



Akumulasi Logam Berat pada Sedimen Matriks di Perairan Pekalongan

Acumulation of Heavy Metals on The Sediment Matrix in Pekalongan Waters

Ilma Azizah Arviani*, Wulandari Sarasati², Maudia Tri Hafidah¹, Ridho Adi Mulyono¹, Alzarotun Fasiroh¹

¹Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr Soeparno, Karangwangkal, Purwokerto, Jawa Tengah 53122, Indonesia

²Politeknik Kelautan dan Perikanan Jembrana, Pengambangan, Kec. Negara, Kabupaten Jembrana, Bali 82218, Indonesia

*Corresponding Author: ilma.arviani@mhs.unsoed.ac.id

Diterima: 05 Maret 2024, Disetujui: 30 Maret 2024

ABSTRAK

mengetahui tingkat pencemaran berdasarkan nilai *Contamination Factor* (CF), *Enrichment factor* (EF), *Geo-Accumulation Index* (I-geo), *Potential Ecological Risk Index* (PERI). Penelitian dilakukan pada tahun 2019 pada pesisir Pekalongan yang dianalisis pada *Laboratorium Environmental Chemistry Aix-Marseille University*. Analisis data dilakukan dengan melakukan penilaian logam berat pada sedimen dilakukan dengan membandingkan nilai dengan standar baku mutu beserta beberapa cara analisis yaitu *Contamination Factor* (CF), *Enrichment factor* (EF), *Geo-Accumulation Index* (I-geo), *Potential Ecological Risk Index* (PERI). Hasil penelitian menunjukkan perairan Pekalongan pada lokasi studi memiliki kategori belum tercemar sedang berdasarkan kandungan logam berat Cr dan Cu. Berdasarkan kandungan Mn, perairan ini terpolusi pada hampir seluruh stasiun, sebaliknya berdasarkan kandungan Pb daerah ini tidak terpolusi di seluruh stasiun. Hasil dari perhitungan nilai CF perairan Pekalongan memiliki kategori kontaminasi rendah hingga sedang, begitupula dari nilai EF yang memiliki kategori tingkat pengayaan rendah, dan jika dilihat dari nilai I-geo perairan Pekalongan tidak tercemar dan dari nilai PERI tingkat risiko pencearan masih rendah. Dari penelitian ini sebaiknya dapat dilakukan pemantauan lebih lanjut agar tingkat terjadi peningkatan tingkat kontaminasi.

Kata Kunci: *Contamination Factor* (CF), *Enrichment factor* (EF), *Geo-Accumulation Index* (I-geo), Pekalongan, Sedimen, *Potential Ecological Risk Index* (PERI).

ABSTRACT

Pekalongan waters have various problems, both from natural disasters, includes tidal floods and problems caused by anthropogenic activities due to the large number of textile industries that dominate in this area, namely batik waste, even though in dyeing batik, several dyes are used which are derived from chemicals that contain heavy metals. Batik waste contains Chromium (Cr), Cuprum (Cu), Manganese (Mn) and many other heavy metals on a small scale. Heavy metals can be buried in sediment and their decomposition takes a long time. Therefore, the aim of this research is to determine the content of Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb Zn in sediments based on comparison with the United States Environmental Protection Agency (USEPA) standards, and to determine the level of pollution based on the Contamination Factor (CF) value. Enrichment factor (EF), Geo Accumulation Index (I-geo), Potential Ecological Risk Index (PERI). The research was carried out in 2019 on the Pekalongan coast which was explained at the Environmental Chemistry Laboratory of Aix-Marseille University. Data analysis

was carried out by assessing heavy metals in sediment by comparing values with quality standards and several analysis methods, namely Contamination Factor (CF), Enrichment factor (EF), Geo-Accumulation Index (I-geo), Potential Ecological Risk Index (PERI). The research results show that Pekalongan waters at the research location are in the moderately unpolluted category based on the heavy metal content Cr and Cu. Based on the Mn content, these waters are polluted at almost all stations, whereas based on the Pb content this area is not polluted at all stations. The results of calculating the CF value for Pekalongan waters are in the low to moderate contamination category, as well as the EF value which is in the low enrichment level category, and if seen from the I-geo value, Pekalongan waters are not polluted and from the PERI value the level of pollution risk is still low. From this research, further monitoring should be carried out so that the level of contamination increases.

Keywords: Contamination Factor (CF), Enrichment factor (EF), Geo-Accumulation Index (I-geo), Pekalongan, Sediment, Potential Ecological Risk Index (PERI)

PENDAHULUAN

Pekalongan merupakan salah satu sentra dari industri tekstil, industri tekstil yang mendominasi adalah industri batik. Salah satu dampak yang dirasakan dari industri ini adalah limbah batik yang menjadi salah satu sumber pencemaran (Kiswanto *et al.*, 2019). Dalam pewarnaan batik ini digunakan beberapa pewarna yang berasal dari zat kimia yang mengandung logam berat (Pita *et al.*, 2019). Bahkan beberapa permasalahan berat sudah banyak ditemukan, mengindikasikan bahwa perairan Pekalongan terakumulasi oleh beberapa jenis logam berat (Kharisma *et al.* 2023; Kiswanto *et al.* 2019; Rezki *et al.* 2013). Logam berat diantaranya bersumber dari buangan limbah industri, pertambangan, rumah tangga dan limbah pertanian yang selanjutnya akan memasuki perairan pesisir dan laut melalui limpasan air hujan, aliran sungai dan *run off* dari daratan (Rustiah *et al.*, 2019).

Dalam beberapa kasus, logam berat terdapat secara alami dalam badan air, pada tingkat dibawah ambang batas beracun, tetapi sifat logam yang tidak dapat didegradasi walaupun dalam konsentrasi rendah. Logam berat pada suatu perairan dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk berbagai proses metabolisme, tetapi tetapi logam berat tersebut berlebihan maka akan menyebabkan keracunan. Logam berat dikatakan sebagai pencemar jika keberadaannya melewati batas baku mutu (Palar, 2012). Keberadaan logam berat di perairan

disebabkan oleh sumber alami dan aktivitas antropogenik (Javed *et al.*, 2018). Lebih tragisnya logam berat di buang langsung ke perairan Pekalongan, yaitu Sungai Brengi (Saraswati *et al.*, 2014). Logam berat selain menurunkan kualitas perairan akan mengakibatkan kondisi lingkungan tidak sesuai lagi dengan peruntukannya, juga akan berpengaruh pada sumberdaya hayati perairan. Logam berat memiliki sifat yang akumulatif pada tubuh biota. Akumulasi terjadi karena adanya proses absorpsi logam berat yang masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan dan saluran pencernaan. Proses ini semakin lama menyebabkan peningkatan logam berat dalam jaringan tubuh organisme perairan dan dapat menyebabkan kematian organisme tersebut (Barus, 2017). Akumulasi logam berat sekecil apapun dalam badan perairan dapat menyebabkan terjadinya berpotensi mengakumulasi pada tubuh ikan yang berpotensi menimbulkan penyakit (Suryani *et al.*, 2018).

