, hampir selalu ditemukan di alam, mulai dari tanah, batuan, hingga badan air seperti air tawar dan air laut, meskipun dalam jumlah terbatas. Umumnya, logam di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain, jarang sekali dalam bentuk elemen tunggal.

Tembaga (Cu) adalah salah satu logam esensial yang dibutuhkan oleh organisme dalam konsentrasi rendah, namun menjadi toksik pada konsentrasi tinggi. Tembaga merupakan unsur hara mikro penting bagi tanaman yang berperan dalam asimilasi CO₂, serta komponen kunci berbagai protein dalam fotosintesis dan respirasi. Peningkatan konsentrasi tembaga dalam ekosistem sering dikaitkan dengan peningkatan kegiatan industri dan pertambangan. Selain itu, tembaga juga dapat masuk ke dalam tanah melalui aktivitas antropogenik seperti pertambangan dan peleburan bijih. Kelebihan tembaga dalam tanah dapat bersifat sitotoksik, memicu stres pada tanaman, menghambat pertumbuhan, dan menyebabkan klorosis pada daun. Paparan berlebihan dapat menyebabkan cekaman oksidatif yang merusak jalur metabolisme dan makromolekul. Keracunan tembaga bahkan dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman berbunga, dan kombinasinya dengan logam berat lain seperti kadmium (Cd) dapat memengaruhi perkembangan dan perkembangan akar (Saputra et al., 2023).

Timbal (Pb), yang secara ilmiah dikenal sebagai Plumbum, adalah logam berat toksik yang konsentrasinya di lingkungan saat ini dianggap berbahaya (Syarifah, 2022). Timbal ditemukan di berbagai media lingkungan termasuk udara, air, debu, dan tanah. Keberadaan timbal di lingkungan sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti sisa pembakaran bahan bakar. Partikel timbal yang besar akan langsung jatuh ke tanah dan permukaan air, sementara partikel yang lebih kecil terbawa angin, menetap di atmosfer, dan kembali jatuh ke tanah dan air saat hujan. Hal ini menjadikan timbal sebagai salah satu permasalahan global. Tanah yang tidak subur dan rendah bahan organik dapat menyebabkan Pb terlepas dari ikatan tanah dan bergerak bebas dalam bentuk ion, sehingga mudah diserap akar tanaman.

Logam berat merupakan unsur alami di lingkungan, baik karena fenomena alam maupun aktivitas manusia (Sasongko et al., 2020). Peningkatan konsentrasi logam berat yang berinteraksi dengan manusia perlu diperhatikan karena sifatnya yang dapat terakumulasi dalam organisme, mengalami biomagnifikasi dalam rantai makanan, dan bersifat toksik. Logam berat masuk ke dalam tatanan lingkungan sebagai akibat dari aktivitas manusia, contohnya adalah buangan industri yang memakai logam berat misalnya penggunaan pupuk kimia. Logam berat digunakan sebagai bahan pembuatan pupuk kimia. Kontaminasi logam berat pada manusia dapat berakibat fatal (Akhir et al., 2024).

Lahan sawah memiliki peran ganda: sebagai penghasil bahan pangan utama dan sumber pendapatan bagi petani (Regency et al., 2022). Namun, penggunaannya juga dapat menimbulkan dampak negatif berupa efek rumah kaca, pencemaran air dan tanah akibat penggunaan bahan kimia berlebihan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan aliran permukaan yang membawa sedimen (Yoon, 2014). Mengingat pentingnya lahan sawah dan potensi ancaman pencemaran logam berat, penelitian ini bertujuan untuk mengkaraktirikan kondisi logam berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada tanah lahan sawah di Desa Sigambal, Kecamatan Rantau Selatan. Penelitian ini akan menjawab permasalahan mengenai kadar logam berat Cu dan Pb yang melebihi ambang batas alami dan tingkat pencemaran tanah sawah berdasarkan perhitungan faktor pengkayaan (EF), faktor kontaminasi (CF), dan indeks beban polusi (PLI). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai tingkat pencemaran dan potensi risiko terhadap lingkungan pertanian serta kesehatan manusia di wilayah tersebut. Hipotesis yang diajukan adalah kadar logam Cu dan Pb pada tanah sawah melebihi batas aman untuk lingkungan dan kesehatan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Kerangka Dasar Penelitian

Pengambilan data dilakukan yakni Januari 2025, Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif yang dilakukan dengan pendekatan survei dan analisis laboratorium untuk mengevaluasi kadar logam berat tembaga (Cu) dan timbal (Pb) pada tanah sawah di Desa Sigambal, Kecamatan Rantau Selatan. Pengambilan sampel dilakukan secara acak pada tiga lokasi (hulu, tengah, hilir) dengan kedalaman 0–20 cm, kemudian dianalisis menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Data hasil analisis digunakan untuk menghitung Faktor Pengkayaan (EF), Faktor Kontaminasi (CF), dan Indeks Beban Polusi (PLI) sebagai indikator tingkat pencemaran logam berat dalam tanah.

