



Estimasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) Perairan Muara Kali Ijo, Pantai Ayah, Kebumen

Estimation of Heavy Metal Cadmium (Cd) and Copper (Cu) at Ijo Estuary, Pantai Ayah, Kebumen

Wahyu Satriarman Ibrahim¹, Hendrayana^{1*}, Nuning Vita Hidayati¹, Any Kurniawati¹,
Isnaini Prihatiningsih¹, Purwo Raharjo¹, Sri Mulyani²

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

² 2Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pancasakti Tegal.

*Corresponding Author: hendrayana@unsoed.ac.id

Diterima: 06 Juni 2024, Disetujui: 29 Juni 2024

ABSTRAK

Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) Muara Kali Ijo merupakan kawasan strategis yang digunakan sebagai kawasan konservasi dan kawasan penyangga perairan akibat adanya aktivitas perikanan, rumah tangga, pertanian dan pariwisata. Muara ini menjadi tempat pertemuan masukan bahan dari daratan dan material dari laut sehingga kawasan ini memiliki kandungan logam berat yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi kandungan logam berat Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) dengan menggunakan metode *Nemerow Pollution Index* (PN) pada Perairan Muara Kali Ijo Kebumen. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni Tahun 2022 di Kawasan Muara kali Ijo, Kebumen. Materi penelitian berupa sampel air yang diambil dari 4 stasiun pada 7 substasiun. Pengukuran logam berat dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometri. Pengujian logam Cd menggunakan metode SNI 6989.16:2009 sedangkan Cu menggunakan SNI 6989.6:2009. Perhitungan data menggunakan metode *Single Pollution Index* (Pi) dan *Nemerow Pollution Index* (PN). Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata Cd sebesar 0,014 mg/L. Nilai tertinggi Cd terdapat di stasiun 3 dan 4 sebesar 0,017 mg/L sedangkan terendah di stasiun 2 sebesar 0,010 mg/L. Nilai rata-rata Cu sebesar 0,013 mg/L. Nilai tertinggi Cu terdapat di stasiun 3 sebesar 0,017 mg/L sedangkan terendah di stasiun 2 sebesar 0,009 mg/L. Hasil analisis tingkat pencemaran perairan menunjukkan Perairan Muara Kali Ijo tercemar. Perlu adanya pengelolaan secara terpadu oleh pemerintah guna mengatasi masalah pencemaran di Muara Sungai kali Ijo, Kebumen.

Kata Kunci: Logam Berat, Kadmium (Cd), Tembaga (Cu), *Nemerow Pollution Index* (PN), Muara Kali Ijo

ABSTRACT

The Kali Ijo Estuary is an Essential Ecosystem Area used for conservation and water buffer areas due to fisheries, households, agriculture and tourism activities. The estuary area is a place where materials from the mainland gather before going to the sea so that these waters contain a lot of heavy metals. This study aims to estimate the content of heavy metals Cadmium (Cd) and Copper (Cu) using the Nemerow Pollution Index (PN) method in the Kali Ijo Estuary Waters, Kebumen. This research was conducted in June 2022 in the Ijo Estuary, Kebumen. The research material was water samples taken from 4 stations at 7 substations. Heavy metal measurement used Spectrophotometry. Cd metal measurement used SNI 6989.16:2009 method and Cu used SNI 6989.6:2009. The data calculated used Single Pollution Index (Pi) and Nemerow Pollution Index (PN) methods. The results showed an average

Cd value of 0.014 mg/L. The highest Cd value was at stations 3 and 4 of 0.017 mg/L while the lowest was at station 2 of 0.010 mg/L. The average Cu value was 0.013 mg/L. The highest Cu value was at station 3 of 0.017 mg/L while the lowest was at station 2 of 0.009 mg/L. The results of the analysis of the level of water pollution show that the waters of the Ijo River Estuary are polluted. Integrated management by the government is needed to overcome the problem of pollution in the Ijo Estuary, Kebumen.

Keywords: Heavy Metals, Cadmium (Cd), Copper (Cu), Nemerow Pollution Index (PN), Ijo Estuary

PENDAHULUAN

Muara Kali Ijo berada di daerah Kebumen menjadi muara sungai dari sungai di Cilacap dan Kebumen. Perairan ini merupakan tempat berkumpulnya masukan bahan atau sisa hasil kegiatan pertanian, pertambangan, pertanian, perikanan dan industri rumah tangga. Aktivitas kegiatan tersebut menyebabkan masuknya bahan polutan berbasis logam berat dan meninggalkan residu bahan kimia ke dalam perairan. (Gafur dan Abbas, 2022). Perairan Muara kali Ijo sebagai tempat berkumpulnya bahan dari daratan melalui sungai menjadikan daerah ini diduga terkontaminasi oleh polutan logam berat. Muara memiliki potensi menerima sisa hasil industri dari daratan melalui proses run off dari sungai (Jia *et al.*, 2021; Febrita dan Roosmini, 2022).