Selain itu, logam berat di perairan berdampak pada biota perairan, logam berat yang masuk dalam tubuh biota air melalui insang akan diserap dan terdistribusi ke bagian tubuh yang nantinya akan terakumulasi yang akan memberikan dampak merugikan bahkan mematikan (Pratiwi, 2020). Dengan demikian diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai tingkat kontaminasi logam berat di perairan agar masyarakat lebih teliti dan waspada terhadap permasalahan logam berat, karena permasalahan logam berat biasanya muncul karena peran manusia

(Yudo, 2006). Oleh karena itu, tujuan dari penelitian kali ini adalah: mengetahui kandungan logam berat kobalt (Co), kromium (Cr), tembaga (Cu), besi (Fe), Mangan (Mn), Plumbum (Pb), Zink (Zn) pada sedimen berdasarkan perbandingan standar baku US EPA serta mengetahui tingkat pencemaran berdasarkan nilai CF, EF dan I-geo serta potensi resiko ekologis berdasarkan nilai PERI dari logam berat kadmium (Cd) pada sedimen pesisir Pekalongan.

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan pada saat kerja praktek adalah *eckman grab*, sekop, *standing pouch*, *cool box*, isolasi, timbangan digital, kantong plastik, saringan, AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), gelas ukur, penumbuk dan cawan porselin, kertas saring whatman no.41, labu erlenmeyer, pipet tetes, oven, label, alat tulis, dan alat dokumentasi.

Bahan yang digunakan pada saat kerja praktek adalah sampel sedimen 500 gram per titik sampling, es balok, akuades untuk mengencerkan sampel, HCl pekat, HClO₄, dan HNO₃ pekat untuk preparasi sampel.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei. Teknik pengambilan sampel menggunakan *Purposive Random Sampling*, yaitu pengambilan titik sampling yang diambil adalah perwakilan dari setiap lokasi yang memenuhi kriteria sampling, Lokasi penelitian di Kabupaten Pekalongan terdiri dari 5 stasiun. Lokasi pengambilan sampel disajikan pada **Tabel 1**.

Lokasi pengambilan sampel sedimen terdiri dari 5 stasiun, yaitu Muara Sungai Banger, Pantai Pasir Kencana, Pantai Sari, TPA Degayu dan Pantai Degayu. Tempat pengambilan sampel dilakukan di perairan Pekalongan. Titik pengambilan sampel dilakukan dengan melihat beberapa kriteria yang dapat dijadikan lokasi sampling. Secara spesifik disajikan pada **Gambar 1**.

Pengambilan Sampel

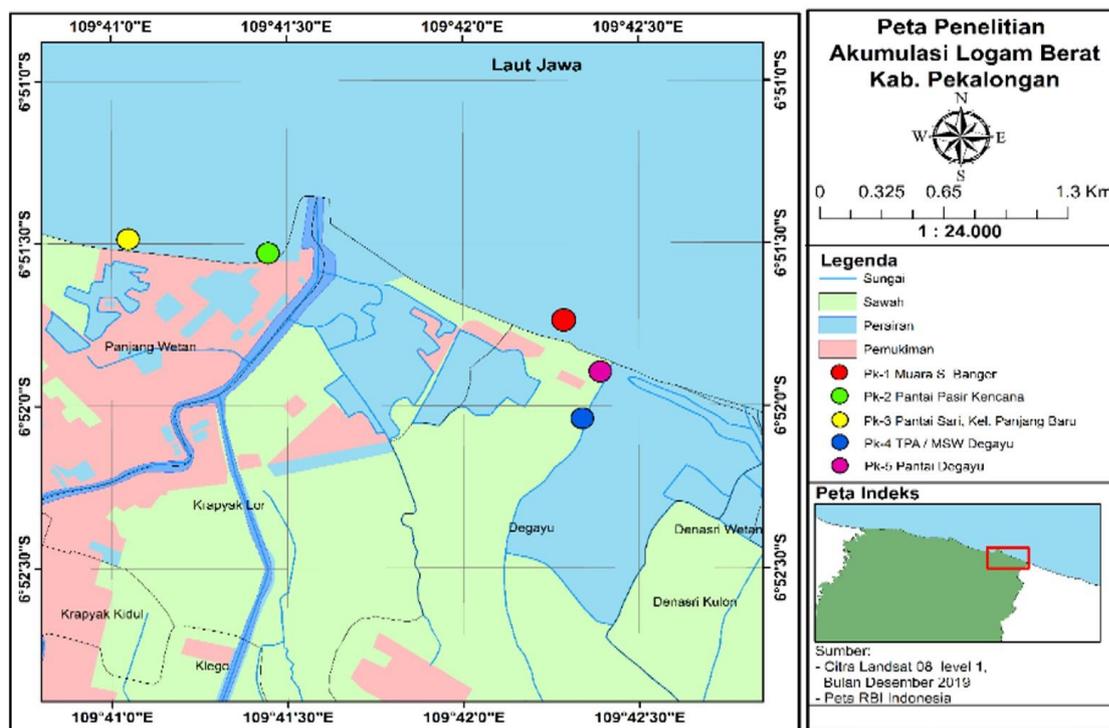
Sampel sedimen diambil secara langsung pada titik lokasi pengambilan sampel. Sampel sedimen diambil secara komposit sebanyak ± 500 g dengan alat sekop atau *eckmand grab*. Sampel sedimen dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label, kemudian didinginkan dalam *ice box*. Setelah itu dilakukan analisis kandungan logam berat Co, Cr, Cu, Fe Mn, Pb, dan Zn di Laboratorium *Enivromental Chemistry Aix-Marseille University*.