2.2 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Tahap persiapan
Tahap persiapan pada penelitian ini meliputi persiapan alat, bahan, lokasi pengambilan sampel, dan lokasi penelitian
- b. Penentuan titik lokasi
Penentuan titik lokasi ditentukan secara random (acak) sampling yaitu adalah tanah yang diambil dari lokasi yang sama yaitu di Desa Sigambal kecamatan Rantau Selatan.
- c. Metode pengambilan sampel
Sampel tanah diambil dari tiga lokasi berbeda (hulu, tengah, dan hilir), masing-masing terdiri dari tiga titik dengan kedalaman 0–20 cm menggunakan metode acak sistematis.
- d. Pengujian Sampel
Sampel tanah dikeringkan pada suhu 60°C, kemudian diayak (63 µm), dan diuji kandungan Cu dan Pb menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) di laboratorium.
- e. Analisis Data
Analisis data untuk bioakumulasi logam Cu dan Pb menggunakan analisis Perkiraan tingkat kontaminasi, Faktor pengayaan (EF), Faktor kontaminasi (CF), dan Indeks beban polusi (PLI)
 1. Perkiraan Tingkat Kontaminasi
Tingkat kontaminasi logam berat dapat ditentukan dengan membandingkan data primer dengan data referensi, penggunaan faktor pengayaan (Enrichment Factor, EF), kontaminasi faktor (Contamination Factor, CF), indeks beban polusi (Pollution Load Index, PLI) (Darko et al., 2017).
 2. Faktor Pengkayaan (EF)
Faktor pengkayaan (EF) digunakan untuk menilai tingkat cemaran logam berat dari sumber antropogenik untuk membedakan antara sumber antropogenik dan sumber alami (Swarnalatha et al., 2015). Untuk normalisasi faktor pengkayaan digunakan Fe sebagai referensi (Abraham & Parker, 2008).

$$EF = \frac{M_i F_{e_r}}{M_r F_{e_r}}$$

Dimana M_i dan F_{e_i} adalah logam berat dan logam besi yang diambil dari sampel lapisan olah tanah sawah sedangkan M_r dan F_{e_r} adalah logam berat dan logam besi referensi menurut (Wedepohl, 1986). Jika $EF > 1$ berarti konsentrasi logam dalam sampel tanah diperkaya relatif besar terhadap rata-rata kerak bumi dan nilai-nilai tanah permukaan dan sumber logam di lapisan atas tanah cenderung bersifat antropogenik. Klasifikasi nilai EF berdasarkan (Mohd Ilman Che et al., 2020) dibagi menjadi: defisiensi ($EF < 2$); sedang ($2 \leq EF < 5$); tinggi ($5 \leq EF < 20$); sangat tinggi ($20 \leq EF < 40$); dan sangat tinggi sekali ($EF \geq 40$).

3. Faktor Kontaminasi (CF)

Faktor kontaminasi (CF) merupakan rasio konsentrasi logam dalam sampel tanah dengan referensi menurut Hakanson dalam artikel menurut Hakanson dalam (Sukarjo et al., 2021)

$$CF = \frac{M_i}{M_r}$$

Dimana M_i adalah logam berat yang diambil dari sampel lapisan olah tanah sawah sedangkan M_r adalah logam berat referensi. CF merupakan rasio konsentrasi tiap logam dalam tanah dengan nilai dasarnya. Nilai dasar mengacu pada konsentrasi logam dalam permukaan kerak bumi (Wedepohl, 1986).. Klasifikasi nilai CF menurut Hakanson dalam (Sukarjo et al., 2021) dibagi menjadi: rendah ($CF < 1$); sedang ($1 \leq CF < 3$); tinggi ($3 \leq CF < 6$); dan sangat tinggi ($CF \geq 6$).