Logam berat merupakan polutan berbahaya yang dapat berdampak lethal (kematian) dan sublethal (non kematian) seperti gangguan pada pertumbuhan dan morfologi pada organisme akuatik (Pratiwi, 2020;). Logam berat bersifat persisten sehingga dapat masuk melalui jaring-jaring makanan sehingga dapat berdampak buruk terhadap manusia (Khairuddin *et al.*, 2018). Logam berat juga dapat berdampak buruk bagi ekosistem yang disebabkan karena sumbernya bersifat ekstensif, terdapat melimpah di perairan dan bersifat toksik (Hidayati *et al.*, 2020; Thorat *et al.*, 2023). Salah satu logam berat yang banyak ditemukan di perairan adalah logam berat jenis Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu).

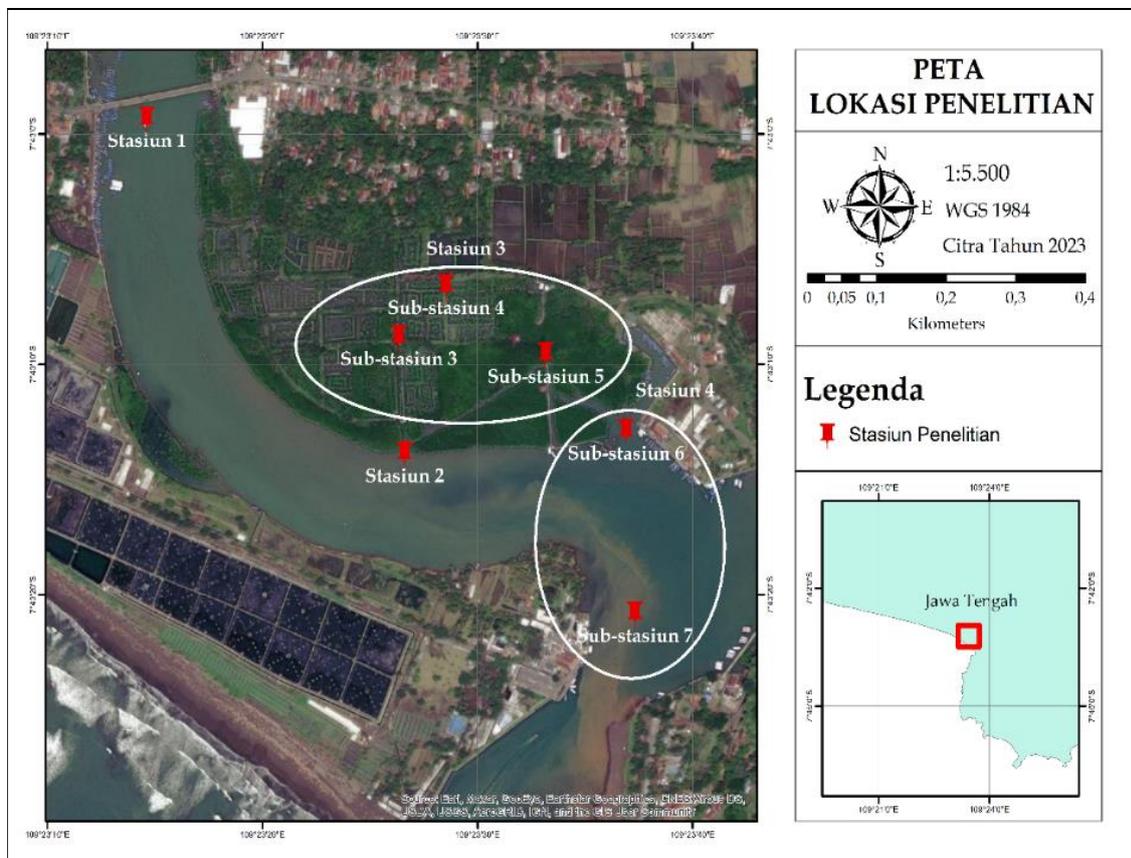
Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) merupakan logam berat yang banyak ditemukan di perairan. Logam ini dapat berasal dari masukan industri tekstil, pengolahan logam, kayu, pertanian, penyamakan kulit dan lain-lain (Febrita dan Roosmini, 2022). Pada perairan logam ini memiliki sifat toksik Logam berat (Zhang dan Reynolds, 2019). Akumulasi beban pencemaran yang masuk ke perairan muara dari daratan akibat semakin lama semakin bertambah mengakibatkan akumulasi logam pada perairan dan sedimen seiring dengan lama tinggal unsur tersebut di perairan (Wula *et al.*, 2013). Pendugaan beban pencemaran di perairan dapat dilakukan dengan menggunakan metode Nemerow Pollution Index (PN) (Hidayati *et al.*, 2020; Su *et al.*, 2022). Melalui metode ini dapat diketahui kategori kelas pencemaran pada perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi kandungan logam berat Kadmiun (Cd) dan Tembaga (Cu) dengan menggunakan metode Nemerow Pollution Index (PN) pada Perairan Muara Kali Ijo Kebumen.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan materi penelitian berupa sampel air yang diambil dari Muara Kali Ijo. Pengambilan data dilakukan pada bulan Juni Tahun 2022 Muara Kali Ijo, Pantai Ayah, Kebumen, Jawa Tengah. Lokasi penelitian berada di. Parameter utama yang diukur adalah kandungan logam berat Cd dan Cu perairan (logam total). Lokasi penelitian dilakukan pada 7 lokasi yang terbagi pada