Uji Laboratorium

Sampel sedimen diambil secara langsung pada titik lokasi pengambilan sampel. Sampel sedimen diambil secara komposit sebanyak ± 500 g dengan alat sekop atau *eckmand grab*. Sampel sedimen dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label, kemudian didinginkan dalam *ice box*. Setelah itu dilakukan analisis kandungan logam berat Co, Cr, Cu, Fe Mn, Pb, dan Zn di Laboratorium *Enivromental Chemistry Aix-Marseille University*.

Tabel 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Stasiun	Lokasi	Koordinat
Pk-1	Muara Sungai Banger, Pekalongan, Jawa Tengah	6°51'43.5"S 109° 42'16.1"E
Pk-2	Pantai Pasir Kencana, Pekalongan, Jawa Tengah	6°51'31.8"S 109° 41'27.3"E
Pk-3	Pantai Sari, Kel. Panjang Baru, Pekalongan Utara, Jawa Tengah	6°51'29.3"S 109° 41'03.1"E
Pk-4	TPA Degayu, Pekalongan, Jawa Tengah	6°52'05.5"S 109° 42'22.4"E
Pk-5	Pantai Degayu, Pekalongan, Jawa Tengah	6°51'53.4"S 109°42'25.9"E



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif. Analisis deskriptif untuk mengetahui tingkat pencemaran dan juga potensi risiko ekologis berdasarkan indeks *Contamination Factor* (CF), *Enrichment Factor* (EF), *Geoaccumulation Index* (I-geo), dan *Potential Ecological Risk Index* (PERI).

Contamination Factor (CF)

Contamination Factor (CF) merupakan rasio konsentrasi logam yang terukur dalam sedimen dengan konsentrasi logam yang secara alami ada dalam kerak bumi (background). CF sendiri merupakan rasio perbandingan nilai yang didapatkan dengan membagi konsentrasi masing-masing logam dengan logam background (Milasari *et al.*, 2023). CF dapat dihitung dengan rumus (Raj *et al.*,

2013): $CF = \frac{C (heavy\ metal)}{C (background)}$. Nilai faktor kontaminasi (CF) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CF = \frac{C (heavy\ metal)}{B (background)}$$

Keterangan:

CF : *Contamination factor*

C (*heavy metal*) : Konsentrasi logam berat pada sampel sedimen

C (*background*) : Konsentrasi standar logam berat di alam (Cd=0,3 mg/kg) (Farizky *et al.*, 2022).

Menurut (Huzairiah *et al.*, 2022), nilai CF dikategorikan menjadi 4 kategori yang disajikan pada **Tabel 2**.

Enrichment Factor (EF)

Enrichment Factor (EF) merupakan faktor yang digunakan untuk mendeteksi sumber bahan pencemar yang berasal dari aktivitas antropogenik atau sumber ilmiah.

Tabel 1. Kategori Nilai CF

Nilai CF	Kategori
CF < 1	Kontaminasi rendah
1 < CF < 3	Kontaminasi sedang
3 < CF < 6	Kontaminasi tinggi
CF > 6	Kontaminasi sangat tinggi

Tabel 3. Kategori Nilai EF

Nilai EF	Kategori
EF < 1	Tidak ada pengayaan
1 < EF < 3	Pengayaan rendah
3 < EF < 5	Pengayaan sedang
5 < EF < 10	Pengayaan relatif intens
10 < EF < 25	Pengayaan intens
25 < EF < 50	Pengayaan sangat intens
EF > 50	Pengayaan sangat intens sekali

Tabel 2. Kategori Nilai I-GEO

Nilai I-geo	Kategori
I-geo ≤ 0	Tidak tercemar
0 < I-geo ≤ 1	Tidak tercemar –tercemar ringan
1 < I-geo ≤ 2	Cukup tercemar
2 < I-geo ≤ 3	Cukup – sangat tercemar
3 < I-geo ≤ 4	Sangat tercemar
4 < I-geo ≤ 5	Tercemar berat - tercemar ekstrim
5 < I-geo	Tercemar ekstrim

Analisis EF digunakan untuk mendeteksi sumber bahan pencemar, apakah dari aktivitas antropogenik atau alamiah. Keberadaan logam yang bersumber dari antropogenik atau alami, dapat dihitung dengan persamaan:

$$EF = \frac{\left(\frac{C_i}{C_{Fe}}\right)_{sampel}}{\left(\frac{C_i}{C_{Fe}}\right)_{background}}$$

$(C_i/C_{Fe})_{sampel}$ mewakili rasio logam/Fe dari konsentrasi sampel pada setiap titik pengambilan sampel, dan $(C_i/C_{Fe})_{background}$ adalah rasio logam/Fe dari konsentrasi referensi (Wijaya *et al.*, 2018). Konsentrasi logam di kerak bumi yaitu Fe kerak bumi sebesar 47,2 mg/kg, Cd kerak bumi sebesar 0,3 mg/kg. Menurut (Budiyanto *et al.*, 2015), nilai EF dikategorikan menjadi 7 kategori yang disajikan pada **Tabel 3**.

Geo-Accumulation Index (I-geo)

Geo-Accumulation Index (I-geo) merupakan indeks yang digunakan untuk mengetahui nilai keberadaan dan intensitas pencemaran logam berat antropogenik dalam sedimen (Barbieri, 2016 ; Farizky *et al.*, 2022). I-geo dapat dihitung dengan menggunakan rumus berdasarkan Muller (1969); (Farizky *et al.*, 2022) sebagai berikut:

$$I-geo = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 B_n} \right)$$

Keterangan:

- I-geo : *Geo-Accumulation Index* (indeks geo-akumulasi)
- Cn : Konsentrasi logam berat pada sampel sedimen
- 1.5 : Nilai konstan
- Bn : Konsentrasi standar logam berat di alam (Cd=0,3 mg/kg)

Menurut (Barbieri, 2016), nilai I-geo dikategorikan menjadi 7 kategori yang disajikan pada **Tabel 4**.