4. Indeks Beban Polusi (PLI)

Indeks beban polusi (PLI) digunakan untuk memperkirakan tingkat polusi keseluruhan sampel Indeks beban polusi (PLI) dari kontaminasi logam berat dihitung menggunakan Persamaan dari (Qing et al., 2015), sebagai berikut.

$$PLI = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n)^{1/n}$$

Dimana n merupakan jumlah logam berat dan CF adalah Faktor kontaminasi. Jika nilai $PLI > 1$ berarti tanah tercemar, sedangkan nilai $PLI < 1$ menunjukkan tanah tidak tercemar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan selama kurang lebih 2 bulan dengan mengukur kadar logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb) pada tanah sawah dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Analisis kadar tembaga (Cu) dan timbal (Pb) pada tanah sawah dilakukan dengan cara pengulangan pada setiap pengambilan sampel dapat di lihat pada tabel 3.1

Tabel 1. Kadar logam berat Tembaga (Cu)

No	Kode Sampel	Kadar Tembaga (Cu)
1	P1U1A	0,4140 mg/kg
2	P1U1B	0,3300 mg/kg
3	P1U1C	2,4570 mg/kg
4	P2U2A	1,9350 mg/kg
5	P2U2B	0,9850 mg/kg
6	P2U2C	1,3400mg/kg
7	P3U3A	1,4500 mg/kg
8	P3U3B	1,2610 mg/kg
9	P3U3C	1,3190 mg/kg

Sumber hasil analisis Laboratorium Socfindo Medan, 2025. Tabel 3.1 menunjukkan hasil pengukuran kadar tembaga (Cu) di 9 lokasi pengambilan sampel tanah sawah dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom; nilai berkisar antara 0,33–2,46 mg/kg, rata-rata sekitar 1,3–1,4 mg/kg. Secara umum, kisaran tersebut berada jauh di bawah kadar latar belakang alami tanah, yang umumnya antara 2–100 mg/kg. Oleh karena itu, penggunaan SSA dan pengulangan sampel menghasilkan data yang konsisten dan menunjukkan bahwa kadar Cu di lokasi tersebut masih tergolong aman dan tidak menunjukkan indikasi pencemaran logam berat, sehingga cocok untuk kegiatan pertanian.

Tabel 2. Kadar logam berat Timbal (Pb)

No	Kode Sampel	Kadar Timbal (Pb)
1	P1U1A	32,5388 mg/kg
2	P1U1B	28,9286 mg/kg
3	P1U1C	36,2069 mg/kg
4	P2U2A	32,9065 mg/kg
5	P2U2B	30,9965 mg/kg
6	P2U2C	32,7500 mg/kg
7	P3U3A	31,1107 mg/kg
8	P3U3B	31,9343 mg/kg
9	P3U3C	35,8374 mg/kg

Sumber hasil analisis Laboratorium Socfindo Medan, 2025. Tabel 3.2 menyajikan kadar timbal (Pb) dari 9 sampel tanah sawah di Desa Sigambal, dengan rentang nilai 28,9–36,2 mg/kg dan rata-rata sekitar 32 mg/kg, dihasilkan melalui analisis berulang menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), sehingga data ini sangat konsisten.

a. Perkiraan Tingkat Kontaminasi

Tabel 3. Analisis statistik deskriptif konsentrasi logam berat

Logam Berat	Rata-Rata	Median	Standar Deviasi	Maks	Min	Koefisien Varians(%)
Cu	1,2323 33333	1,319	0,663640465	2,457	0,33	0,538523504
Pb	32,57885556	32,5388	2,168414973	36,2069	28,9286	0,066558967
Fe	2,430122222	2,4496	0,158473123	2,747	2,1801	0,065211997