4 kelompok yaitu area outlet sungai, mangrove, dan muara sungai (Gambar 1).

kadar logam Cd dan Cu menurut BSN (2009) adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Sampel air diambil menggunakan van dorn water sampler merujuk pada SNI 6989.57:2008. Sampel logam berat diambil dari sampel air yang telah disaring dan ditambahkan HNO₃ sampai pH < 2 (± 0,75 mL), lalu didinginkan dalam ice box suhu 4°C ± 2°C (BSN, 2008). Pengujian larutan baku logam Kadmium (Cd) menggunakan metode SNI 6989.16:2009 sedangkan Tembaga (Cu) menggunakan SNI 6989.6:2009. Kandungan Cd dan Cu pada air diukur dengan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) dengan tingkat ketelitian 10-4 ppm. Pada pengukuran ini Logam Cd diukur dengan panjang gelombang 228,8 nm dan logam Cu pada panjang gelombang 324,7 nm. Nilai absorbansi Cd dan Cu dapat dilihat pada layar AAS (BSN, 2009). Perhitungan

$$\text{Kadar logam (mg/L)} = C \times fp$$

Keterangan:

C = Kadar yang didapat hasil pengukuran (mg/L)

Fp = Faktor pengenceran

Analisis Data

Penentuan kualitas perairan dilakukan dengan menggunakan metode Pollution Index (PI). Metode ini pada dasarnya memiliki 2 konsep perhitungan yaitu Single Pollution Index (Pi) dan *Nemerow Pollution Index* (PN). *Single Pollution Index* (Pi) digunakan untuk menentukan kategori kualitas air melalui proses identifikasi indikator kualitas air terburuk tunggal. *Nemerow Pollution Index* (PN) digunakan untuk mengetahui faktor dominan yang

paling mencemari melalui perhitungan kontribusi faktor lain dalam sistem (Dadzie *et al.*, 2020; Su *et al.*, 2022). Perhitungan tingkat kontaminasi logam dan nilai PN dapat menggambarkan pengaruh semua logam terhadap kualitas air. Kategori nilai pencemaran logam berat disajikan pada Tabel 1 dan 2. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Brady *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2015; Hidayati *et al.*, 2020; Su *et al.*, 2022):

Logam berat Cd di semua stasiun penelitian dengan nilai rata-rata sebesar 0,014 mg/L (Gambar 2). Kandungan Cd tertinggi berada di stasiun 3 dan 4 yaitu sebesar sebesar 0,017 mg/L, sedangkan kandungan terendah terdapat pada stasiun 2 dengan nilai 0,010 mg/L. Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 nilai Cd di Perairan ini melebihi ambang baku mutu dengan ambang baku mutu sebesar 0,001 mg/L. Cd merupakan logam berat non-esensial dan merupakan polutan berbahaya bagi organisme. Organisme memiliki rentang

Tabel 1. Kadar Kualitas Air Berdasarkan *Single Pollution Index* (Pi) (Su *et al.*, 2022).

| Level Kualitas Air | Pi | Penilaian Pencemaran |
|--------------------|------------------|----------------------|
| I | $P_i \leq 1$ | Tidak tercemar |
| II | $1 < P_i \leq 2$ | Sedikit tercemar |
| III | $2 < P_i \leq 3$ | Tercemar ringan |
| IV | $3 < P_i \leq 5$ | Tercemar sedang |
| V | $P_i \geq 5$ | Tecemar berat |

Tabel 2. Kadar Kualitas Air Berdasarkan *Nemerow Pollution Index* (PN) (Su *et al.*, 2022).

| Level Kualitas Air | PN | Penilaian Pencemaran |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|
| I | < 0.59 | Air tidak terkontaminasi |
| II | $0.59 < P_N \leq 0.74$ | Air sedikit terkontaminasi |
| III | $0.74 < P_N \leq 1.00$ | Air dibawah ancaman kontaminasi |
| IV | $1.00 < P_N < 3.50$ | Air terkontaminasi sedang |
| V | $P_N > 3.50$ | Air terkontaminasi berat |