Potential Ecological Risk Index (PERI)

Indeks Potensi risiko ekologis (PERI) digunakan untuk menilai tingkat pencemaran logam berat dalam tanah berdasarkan faktor kontaminasi logam berat (CF) dan respons lingkungan terhadap kontaminan (*Toxic Response Factor*). PERI dihitung sebagai jumlah dari indeks risiko individu (RI) (Hakanson, 1980; Nugraha *et al.*, 2022) sebagai berikut:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_f^i$$

Tabel 4. Kategori Nilai RI

Nilai RI	Kategori
RI ≤ 150	Risiko rendah
150 < RI ≤ 300	Risiko sedang
300 < RI ≤ 600	Risiko cukup tinggi
RI > 600	Risiko tinggi

Dimana E_r^i merupakan koefisien potensi risiko ekologis dari logam berat, T_r^i merupakan faktor respon toksik dari logam berat I yang merefleksikan tingkat toksis serta sensitivitas bioorganisme terhadap logam berat, dan C_r^i adalah nilai kontaminasi dari logam i dibagi nilai *background* logam berat (Nugraha *et al.*, 2022). Nilai faktor respon toksik untuk logam yaitu Zn = Mn = Fe = 1, Cr = 2, Co = Cu = Pb = 5, Ni = 6, As = 10, dan Cd = 30. Menurut (Liu *et al.*, 2016), nilai RI dikategorikan menjadi 4 kategori yang disajikan pada **Tabel 5**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Logam Berat Pada Perairan Pekalongan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengambilan sampel logam berat di sedimen di Perairan Pekalongan yang meliputi 5 lokasi sampling, diperoleh hasil yang tersaji pada **Tabel 6**.

Perbandingan terhadap Standar Baku Mutu Sedimen (US EPA)

Hasil perbandingan kadar logam berat terhadap standar baku mutu sedimen di Perairan Pekalongan tersaji pada **Tabel 7**. Berdasarkan perbandingan konsentrasi logam berat yang didapatkan pada Perairan Pekalongan dengan standar

baku mutu logam berat yaitu US EPA untuk logam berat kromium (Cr) pada PK-1 (Muara Sungai banger), PK-2 (Pantai Pasir Kencana), dan PK-3 (Pantai Sari, Kel. Panjang baru, Pekalongan Selatan) masih belum terpolusi oleh logam berat Kromium, tetapi yang tercemar sedang hanya pada Pk-4 yang berlokasi pada TPA/MSW Degayu, dan pada PK-5 yang berlokasi di Pantai Degayu, dekat TPA. Hasil yang tercemar pada Pk-4 dan Pk-5 ini mungkin disebabkan oleh TPA akan menghasilkan air lindi (*leachate*) yang merupakan hasil infiltrasi air hujan yang masuk ke dalam timbunan sampah, air lindi ini mengandung logam berat kromium (Laili, 2022). Logam kromium sudah terdapat dalam badan air, yang berasal dari alam dan dalam jumlah yang sedikit sehingga tidak membahayakan kualitas air. Namun jumlah Kromium (Cr) ini dapat meningkat dalam jumlah yang besar akibat kegiatan manusia yang membuang limbah industri pada badan air (Nuraini *et al.*, 2017).

Berdasarkan hasil perbandingan nilai tembaga (Cu) dengan US EPA, pada Pk-1, Pk-2, Pk-4 belum terpolusi, tercemar sedang pada Pk-3 yang berlokasi di Pantai Sari, Kel. Panjang baru, Pekalongan Selatan dan Pk-5 yaitu Pantai Degayu, dekat TPA. disebabkan karena di Pekalongan sudah banyak terjadi pencemaran oleh limbah batik. Pada stasiun Pk-3 dan Pk-5 berdekatan dengan

Tabel 6. Hasil Analisis Laboraturium Logam Berat di Pekalongan

STASIUN	Al (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Pk-1	73.655	21,2	24,3	20,6	47.872	748	8.96	76,2
Pk-2	72.603	20,7	23	20,4	47.590	761	9.26	76
Pk-3	78.095	13,7	22,5	39,8	43.947	842,3	17.3	106,2
Pk-4	59.445	24,4	31,1	19,4	56.622	621	9,4	92,4
Pk-5	68.478	11,1	26,5	26,2	45.337	187	12	77,8

muara sungai sehingga seluruh bahan pencemar dapat terakumulasi pada lokasi tersebut. Salah satu sumber pencemar dari logam Cu ini adalah industri tekstil. Selama proses pembuatan batik ini dapat menghasilkan limbah, logam Cu dari daerah industri akan terbawa oleh aliran sungai atau *run off* dari daratan menuju ke perairan laut (Tampubolon *et al.*, 2021) Hal inilah yang mungkin menjadi penyebab tingginya kandungan Cu di stasiun Pk-3 dan Pk-5. Cu yang terdistribusi di pantai disebabkan karena persebaran pasang surut, Cu akan meningkat disaat tren pasang/surut mengalami penurunan atau pada keadaan surut, karena saat surut aliran arus (debit) sungai akan membawa material dari sungai tersebut (Ismanto *et al.*, 2019).

Perbandingan logam mangan dengan US EPA menunjukkan tercemar berat di stasiun Pk-1 hingga Pk-4, hanya ada status belum terkontaminasi yaitu pada Pk-5. Hasil perbandingan yang diperoleh dimungkinkan karena jumlah Mn baik yang berada di alam atau buangan

dari limbah industri lebih tinggi frekuensinya. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan tinggi rendahnya logam mangan di perairan. Salah satu sumber utama mangan adalah buangan limbah industri (Said, 2002). Kontaminasi mangan di perairan dapat disebabkan oleh beberapa sebab, dapat disebabkan oleh kontaminasi oleh limbah pasir besi (Sasongko *et al.*, 2014) dan limbah industri batik, yang mungkin sebagai kontaminasi utama di seluruh stasiun (Murniati *et al.*, 2015).