Berdasarkan hasil analisis statistik kandungan logam berat dalam sampel, diperoleh nilai rata-rata, median, standar deviasi, nilai maksimum, minimum, dan koefisien variasi untuk logam Cu, Pb, dan Fe. Konsentrasi rata-rata tembaga (Cu) dalam sampel adalah sebesar 1,2325 mg/kg, dengan nilai maksimum 2,457 mg/kg dan minimum 0,33 mg/kg. Nilai ini jauh lebih rendah dari nilai rata-rata konsentrasi Cu dalam kerak bumi menurut (Wedepohl, 1986). Sementara itu, konsentrasi rata-rata logam Pb (timbal) adalah sebesar 32,5789 mg/kg, dengan nilai maksimum 36,2069 mg/kg dan minimum 28,9286 mg/kg. Dibandingkan dengan nilai konsentrasi normal Pb dalam kerak bumi yang sebesar 17 mg/kg (Wedepohl, 1986), nilai ini menunjukkan adanya indikasi pengkayaan yang cukup tinggi. Hal ini dapat menjadi pertanda adanya sumber kontaminasi eksternal, seperti aktivitas industri, emisi kendaraan bermotor, atau pembuangan limbah yang tidak terkontrol. Namun, nilai CV untuk Pb hanya sebesar 6,66%, yang menunjukkan distribusi Pb cukup homogen dalam sampel. Adapun unsur Fe (besi) menunjukkan rata-rata konsentrasi sebesar 2,4302 mg/kg dengan nilai maksimum 2,747 mg/kg dan minimum 2,1801 mg/kg. Nilai ini sangat rendah jika dibandingkan dengan konsentrasi rata-rata Fe di kerak bumi sebesar 47.200 mg/kg (Wedepohl, 1986). Hal ini menunjukkan bahwa unsur Fe dalam sampel tergolong normal dan tidak mengalami pengkayaan. Nilai CV sebesar 6,52% menunjukkan bahwa sebaran Fe juga bersifat homogen. Secara keseluruhan, dari ketiga logam berat yang dianalisis, hanya Pb yang menunjukkan potensi pencemaran lingkungan akibat pengkayaan konsentrasi melebihi nilai alami menurut referensi geokimia global. Hal ini menjadi indikator awal yang penting untuk melakukan pengkajian lanjutan terhadap potensi sumber pencemaran dan dampaknya terhadap kesehatan lingkungan.

b. Faktor Pengkayaan

Pada faktor pengkayaan diperoleh hasil dari 9 titik sampel dengan rata-rata EF = 0,00000161196. Nilai ini termasuk dalam kategori kekurangan hingga pengkayaan minimal, yang menunjukkan bahwa tidak terdapat indikasi pencemaran signifikan oleh logam berat di lingkungan yang diteliti, faktor pengkayaan (EF) digunakan untuk menilai tingkat kontaminasi logam berat dengan membandingkan konsentrasi logam target terhadap elemen referensi (Fe) yang dianggap stabil secara geokimia. Nilai EF < 2 mengidentifikasikan bahwa kandungan logam berat masih dalam batas alami atau berasal dari sumber geogenik. Oleh karena itu, nilai EF sebesar 0,00000161196 ini menandakan bahwa logam berat tersebut kemungkinan besar berasal dari proses alami, seperti pelapukan batuan, bukan dari aktivitas antropogenik seperti industri atau transportasi (Patty et al., 2018).

c. Faktor Kontaminasi

Tabel 4. Perhitungan Untuk Mengukur Tingkat Pencemaran Logam Berat

Logam	Konsentrasi Sampel	Nilai Referensi(Mr)	CF (Mi / Mr)	Kategori Konsentrasi
Cu	1,232333333	45	0,0274	Rendah (CF<1)
Pb	32,57885556	45	0,7240	Rendah (CF<1)
Fe	2,430122222	45	0,0540	Rendah (CF<1)

Keterangan kategori berdasarkan Hakanson dalam (Sukarjo et al., 2021):

CF < 1 : Rendah

1 ≤ CF < 6 : Sedang

3 ≤ CF < 6 : Tinggi

CF ≥ 6 : Sangat Tinggi

Faktor kontaminasi (Contamination Factor/CF) merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi tingkat pencemaran logam berat di lingkungan, khususnya pada tanah. CF didefinisikan sebagai rasio antara konsentrasi logam berat dalam sampel tanah (Mi) dengan nilai referensi logam berat tersebut (Mr) yang umumnya merujuk pada kandungan alami atau konsentrasi di kerak bumi menurut Hakanson (Sukarjo et al., 2021). Berdasarkan nilai CF menggambarkan seberapa besar suatu logam telah mengalami peningkatan konsentrasi akibat aktivitas antropogenik dibandingkan dengan kadar alaminya. Dalam penelitian ini, digunakan nilai referensi sebesar 45 mg/kg sebagaimana tercantum dalam literatur (Wedepohl, 1986). Perhitungan terhadap logam Cu, Pb, dan Fe menunjukkan nilai CF berturut-turut sebesar 0,02738518518 untuk Cu, 0,7239745600 untuk Pb, dan 0,054006271604 untuk Fe. Berdasarkan klasifikasi, nilai CF < 1 menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi berada dalam kategori rendah. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa tingkat pencemaran logam Cu, Pb, dan Fe pada sampel tanah sawah dalam penelitian ini masih berada dalam batas yang aman dan belum menunjukkan adanya pencemaran serius oleh logam berat.