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

$$P_N = \sqrt{\left(\frac{(PI_{max})^2 + (\overline{PI})^2}{2}\right)}$$

Keterangan :

- Ci = konsentrasi logam berat
- Si = batas kritis logam berat
- PI_{max} = nilai maksimal PI masing-masing logam berat
- (PI)⁻ = rata-rata PI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

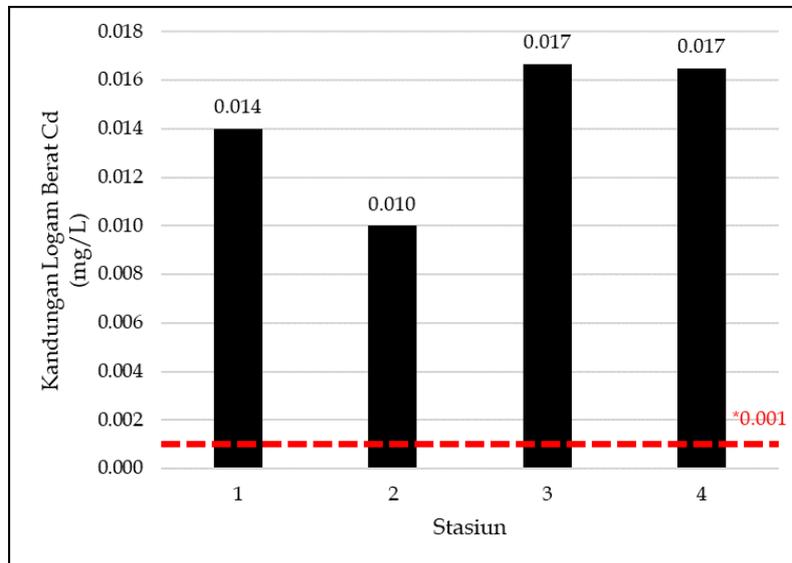
Kandungan Logam Berat Cd Perairan

toleransi terhadap Cd sebesar 0,001-0,1 mg/L.

Perbedaan nilai Cd disebabkan karena perbedaan karakteristik lokasi stasiun sampel. Stasiun 3 merupakan daerah yang dekat dengan muara dan daratan sebagai pusat kegiatan masyarakat. Keberadaan tempat pelelangan ikan dan tambat labuh kapal serta keberadaan mangrove sebagai agen fotoremediasi diduga menyebabkan daerah ini memiliki kandungan Cd lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya. Mangrove berada di daerah pasang surut dan membentuk sabuk hijau di sepanjang pesisir merupakan tempat berkumpulnya masukan dari daratan dan tempat pencampuran air tawar dan air laut sehingga menyebabkan daerah ini

memiliki kandungan nutrisi dan unsur mineral tinggi. Berbagai penelitian menunjukkan jika mangrove mampu mentolerir logam dalam jumlah tinggi (Yan *et al.*, 2017).

akan terangkut ke badan air. Masuknya material tersuspensi ini lebih berpengaruh terhadap konsentrasi logam berat di perairan dibandingkan dengan faktor masukan dari proses hidrologi seperti



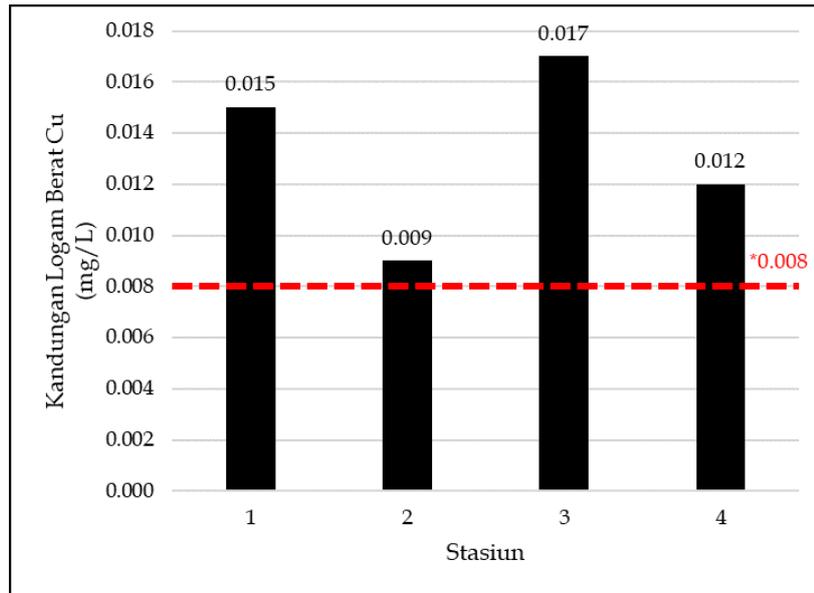
Gambar 2. Kandungan Logam Berat Cd Perairan di Muara Kali Ijo.