Berdasarkan perbandingan konsentrasi logam berat Pb diperoleh hasil diseluruh stasiun belum terpolusi karena nilainya berada di bawah 40 mg/l. Nilai Pb tertinggi berada di Pk-3 berada di Pantai Sari, Kel. Panjang baru, Pekalongan Selatan, dan terendah berada di Pk-1 yang berada di Muara Sungai banger). Nilai yang didapatkan Jika dibandingkan dengan referensi USEPA, logam berat Pb pada Pk-5 ini cenderung tinggi. Terdapat Penelitian oleh (Suryo *et al.*, 2021) mendapatkan nilai Plumbun di sedimen

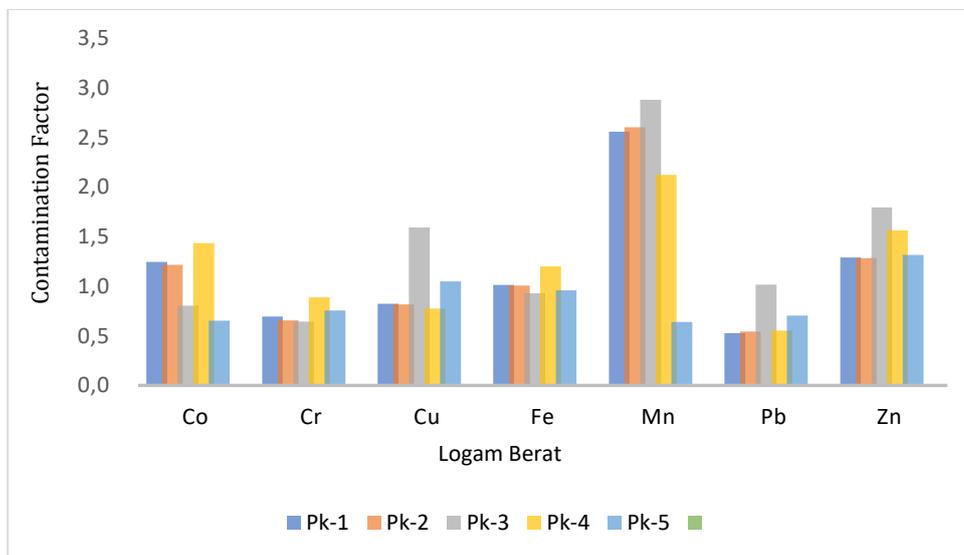
Tabel 7. Hasil Perbandingan dengan USEPA

Logam	Stasiun	Nilai Sampel	Kategori
Kromium (Cr)	Pk-1	24,3	<25(Belum Tercemar)
	Pk-2	23	<25 (Belum Tercemar)
	Pk-3	22,5	<25 (Belum Tercemar)
	Pk-4	31,3	25-75 (Tercemar Sedang)
	Pk-5	26,5	25-75 (Tercemar Sedang)
	Rata-Rata	25,5	25-75 (Tercemar Sedang)
Tembaga (Cu)	Pk-1	20,6	<25 (Belum Terpolusi)
	Pk-2	20,4	<25 (Belum Terpolusi)
	Pk-3	39,8	25-50 (Tercemar Sedang)
	Pk-4	19,4	<25 (Belum Terpolusi)
	Pk-5	26,2	25-50 (Tercemar Sedang)
	Rata-rata	25,28	25-50 (Tercemar Sedang)
Mangan (Mn)	Pk-1	748	>500 (Tercemar berat)
	Pk-2	761	>500 (Tercemar berat)
	Pk-3	842,3	>500 (Tercemar berat)
	Pk-4	621	>500 (Tercemar berat)
	Pk-5	187	<300 (Belum tercemar)
	Rata-rata	631,86	>500 (Tercemar berat)
Plumbum (Pb)	Pk 1	8,96	<40 (Belum tercemar)
	Pk 2	9,26	<40 (Belum tercemar)
	Pk 3	17,3	<40 (Belum tercemar)
	Pk 4	9,4	<40 (Belum tercemar)
	Pk 5	12	<40 (Belum tercemar)
	Rata-rata	11,384	<40 (Belum tercemar)

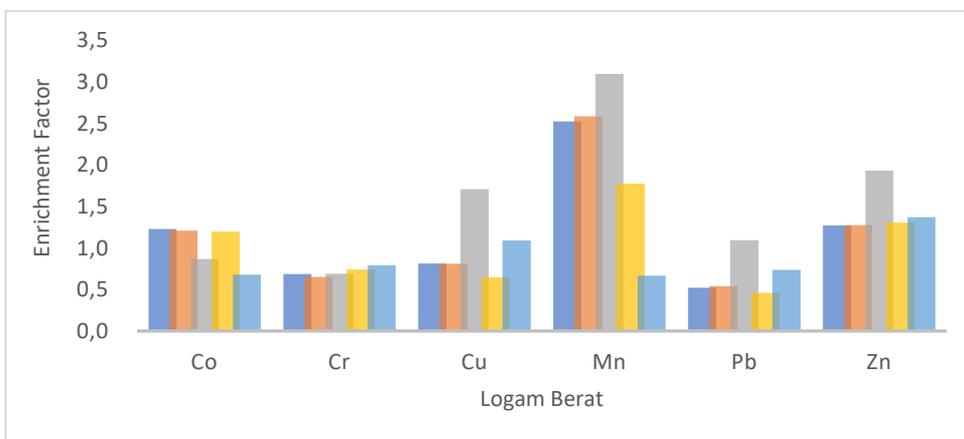
dengan rata-rata $10,551 \pm 1$ ppm, untuk nilai rata-rata di seluruh stasiun di Pekalongan didapatkan hasil 11.384 ppm. Tingginya nilai Pb ini disebabkan oleh parameter-parameter perairan (Hamuna *et al.*, 2018).

Berdasarkan perhitungan nilai *contamination factor* di Perairan Pekalongan maka diperoleh hasil yang tersaji pada **Gambar 2**. *Contamination Factor* (CF) yaitu rasio konsentrasi logam dalam sampel tanah dengan referensi. Nilai CF dibagi menjadi 4 kategori. Kategori pertama yaitu tingkat kontaminasi rendah

dengan nilai $CF < 1$. Kategori kedua yaitu tingkat kontaminasi sedang dengan nilai $1 \leq CF < 3$. Kategori ketiga yaitu tingkat kontaminasi cukup dengan nilai $3 \leq CF < 6$. Terakhir, kategori keempat yaitu tingkat kontaminasi sangat tinggi dengan nilai $CF \geq 6$ (Huzairiah *et al.*, 2022). CF dipergunakan untuk menggambarkan kondisi kontaminasi yang diakibatkan oleh bahan toksik pada sedimen di perairan (Leung *et al.*, 2014). nilai CF logam dari stasiun Pk-1 hingga Pk-5 untuk logam cobalt (Co) berkisar antara 0,68-1,23, logam kromium (Cr) berkisar antara 0,64-0,89, logam cuprum (Cu) berkisar antara



Gambar 2. Grafik Perhitungan Contamintaion Factor (CF) Logam Berat di Perairan Pekalongan yang meliputi (Pk-1 yaitu Muara Sungai Banger, Pk-2 Pantai Pasir Kencana, Pk-3 Baru, Pekalongan Utara, Pk-4 yaitu TPA Degayu dan Pk-5 Pantai Degayu)