d. Indeks Beban Polusi (PLI)

Tabel 5. Perhitungan dan Interpretasi Indeks Beban Polusi (PLI)

Komponen	Nilai	Keterangan
C ₁	11,491 mg/kg	Faktor kontaminasi logam berat pertama
C ₂	296,2097 mg/kg	Faktor kontaminasi logam berat kedua

Komponen	Nilai	Keterangan
N	2	Jumlah logam berat
Jumlah CF	307,7007 mg/kg	Hasil penjumlahan $C_1 + C_2$
$PLI = (C_1 + C_2)^{1/n}$	$(307,7007)^{1/2}$	Rumus PLI berdasarkan (Qing et al., 2015),
Hasil PLI	17,538 mg/kg	Hasil akar kuadrat dari jumlah CF
Interpretasi PLI	Tercemar	Karena $PLI > 1$, berarti tanah dikategorikan tercemar (Ahmad, 2013)

Indeks Beban Polusi (PLI) merupakan indikator penting yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran tanah oleh logam berat secara keseluruhan. Berdasarkan perhitungan yang disajikan pada tabel diatas, diperoleh dua nilai faktor kontaminasi (CF), yaitu CF_1 , sebesar 11,491 mg/kg dan CF_2 sebesar 296,2097 mg/kg. Kedua nilai CF tersebut dijumlahkan sehingga menghasilkan total sebesar 307,7007 mg/kg. Selanjutnya, karena jumlah logam berat (n) yang dianalisis adalah dua jenis, maka rumus PLI yang digunakan mengacu pada $PLI = (C_1 + C_2)^{1/2}$. Hasil perhitungan dari akar kuadrat nilai total CF tersebut menghasilkan nilai PLI sebesar 17,538 mg/kg. Nilai ini secara signifikan lebih besar dari ambang batas 1, yang berdasarkan kriteria dari (Ahmad, 2013) menunjukkan bahwa tanah pada lokasi tersebut tergolong tercemar. Dengan demikian, nilai PLI ini memberikan gambaran bahwa tanah memerlukan perhatian khusus, terutama dalam pemantauan dan pengolahan terhadap keberadaan logam berat yang mencemari. Hasil ini juga menjadi dasar untuk tindakan rehabilitasi lingkungan yang lebih lanjut guna mencegah dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia di sekitar wilayah tersebut.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengkaji kandungan logam berat tembaga (Cu) dan timbal (Pb) pada tanah sawah di Desa Sigambal, Kecamatan Rantau Selatan, serta mengevaluasi tingkat pencemaran melalui pendekatan Enrichment Factor (EF), Contamination Factor (CF), dan Pollution Load Index (PLI). Berdasarkan hasil analisis laboratorium, diketahui bahwa rata-rata kadar Cu sebesar 1,23 mg/kg masih berada jauh di bawah nilai referensi geokimia (25 mg/kg), sedangkan kadar Pb mencapai 32,58 mg/kg, yang melebihi nilai alami (17 mg/kg), menandakan adanya pengayaan logam Pb di lingkungan tersebut. Meskipun demikian, hasil perhitungan EF untuk Cu dan Pb menunjukkan nilai < 2 , mengindikasikan bahwa sumber logam berat kemungkinan berasal dari proses geogenik (alami), bukan aktivitas antropogenik. CF untuk ketiga unsur logam (Cu, Pb, dan Fe) juga berada di bawah angka 1, yang berarti tingkat kontaminasi masih tergolong rendah. Namun, hasil penghitungan Indeks Beban Polusi (PLI) menunjukkan nilai sebesar 17,538, yang secara signifikan melebihi ambang batas 1, sehingga tanah di lokasi penelitian secara keseluruhan sudah tergolong tercemar. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun kontaminasi individu masih rendah, akumulasi logam berat terutama Pb secara kolektif telah membebani kualitas tanah sawah. Oleh karena itu, diperlukan tindakan pemantauan berkala, identifikasi sumber pencemaran, serta upaya remediasi seperti fitoremediasi untuk mencegah dampak lebih lanjut terhadap kesehatan manusia dan produktivitas pertanian.