Stasiun 4 merupakan outlet sungai dan merupakan muara yang memiliki kondisi pasang surut variatif dan tempat berkumpulnya bahan masukan dari sungai. Kandungan logam berat yang berada di muara dipengaruhi oleh kondisi pasang dan surut perairan (Rumoey *et al.*, 2022). Muara merupakan salah satu tempat paling tercemar disebabkan karena muara merupakan ujung dari sungai yang dijadikan lalu lintas bahan kimia dari daratan ke laut melalui badan air maupun sedimentasi. Pasang surut berpengaruh pada sirkulasi perairan di muara yang mempengaruhi struktur dan distribusi massa air dengan akibat proses pengadukan. Pasang dan surut berpengaruh pada keluar masuknya partikel polutan di daerah muara (Yin *et al.*, 2016). Sumber utama logam tidak hanya berasal dari perairan itu sendiri tetapi juga dapat berasal dari hulu. Partikel logam terutama berasal dari proses sedimentasi yang akibat adanya proses pengadukan

banjir dan siklus hidrologi seperti hujan (Yin *et al.*, 2016).

Stasiun 1 merupakan pusat kegiatan perikanan memiliki resiko meningkatnya logam berat di stasiun ini. Logam berat dapat berasal dari aktivitas di sekitar stasiun ini yaitu kegiatan pengolahan ikan, restoran dan tempat keluar masuk kapal. Pada umumnya hasil kegiatan perikanan di sekitar ini langsung masuk ke dalam perairan tanpa proses pengolahan. Salah satu sumber utama pencemaran air dapat disebabkan karena pembuangan limbah tanpa proses pengolahan (Sonone *et al.*, 2021).

Stasiun 2 yang didominasi oleh vegetasi mangrove memiliki konsentrasi logam berat paling rendah. Rendahnya kandungan logam di perairan ini dapat disebabkan karena pengambilan data yang diambil pada tengah kawasan mangrove memiliki substrat liat berpasir sehingga konsentrasi logam di perairan rendah akibat konsentrasi logam umumnya lebih



Gambar 3. Kandungan Logam Berat Cu Perairan di Muara Kali Ijo.

banyak di sedimen. Kondisi pada tengah kawasan mangrove memiliki proses pengadukan relatif lebih lambat dibandingkan di bagian depan mangrove sehingga konsentrasi logam di perairan ini lebih rendah dibandingkan stasiun lainnya. Faktor debit air yang lebih rendah dibandingkan bagian depan serta pertukaran air yang terjadi secara terus menerus menyebabkan kondisi logam menyebar sehingga memiliki konsentrasi rendah (Ma'rifah *et al.*, 2016).

Kandungan Logam Berat Cu Perairan

Logam berat Tembaga (Cu) ditemukan disetiap stasiun dengan rentang nilai 0,009-0,017 mg/L. Kandungan tertinggi di stasiun 3 dengan konsentrasi sebesar 0,017 mg/L, sedangkan terendah di stasiun 2 dengan nilai 0,009 mg/L (Gambar 3). Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 kandungan Cu di setiap stasiun melebihi ambang baku mutu biota laut yaitu 0,008 mg/L. Tembaga (Cu) merupakan jenis logam berat esensial yang bersifat berbahaya namun dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah sedikit (Martuti, 2012). Kontaminasi Cu di dalam perairan dapat disebabkan karena aktivitas antropogenik seperti kegiatan

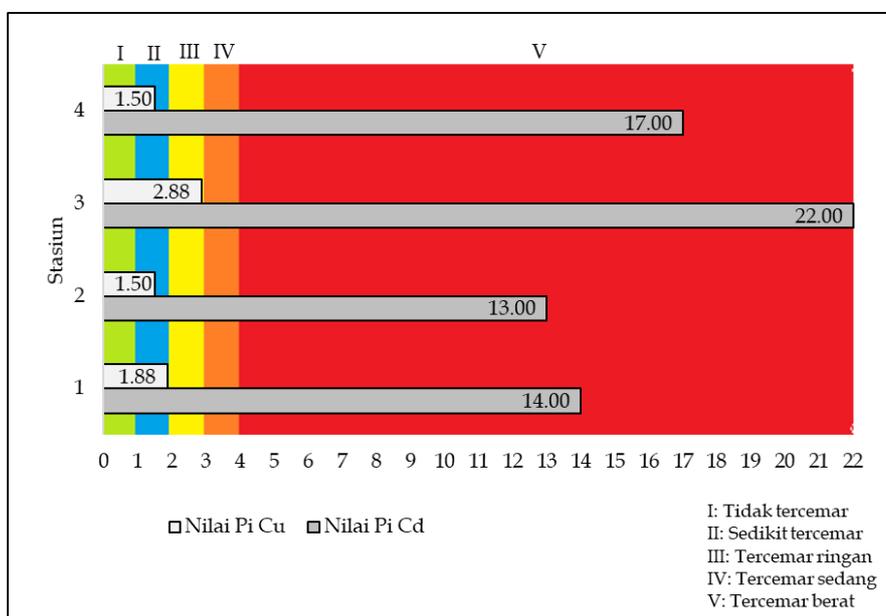
pelabuhanan industri pengolahan elektroplating (Setiawan dan Subiandono, 2015; Sonone *et al.*, 2021). Stasiun 3 memiliki kandungan logam Cu paling tinggi disebabkan karena di daerah ini merupakan kawasan ekosistem mangrove dan berada di sekitar kegiatan budidaya perikanan. Mangrove merupakan perangkap alami polutan dan memiliki kemampuan mentolerir polutan dalam rentang tinggi. Keberadaan mangrove disekitar pelabuhan perikanan dan kegiatan perikanan menyebabkan daerah ini memiliki kandungan logam Cu paling tinggi. Cu secara alami berasal dari alam namun hasil aktivitas kegiatan manusia seperti kegiatan pertanian, konstruksi dan pengolahan makanan (Izah *et al.*, 2016).