Gambar 3. Grafik Perhitungan Enrichment Factor di Perairan Pekalongan (Pk-1 yaitu Muara Sungai Banger, Pk-2 Pantai Pasir Kencana, Pk-3 Baru, Pekalongan Utara, Pk-4 yaitu TPA Degayu dan Pk-5 Pantai Degayu)

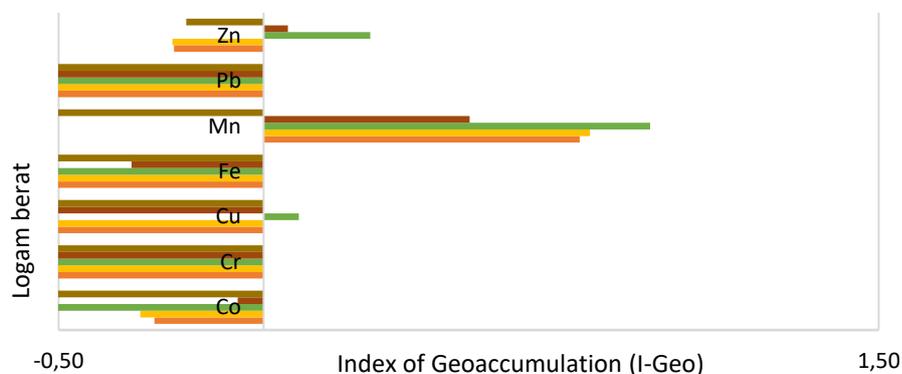
0,78-1,59, logam besi (Fe) berkisar antara 0,93-1,20, logam mangan (Mn) berkisar antara 0,48-2,88, logam plumbum (Pb) berkisar antara 0,53-1,02, dan logam zink (Zn) berkisar antara 1,29-1,80. Berdasarkan **Gambar 2**, nilai CF yang dikategorikan oleh (Huzairiah *et al.*, 2022), maka diketahui bahwa nilai CF logam berat pada sedimen di Perairan Pesisir Pekalongan termasuk kedalam kontaminasi rendah hingga kontaminasi sedang. Kontaminasi rendah yaitu pada logam Co (Pk-3, Pk-5), logam Cr pada semua stasiun, logam Cu pada (Pk-1, Pk-2, Pk-4, Pk-5), logam Fe (Pk-3, Pk-5), logam Mn (Pk-5), logam Pb (Pk-1, Pk-2, Pk-4, Pk-5). Kontaminasi sedang pada logam Co (Pk-1, Pk-2, Pk-4), logam Cu (Pk-3), Fe (Pk-1, Pk-2, Pk-4), Mn (Pk-1, Pk-2, Pk-3, Pk-4), Pb (Pk-3), Zn di semua stasiun.

Berdasarkan analisis perhitungan *Enrichment Factor* di Perairan Pekalongan maka diperoleh hasil yang disajikan pada **Gambar 3**. *Enrichment Factor* merupakan faktor pengayaan merupakan perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui sumber dari logam berat tersebut. Sumber dari logam berat tersebut apakah dari kegiatan antropogenik ataupun secara alami dari alam (Ozkan, 2012). Jika nilai $EF > 1$ pada logam berat maka diindikasikan kontaminasi berasal dari kegiatan antropogenik (Jahan dan Strezov, 2018). Berdasarkan **Gambar 3**, untuk logam berat Cobalt Pekalongan dari Pk-1 hingga Pk-5

masih rendah akan pengayaan logam berat Cobalt, begitu pula dengan logam Tembaga (Cu), Plumbum (Pb) dan Zink tetapi tidak di Pk-3 sudah terjadi kegiatan antropogenik, karena nilai EF lebih dari 1,5 mg/l di stasiun ini (Jahan dan Strezov, 2018), bahkan untuk logam Cu masih belum terdapat faktor pengayaan karena nilai $EF < 1$, begitupula untuk logam Pb di stasiun Pk-1, Pk-2, Pk-4 dan Pk-5. Namun, berbeda halnya untuk logam Mn yang cenderung memiliki kategori pengayaan rendah pada stasiun Pk-1, Pk-2, Pk-3, untuk Pk-4 terjadi pengayaan rendah, dan Pk-5 belum terjadi pengayaan. Nilai yang tinggi di Pk-1 hingga 4 mengindikasikan bahwa sudah terjadi pengayaan dari sumber kegiatan antropogenik (Sakan *et al.*, 2011). Di wilayah pesisir banyak terjadi kegiatan antropogenik seperti kegiatan pariwisata, budidaya perikanan, pertanian dan pelabuhan, jika dilakukan dengan intensitas tinggi akan berdampak negatif (Suyatno *et al.*, 2021).

Selain itu, juga diperlukan perhitungan *Indeks of Geo Accumulation (I-geo)* untuk menganalisis nilai keberadaan dan intensitas pencemaran logam berat antropogenik dalam sedimen, yang tersaji pada **Gambar 4**.

Indeks of Geoaccumulation (I-geo) adalah metode perhitungan yang sering digunakan untuk mengevaluasi kontaminasi logam berat yang diperuntukan untuk sedimen (Liu *et al.*, 2021). **Gambar 4**. Menunjukkan bahwa