REFERENCES

- Abraham, G. M. S., & Parker, R. J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136(1), 227–238. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2>
- Ahmad, F. (2013). Distribusi dan Prediksi Tingkat Pencemaran Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn, Dan Ni) dalam Sedimen di Perairan Pulau Bangka menggunakan Indeks Beban Pencemaran dan Indeks Geoakumulasi. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1), 170–181.
- Akhir, T., Ayuningtyas, L. M., Studi, P., Lingkungan, T., Teknik, F., Dan, S., & Indonesia, U. I. (2024). *ANALISIS KANDUNGAN MIKROPLASTIK DAN LOGAM BERAT (Pb & Cu) DI LAHAN PERTANIAN SEPANJANG*.
- Darko, G., Dodd, M., Nkansah, M. A., Aduse-poku, Y., Ansah, E., Wemegah, D. D., & Borquaye, L. S. (2017). Distribution and ecological risks of toxic metals in the topsoils in the Kumasi metropolis, Ghana Distribution and ecological risks of toxic metals in the topsoils in the Kumasi metropolis, Ghana. *Cogent Environmental Science*, 136. <https://doi.org/10.1080/23311843.2017.1354965>
- Malang, K. K. (2022). *Analisis kadar logam berat pb, cd dan cu pada lahan sawah di karangploso*.
- Mohd Ilman Che, A., Amir, S. R. M. S., & Hazzeman, H. (2020). Geoaccumulation Index and Enrichment Factor of Arsenic in Surface Sediment of Bukit Merah Reservoir, Malaysia Authors: Mohd Ilman Che Abdullah *, Amir Shah Ruddin Md Sah and Hazzeman Haris * Correspondence: mohdilmancheabdullah@gmail.com DOI: <https://doi.org/10.1080/23311843.2017.1354965>
- Patty, J. O., Siahaan, R., & Maabuat, P. V. (2018). Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara - Sulawesi Utara (The Occurrence of Heavy Metals (Pb, Cd, Cu, Zn) on Water and Sediment in the River Lowatag, Southeast Minahasa - North Sulawesi). *Jurnal Bios Logos*, 8(1). <https://doi.org/10.35799/jbl.8.1.2018.20592>
- Qing, X., Yutong, Z., & Shenggao, L. (2015). Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 120, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.06.019>
- Regency, I., Hikmat, M., & Yatno, E. (2022). Karakteristik Tanah Sawah yang Terbentuk dari Bahan Endapan Aluvium dan Marin di DAS Cimanuk Hilir, Kabupaten Indramayu. 46(1), 103–115.
- Saputra, R., Fatmawati, F., Rahman, M., & Mahyudin, I. (2023). Analisis Kualitas Air Sungai Balangan Di Kabupaten Balangan Berdasarkan Parameter Fisik Dan Kimia (Logam Terlarut). *EnviroScientee*, 19(4), 16. <https://doi.org/10.20527/cs.v19i4.17785>

- Sasongko, A. S., Cahyadi, F. D., Yonanto, L., Islam, R. S., & Destiyanti, N. F. (2020). Kandungan Logam Berat di Perairan Pulau Tunda Kabupaten Serang Banten. *Manfish Journal*, 1(02), 90–95. <https://doi.org/10.31573/manfish.v1i02.132>
- Sukarjo, S., Zulaehah, I., Harsanti, E., & Ardiwinata, A. (2021). Penilaian Spasial Potensi Risiko Ekologis Logam Berat di Lapisan Olah Tanah Sawah DAS Serayu Hilir, Jawa Tengah. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 45(1), 69. <https://doi.org/10.21082/jti.v45n1.2021.69-77>
- Swarnalatha, K., Letha, J., Ayoob, S., & Nair, A. G. (2015). Risk assessment of heavy metal contamination in sediments of a tropical lake. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(6), 322. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4558-7>
- Syarifah, A. S. (2022). *Efek timbal (Pb) pada enzim scavenger*. Rena Cipta Mandiri.
- Uddin, M. M., & Cassim, Mohamed Zakeel, MohamedZavahir, J. S. (2021). Heavy Metal Accumulation in Rice and Aquatic Plants Used as. *Toxics*, 9(360), 1–19.
- Wedepohl, K. H. (1986). Chapter 5: The Composition of the Continental Crust. *International Geophysics*, 34(C), 213–241. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(09\)60137-6](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(09)60137-6)
- Yoon, C. (2014). Karakteristik Sifat Fisik Dan Kimia Tanah Sawah Irigasi Dan Sawah Tadah Hujan Setelah Penyawahan Di Atas 60 Tahun. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.