Kandungan Cu paling rendah berada di stasiun 2 yaitu pada kawasan outlet wilayah mangrove. Mangrove sebagai pendaur unsur hara dan penjebak mineral alami memiliki peran dalam mengurangi konsentrasi logam Cu di dalam perairan. Mangrove memiliki kemampuan menyerap logam di dalam sedimen dan perairan. Selain itu faktor arus pasang surut yang berada di sekitar mangrove berperan dalam proses penyebaran unsur Cu di dalam perairan. Konsentrasi logam berat di

dalam perairan dapat tersebar akibat adanya pergarakan arus sehingga menyebabkan logam berat dapat tersebar ke berbagai arah (Indrawan *et al.*, 2018). Akumulasi logam berat semakin rendah seiring semakin tinggi kecepatan arus (Aziz *et al.*, 2022).

Kegiatan antropogenik di bagian DAS menyumbang kontribusi dalam meningkatnya pengendapan logam berat di dalam sungai dan perairan laut (Analuddin *et al.*, 2017). Keberadaan logam berat Cu yang melebihi ambang baku mutu dapat menimbulkan bahaya

Hasil perhitungan Single Pollution Index kedua logam berat berbeda berdasarkan jenis baku mutu air pada baku mutu lingkungan untuk air permukaan (Su *et al.*, 2022). Standar kualitas air dibandingkan dengan standar kualitas lingkungan untuk air permukaan menunjukkan bahwa metode evaluasi Single Pollution Index (Pi) dapat lebih jelas menunjukkan kualitas air. Metode Single Pollution Index (Pi) merupakan metode yang mampu menunjukkan tingkat pencemaran relatif terhadap baku mutu air (Suriadikusumah *et al.*, 2021). Nilai Single Pollution Index (Pi)



Gambar 4. Grafik Tingkat Pencemaran Logam Berat Cd dan Cu Perairan Berdasarkan *Single Pollution Index* (Pi).

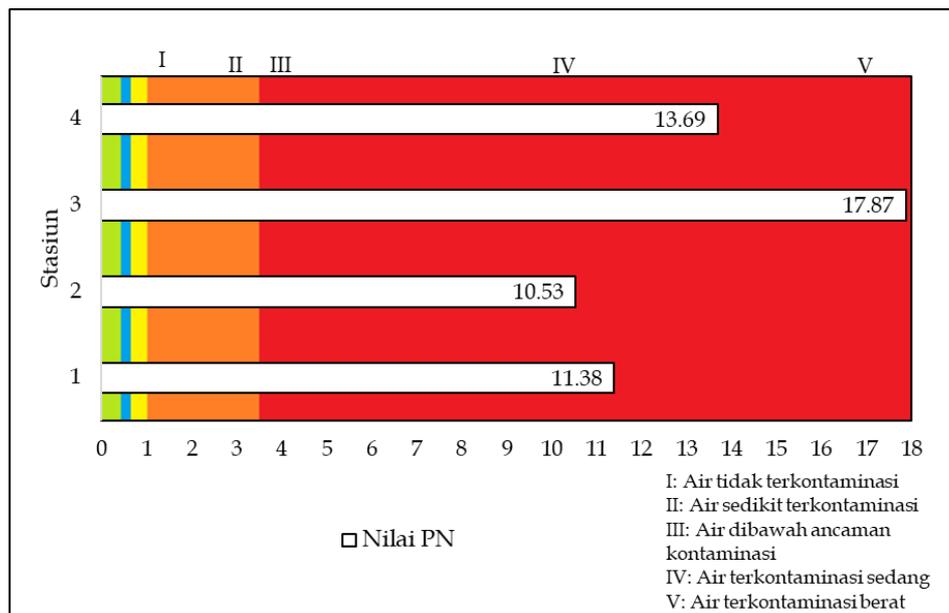
bagi organisme perairan hingga manusia akibat adanya akumulasi logam di dalam sedimen dan perairan (Elturk *et al.*, 2018). Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui air yang dikonsumsi ataupun melalui jaring-jaring makanan. Logam berat telah digunakan dalam pemantauan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan terutama menyangkut permasalahan kesehatan (Elturk *et al.*, 2018).