Gambar 4. Grafik Analisis I-GEO di Perairan Pekalongan

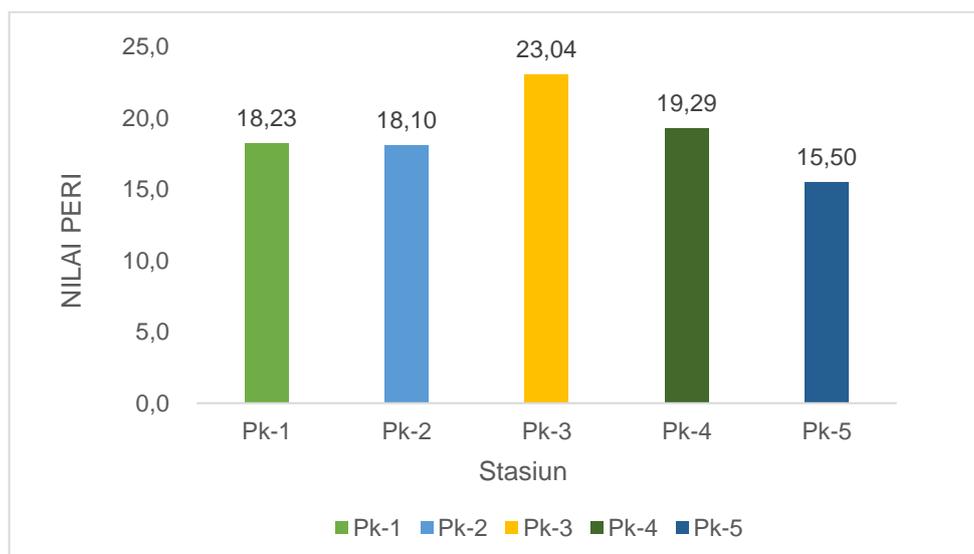
jika nilai I-Geo suatu logam negatif maka logam tersebut akan berada di sebelah kiri, dan jika nilai I-Geo tersebut positif akan berada di sebelah kanan. Nilai I-GEO ini dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah lingkungan perairan (Aziz *et al.*, 2022). Dengan demikian, sangat penting untuk mengetahui tingkat kontaminasi logam berat berdasarkan perhitungan ini. Berdasarkan **Gambar 4.** yang didapatkan memperlihatkan bahwa di setiap stasiun yaitu Pk-1 hingga 5, tidak tercemar untuk logam berat Co dan Cr, Fe, dan Pb. Lain halnya, dengan nilai I-GEO pada logam berat Cu yang tercemar ringan di Pk-3 sama halnya dengan logam Mn di Pk 2 hingga 5, dan Zn pada Pk 2 dan 3, karena nilai I-geo ≤ 0 (Harikumar dan Jisha, 2010). Mn terkategori tidak tercemar hanya di Pk-1, dan Zn di Pk 2 dan 3, karena nilai I-GEO ≤ 0 (Muller, 1969) .

Diperlukan pula perhitungan PERI untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat dalam tanah berdasarkan faktor kontaminasi logam berat (CF) dan respons lingkungan terhadap kontaminan tersaji pada **Gambar 5.**

Potensi risiko ekologis adalah kemungkinan terjadinya risiko yang ditimbulkan oleh logam berat terhadap manusia dan makhluk hidup lainnya. Adanya penilaian potensi risiko ekologis

logam berat, akan didapat informasi nilai risiko kontaminasi logam berat yang ada di lingkungan, sehingga dapat dilakukan kegiatan meminimalisir atau mengatasi pencemaran logam berat (Sukarjo *et al.*, 2021). Nilai PERI ini didapatkan dari perhitungan dari perkalian total faktor respon toksik logam berat dengan *Contamination factor* (CF). Penilaian potensi risiko ekologis logam berat dilakukan menggunakan Indeks Potensi risiko ekologis (PERI). Indeks ini digunakan untuk menilai tingkat pencemaran logam berat dalam tanah berdasarkan faktor kontaminasi logam berat (CF) dan respons lingkungan terhadap kontaminan (Hakanson, 1980).

Berdasarkan **Gambar 5.** nilai PERI dari stasiun Pk-1 hingga Pk-5 berkisar antara 15,5-23,04. Nilai PERI paling rendah yaitu sebesar 15,5 pada stasiun Pk-5. Sedangkan nilai PERI paling tinggi yaitu sebesar 23,04 pada stasiun Pk-3. Berdasarkan nilai PERI yang dikategorikan oleh Liu *et al.*, (2016), maka diketahui bahwa nilai PERI logam berat pada sedimen dari stasiun Pk-1 hingga Pk-5 di Perairan Pesisir Pekalongan pada kategori $RI \leq 150$, artinya potensi risiko rendah yang berdampak rendah bagi lingkungan. Nilai *Potential Ecological Risk Index* (PERI) ini dapat mengevaluasi kemungkinan efek



Gambar 5. Grafik Analisis PERI di perairan Pekalongan yang meliputi (Pk-1 yaitu Muara Sungai Banger, Pk-2 Pantai Pasir Kencana, Pk-3 Baru, Pekalongan Utara, Pk-4 yaitu TPA Degayu dan Pk-5 Pantai Degayu)

ekologis yang merugikan yang dapat terjadi sebagai akibat dari paparan satu atau lebih stressor, maka dapat diketahui di Stasiun Pekalongan rendah akan potensi resiko ekologisnya (Nugraha *et al.*, 2022).

KESIMPULAN

Kandungan logam berat berdasarkan perbandingan dengan standar baku mutu sedimen (USEPA) nilai logam berat kromium memiliki kategori dan tercemar sedang di Pk-4 dan Pk-5 yang bertepatan di TPA Degayu dan Pantai Degayu, karena TPA menghasilkan air lindi yang mengandung logam berat kromium, dan logam tembaga tercemar sedang pada Pk-3 dan Pk-5. Mangan terpolusi pada seluruh stasiun kecuali pada Pk-4, dan Plumbum tidak terpolusi di seluruh stasiun. Tingkat pencemaran berdasarkan nilai CF pada logam berat Co, Cr dan Cu dan dan Pb adalah tingkat kontaminasi rendah, dan tergolong terkontaminasi sedang untuk logam berat Mn pada Pk 1 hingga Pk 4, dan logam berat Zn pada stasiun Pk 3 dan Pk 4. pada stasiun Pk-3. Berdasarkan nilai EF tidak terjadi pengayaan pada logam berat Cr dan Cu pada Pk-1, Pk-2 dan Pk-3, dan Pb kecuali pada Pk-3, dan pengayaan rendah untuk logam berat CO, Mn, dan Zn, menurut nilai I-geo menyatakan seluruh logam berat tidak tercemar, dan nilai PERI masih dalam tingkat risiko rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPDP atas pendanaan penelitian ini melalui Nuning Vita Hidayati, sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, A. S. A., Mahdiana, A., Prayogo, N. A., Hidayati, N. V. 2022. Akumulasi Logam Berat Cd Pada Matriks Air, Sedimen, Dan Ikan Nilem (*Osteochilus hasselti*) Di Sungai Tajum Kabupaten Banyumas Jawa Tengah. *AGRITECH*, 24(2),1411–1063.

Barus, B. S. 2017. Analisis Kandungan

Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Merkuri (Hg) Pada Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Banyuasin. *Maspari Journal*, 9(1): 69–76.

Hamuna, B., Rosy, H., dan Suwito. 2018. Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1): 35–45.

Harikumar, P. . dan Jisha, T. S. 2010. Distribution Pattern of Trace Metal Pollutants in the Sediments of an Urban Wetland in the Southwest Coast of India. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(5): 840–850.

Hu, R., Wang, Y., Zhang, X., Zhu, L., Luo, M., Liu, B., dan Yuan, X. 2022. Sources and factors controlling the distribution of heavy metals in coastal sediments of Haiyang, China. *Marine Pollution Bulletin*, 175(September 2021): 113152.

Huzairiah, M., Nugraha, M. A., dan Pamungkas, A. 2022. Kontaminasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Sedimen Estuari Baturusa, Kota Pangkalpinang. *Journal of Tropical Marine Science*, 5(1): 19–29.

Ismanto, A, D, H, Ismunarti, D, N, Sugianto, S., Maesyarah, P, Subardjo, Suryoputro, A, A, D., dan Siagian, H. 2019. The Potential of Ocean Currents Electrical Power Sources Alternatives in Karimunjawa Islands Indonesia. *ASTES*, 4(6): 126–133.

Jahan, S. dan Strezov, V. 2018. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metals in the sediments of seaports of NSW,Australia. *Marine Pollution Bulletin*. 128(1): 295–306.

Javed, T., Ahmad, N., dan Mashiatullah, A. 2018. Heavy metals contamination and ecological risk assessment in surface sediments of Namal Lake, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies*. 27(2): 675–688.

Kharisma, R. N., Yulianto, B., Azizah, R., dan Nuraini, T. 2023. Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air , Sedimen , dan Kerang Darah (Anadara Granosa) di

- Muara Sungai Loji dan Perairan Pantai Sekitarnya, Kota Pekalongan, 12(2): 330–335.
- Kiswanto, K., Rahayu, L. N., dan Wintah, W. 2019. Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Teknologi Membran Nanofiltrasi Di Kota Pekalongan. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 17: 72–82.
- Laili, N, F. 2022. *Sebaran Pencemaran Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr-VI) dan Chemical Oxidation Demand (COD) Pada Badan Air Di Sekitar TPA Piyungan, Bantuk*. Environmental Engineering (1429)
- Leung, H, M., Leung, A, O, W., Wang, H, S., Ma, K, K., Liang, Y., Ho, K, C., Cheung, K, C., Tohidi, F., dan Yung, K, K, L. 2014. Assessment of Heavy Metals/Metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) Concentrations in Edible Fish Species Tissue in the Pearl River Delta (PRD). *China. Mar. Pollut. Bull.* 235–245.
- Liu, B., Xu, M., Wang, J., Wang, Z., & Z. dan L. 2021. Ecological risk assessment and heavy metal contamination in the surface sediments of Haizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 163: 111954.
- Liu, R., Men, C., Liu, Y., Yu, W., Xu, F., dan Shen, Z. 2016. Spatial distribution and pollution evaluation of heavy metals in Yangtze estuary sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 110(1): 564–571.
- Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2(2): 108–118.
- Murniati, T., Inayati, dan Budiastuti, S, Mt. 2015. 61751-169938-1-SM.pdf. *Jurnal Ekosains*, 1(1): 77–83.
- Nugraha, M. A., Pamungkas, A., Syari, I. A., Sari, S. P., Umroh, U., Hudatwi, M., Utami, E., Akhrianti, I., dan Priyambada, A. 2022. Penilaian Pencemaran Logam Berat Cd, Pb, Cu, dan Zn pada Sedimen Permukaan Perairan Matras, Sungailiat, Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(1): 70–78.
- Nuraini, R. A. T., Endrawati, H., dan Maulana, I. R. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Air, Sedimen Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Trimulyo Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1): 48.
- Ozkan, E. . 2012. A New Assessment of Heavy Metal Contaminations in an Eutrophicated Bay (Inner Izmir Bay, Turkey). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12: 135–147.
- Permata, M. A. D., Purwiyanto, A. I. S., dan Diansyah, G. 2018. Kandungan Logam Berat Cu (Tembaga) Dan Pb (Timbal) Pada Air Dan Sedimen Di Kawasan Industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*, 1(1): 7–14.
- Pita Rengga, W. D., Harianingsih, H., Erwanto, A., dan Cahyono, B. 2019. Kesetimbangan Adsorpsi Isotermal Logam Pb Dan Cr Pada Limbah Batik Menggunakan Adsorben Tongkol Jagung (*Zea Mays*). *Journal of Chemical Process Engineering*, 4(2): 56–62.
- Pratiwi, D. Y. 2020. Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1): 59–65.
- Rezki, C. T., Subardjo, P., dan Wulandari, S. Y. 2013. Studi Sebaran Logam Berat Pb (Timbal) Pada Sedimen Dasar Perairan Pantai Slamaran Kota Pekalongan. *Jurnal Oseanografi*, 2: 9–17.
- Rustiah, W., Noor, A., Maming, M., Lukman, M., dan Nurfadillah, N. 2019. Distribusi Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Sedimen Sepanjang Muara Sungai dan Laut Perairan Spermonde, Sulawesi Selatan, Indonesia. *Indo. J. Chem. Res*, 7(1): 1–8.
- Said, N, I. 2002. Kualitas Air Minum dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Sakan, S, M., Dordevic, D, S., dan Trifunovic, S. 2011. Geochemical and Statistical Methods in the Evaluation of Trace Elements Contamination: an Application on Canal Sediments. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(1): 187–199.

- Sasongko, E. B., Widyastuti, E., dan Priyono, R. E. 2014. Kajian Kualitas Air Dan Penggunaan Sumur Gali Oleh Cilacap, 12(2): 72–82.
- Suryo, R. A., Yulianto, B., dan Santoso, A. 2021. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Air Sedimen dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Pantai Mekar Muara Gembong Bekasi. *Journal of Marine Research*, 10(3): 428–436.
- Tampubolon, O. F. R., Ismanto, A., Suryoputro, A. A. D., Muslim, M., dan Indrayanti, E. 2021. Simulasi Pola Sebaran Logam Berat Tembaga (Cu) di Perairan Kota Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(2): 174–188.
- Yudo, S. 2006. Kondisi Pencemaran Logam Berat Di Perairan Sungai. *Lingkungan-bppt, Pusat Teknologi*, 2(1): 1–15.