Tingkat Pencemaran Logam Berat Cd dan Cu Perairan di Muara Kali Ijo

logam berat Cd pada setiap stasiun memiliki rentang nilai 13-22 mg/L dengan stasiun 3 memiliki nilai tertinggi dan stasiun 2 terendah. Hasil penilaia kualitas air menunjukkan kualitas air berada di level V yaitu tercemar berat. Nilai Pi Cu di stasiun 1 sebesar 1,88 mg/L, stasiun 2 sebesar 1,50 mg/L, stasiun 3 sebesar 2,88 mg/L, dan stasiun 4 sebesar 1,50 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa level kualitas air stasiun 1, 2, dan 4 masuk kategori level kualitas air II yaitu sedikit tercemar, sedangkan stasiun 3 masuk pada kategori

level kualitas air III yaitu tercemar ringan

2020). Aktibitas yang tampak di sekitar



Gambar 5. Grafik Tingkat Pencemaran Logam Berat Cd dan Cu Perairan Berdasarkan Nemerow Pollution Index (PN).

(Gambar 4).

Metode Nemerow Pollution Index (PN) digunakan dalam mengamati jenis logam berat yang memberikan ancaman tertinggi dan paling berdampak di lokasi perairan. (Hidayati *et al.*, 2020). Nilai Nemerow Pollution Index (PN) memiliki rentang nilai 10,35-17,87 mg/L dengan nilai tertinggi di stasiun 3 sedangkan terendah di stasiun 2 (Gambar 5). Nilai ini menunjukkan kategori level kualitas air V yaitu air terkontaminasi berat. Hasil perhitungan ini digunakan dalam mempertimbangkan pengambilan keputusan dalam mengelola dan memperbaiki kualitas perairan (Hidayati, *et al.*, 2020; Su *et al.*, 2022).

Hasil Pi dan PN menunjukkan secara umum kondisi kualitas perairan Muara Kali Ijo masuk dalam kategori tercemar. Hal ini dapat disebabkan karena Muara Kali Ijo merupakan tempat berkumpulnya bahan kimia dan polutan dari sungai dan daratan di sekitar perairan tersebut. Limbah pada perairan dapat bertambah akibat masuknya limbah ke perairan akibat kegiatan reklamasi, pelabuhan, pemukiman dan drainase (Akbar *et al.*,

Muara kali Ijo adalah aktivitas pelabuhan perikanan, wisata dan reklamasi di sekitar muara. Pencemaran atau kontaminasi ditandai dengan perubahan fisik, kimia dan biologi di perairan yang berakibat negatif terhadap organisme di dalam perairan tersebut (Wong, 2012).

Status logam berat Cd dan Cu di Perairan Muara Kali Ijo merupakan ancaman bagi kehidupan hayati disekitar perairan. Pencemaran perairan menjadi salah satu masalah lingkungan yang serius. Air merupakan komponen utama pada lingkungan yang berpengaruh pada organisme di sekitarnya (Masindi dan Muedi, 2018). Logam berat di dalam perairan akan terakumulasi pada sedimen sehingga jika terkonsentrasi di sedimen secara terus menerus akan menjadi masalah kesehatan serius pada manusia. Manusia merupakan makhluk hidup dengan status puncak rantai makanan tertinggi sehingga akumulasi logam berat akan menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia (Masindi dan Muedi, 2018). Dengan demikian pemerintah perlu melakukan kegiatan pengendalian dan

pengecambahan pencemaran perairan untuk mencegah adanya dampak negatif akibat pencemaran logam berat di perairan

KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat Cd perairan di Muara Kali Ijo, Kebumen memiliki nilai rata-rata 0,014 mg/L, sedangkan Cu memiliki nilai rata-rata 0,013 mg/L. Nilai ini melebihi nilai ambang baku mutu perairan didasarkan pada PP No. 22 Tahun. Tingkat pencemaran Cd dan Cu masuk dalam kategori tercemar. Perlu adanya strategi pengelolaan lingkungan Muara kali Ijo, Kebumen untuk mengatasi pencemaran di perairan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, R. R. R., Melani, W. R., dan Apriadi, T. 2020. Indeks Pencemaran Muara Sungai Jodoh, Kota Batam. *Journal of Marine Research*, 9(2), 119-130.
- Analuddin, K., Sharma, S., Septiana, A., Sahidin, I., Rianse, U., dan Nadaoka, K. 2017. Heavy metal bioaccumulation in mangrove ecosystem at the coral triangle ecoregion, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Marine pollution bulletin*, 125(1-2), 472-480.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2008. *Air dan Air Limbah - Bagian 57: Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan. Standar Nasional Indonesia*. 28hal.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2009. *Air dan Air Limbah - Bagian 16: Cara Uji Kadmium (Cd) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala. Standar Nasional Indonesia*. SNI 6989.16:2009. 16hal.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2009. *Air dan Air Limbah - Bagian 17: Cara Uji Tembaga (Cu) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala. Standar Nasional Indonesia*. SNI 6989.6:2009. 16hal.
- Brady, J. P., Ayoko, G. A., Martens, W. N., dan Goonetilleke, A. 2015. Development of a Hybrid Pollution Index for Heavy Metals in Marine and Estuarine Sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 1-14.
- Liu, S., Zhang, Y., Bi, S., Zhang, X., Li, X., Lin, M., dan Hu, G. 2015. Heavy Metals Distribution and Environmental Quality Assessment for Sediments Off the Southern Coast of The Shandong Peninsula, China. *Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 483-488.
- Ma'rifah, A., Aris, D. S., dan Romadhon, A. 2016. *Karakteristik dan pengaruh arus terhadap akumulasi logam berat timbal (Pb) pada sedimen di perairan kalianget kabupaten Sumenep*. In Prosiding Seminar Nasional Kelautan (pp. 82-88).
- Martuti, N. K. T. 2012. *Kandungan logam berat Cu dalam ikan bandeng, studi kasus di tambak wilayah Tapak Semarang*. In Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Vol. 11).
- Masindi, V., dan Muedi, K. L. 2018. Environmental contamination by heavy metals. *Heavy metals*, 10, 115-132.
- Pratiwi, Y. D. 2020. Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59-65.
- Rumoey, D. S., Umar, N. A., & Hadijah, H. 2022. Perbandingan Kandungan Logam Berat (Cd, Cr, Pb) Dalam Air Dan Kerang Antar Ekosistem Sungai, Muara Dan Pantai Di Perairan Sungai Tallo Makassar. *Journal Of Aquaculture And Environment*, 4(2), 27-32.
- Setiawan, H., dan Subiandono, E. 2015. Konsentrasi logam berat pada air dan

- sedimen di perairan pesisir Provinsi Sulawesi Selatan. *Indonesian Forest Rehabilitation Journal*, 3(1), 67-79.
- Sonone, S. S., Jadhav, S., Sankhla, M. S., dan Kumar, R. 2021. Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through food Chain. *Lett. Appl. NanoBioScience*, 10(2), 2148-2166.
- Su, K., Wang, Q., Li, L., Cao, R., dan Xi, Y. 2022. Water Quality Assessment of Lugu Lake Based on Nemerow *Pollution Index Method*. *Scientific Reports*, 12(1), 13613.
- Thorat, B. R., Prasad, P., dan Ram, A. 2023. Heavy Metal Accumulation in A Moderately *Polluted Ulhas Estuary, Western India*. *Regional Studies in Marine Science*, 102818.
- Tim Penyusun KEE Kali Ijo Kebumen. 2020. Rencana Aksi Pengelolaan Kawasan Ekosistem Esensial Lahan Basah Mangrove Muara Kali Ijo. KEE Kali Ijo Kebumen. Kebumen.
- Wong, M. H., Leung, A. O., Wu, S., Leung, C. K., dan Naidu, R. 2012. Mitigating environmental and health risks associated with uncontrolled recycling of electronic waste: Are international and national regulations effective. *Environmental Contamination: Health Risks and Ecological Restoration*; CRC Press, Taylor dan Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 193-208.
- Wulan, S. P., Thamrin., Amin, B. 2013. Konsentrasi, Distribusi Dan Korelasi Logam Berat Pb, Cr Dan Zn Pada Air Dan Sedimen Di Perairan Sungai Siak Sekitar Dermaga PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang–Propinsi Riau. *Jurnal Kajian Lingkungan*, 1(01), 72-92.
- Yan, Z., Sun, X., Xu, Y., Zhang, Q., dan Li, X. 2017. Accumulation and tolerance of mangroves to heavy metals: a review. *Current pollution reports*, 3, 302-317.
- Yin, S., Wu, Y., Xu, W., Li, Y., Shen, Z., dan Feng, C. 2016. Contribution of the upper river, the estuarine region, and the adjacent sea to the heavy metal pollution in the Yangtze Estuary. *Chemosphere*, 155, 564-572.
- Zhang, H., dan M. Reynolds. 2019. Cadmium Exposure in Living Organism: A Short Review. *Science Of the Environment*, 678(1): 761-767.
- Zhuang, W., dan Gao, X. 2015. Distributions, sources and ecological risk assessment of arsenic and mercury in the surface sediments of the southwestern coastal Laizhou Bay, Bohai Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 99(1-2), 320-327.