

ARTIKEL REVIEW : EFEK PENCEMARAN AIR JANGKA PANJANG DI SUNGAI YANGTZE, CHINA

Nova Fajarna^{1*}, Munzilin², Firdus^{3*}, Muhammad Nasir⁴, Alia Rizki⁵

Departemen Biologi, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia^{1,2,3,4,5}

*Corresponding Author : firdus.usk@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Yangtze merupakan sungai terbesar ketiga di dunia yang kini telah tercemar oleh bahan-bahan pencemar seperti logam berat, mikroplastik dan lain sebagainya. Pencemaran ini diduga terjadi karena adanya aktivitas-aktivitas industri, pertanian, dan permukiman yang mana limbahnya tidak dikelola dengan semestinya sehingga limbahnya menimbulkan dampak yang sangat luas. Adapun tujuan dari artikel *review* ini adalah untuk mengetahui jenis pencemaran apa saja yang ada di sungai Yangtze beserta efek yang ditimbulkan, baik untuk lingkungan maupun kesehatan makhluk hidup. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *literature review*, dimana *literature* yang digunakan merupakan *literature* yang bersangkutan dengan pencemaran air yang ada di sungai Yangtze, China. Pencarian *literatur review* ini dilakukan dengan empat prosedur, yaitu identifikasi, *skrining*, kelayakan dan penerimaan. Hasil yang didapatkan kemudian dijelaskan secara deskriptif dan akan dijabarkan dalam bentuk gambar. Hasil dari artikel *review* ini menunjukkan bahwa Shoal Nanhui Timur memiliki tingkat pencemaran Pb tertinggi, yaitu sebanyak 768, diikuti oleh beberapa lokasi lain seperti Pantai Yuanyuansha sebanyak 716 dan bagian bawah saluran Selatan sebanyak 692. Selain Pb, pencemaran seperti As, Cr, Pb, Zn, dan Ni juga terdapat di Kawasan sungai Yangtze, China. Sehubungan dengan rata-rata simpangan baku berlebih, tingkat pencemarannya adalah $Pb (8,34) > Cu (0,57) > Cr (0,37) > Zn (0,355) > Ni (0,352) > As (0,28) > Cd (0,00)$.

Kata kunci : logam berat, Pb, pencemaran air, sungai yangtze

ABSTRACT

The Yangtze River is the third largest river in the world and is currently polluted by contaminants such as heavy metals, microplastics, and others. This pollution is suspected to be caused by industrial, agricultural, and residential activities, where waste is not properly managed, leading to widespread impacts. The purpose of this review article is to identify the types of pollution present in the Yangtze River and their effects on both the environment and the health of living organisms. This study uses a literature review method, drawing on sources relevant to water pollution in the Yangtze River, China. The literature review process was carried out through four procedures: identification, screening, eligibility, and inclusion. The results were analyzed descriptively and will be presented in the form of visuals. Findings from this review article show that the East Nanhui Shoal has the highest level of Pb contamination, reaching 768, followed by other locations such as Yuanyuansha Beach with 716 and the lower part of the South Channel with 692. In addition to Pb, pollutants such as As, Cr, Pb, Zn, and Ni were also found in the Yangtze River region in China. Based on the average standard deviation, the pollution levels are as follows: $Pb (8.34) > Cu (0.57) > Cr (0.37) > Zn (0.355) > Ni (0.352) > As (0.28) > Cd (0.00)$.

Keywords : water pollution, yangtze river, heavy metals, Pb

PENDAHULUAN

Sungai Yangtze merupakan sungai terpanjang nomor tiga di dunia yang berada di Tiongkok yang berhulu di dataran tinggi Tibet, Qinghai yang melintasi 11 provinsi di Tiongkok. Adapun sungai Yangtze ini bermuara di Laut Cina Timur yang berada di Shanghai. Sungai Yangtze ini disebut juga sebagai sungai induk di Tiongkok karena sungai ini menyediakan layanan yang sangat diperlukan untuk mendukung kesejahteraan manusia (Xia *et al.*, 2021). Sungai Yangtze merupakan sumber air minum yang penting bagi masyarakat yang

berada di kota-kota pesisir. Sungai ini bahkan memiliki posisi strategis yang penting dalam pembangunan sosial-ekonomi secara keseluruhan (Jin *et al.*, 2022). 40 tahun setelah reformasi dan keterbukaan, ekonomi Tiongkok telah membuat prestasi yang terkenal di dunia. Namun, model pembangunan ekonomi yang luas juga telah meningkatkan beban pada lingkungan ekologis. Industrialisasi dan urbanisasi telah menghasilkan sejumlah besar air limbah industri yang telah meningkatkan polusi dalam sungai-sungai di Tiongkok dan menyebabkan kerusakan lingkungan akuatik (Xu *et al.*, 2022).

Berkembangnya industri tanpa adanya proses pengelolaan limbah dengan baik inilah yang kemudian menjadi salah satu faktor besar dalam proses pencemaran yang ada di sungai Yangtze. Semenjak reformasi ekonomi dimulai pada tahun 1979, pertumbuhan ekonomi yang luar biasa telah dikaitkan dengan kampanye eksploitasi besar-besaran di cekungan Sungai Yangtze. Keanekaragaman hayati perairan juga telah menurun sejak tahun 1980-an sebagai akibat dari bendungan dan peningkatan polusi antropogenik (Xia *et al.*, 2021). Sungai Yangtze adalah zona ekonomi penghasil limbah utama di Tiongkok dengan pembuangan limbah industri sekitar 35% dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan aktivitas sosial ekonomi ini mengakibatkan pembuangan polutan antropogenik yang menyebabkan mekarnya alga yang belum pernah terjadi sebelumnya dan kepunahan cepat spesies langka di Sungai Yangtze (Qi *et al.*, 2023). Spesies ikan yang secara historis berlimpah dan penting secara ekonomi di Sungai Yangtze, seperti ikan mas hitam (*Mylopharyngodon piceus*), ikan mas rumput (*Ctenopharyngodon idellus*), ikan mas perak (*Hypophthalmichthys molitrix*), dan ikan mas kepala besar (*Aristichthys nobilis*) juga dilaporkan menurun secara drastis antara tahun 2000 dan 2010 (Xia *et al.*, 2021).

Pencemaran air ini merupakan salah satu pencemaran yang berkelanjutan dan memiliki efek dalam jangka panjang dengan berbagai macam efek yang dapat ditimbulkan jika tidak segera diatasi. Salah satu penyebab kerusakan yang perlu diwaspadai adalah pencemaran akibat logam berat. Logam berat sering kali dapat menimbulkan efek karsinogenik yang dapat membahayakan bagi kehidupan. Adanya industri dan pertanian yang maju dan populasi yang padat di hilir Sungai Yangtze mengakibatkan munculnya polusi logam berat yang sangat luas dan serius. Akibatnya, resiko karsinogenik dan non-karsinogenik dapat ditimbulkan bagi masyarakat yang mengkonsumsi atau menggunakan air dari sungai Yangtze tersebut (Jin *et al.*, 2022). Arsenik, kadmium dan kromium merupakan polutan vital yang dibuang dalam air limbah, dan industri merupakan penyumbang signifikan terhadap polutan berbahaya. Polusi air tersebut terkait erat dengan pertanian. Pestisida, pupuk nitrogen dan limbah pertanian merupakan penyebab utama dari terjadinya polusi air (Chen *et al.*, 2019).

Terdapat berbagai macam ragam pencemaran lainnya yang terdapat di sungai Yangtze China. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya pengelolaan berkelanjutan membuat pencemaran yang terus berkelanjutan. Selain itu, kemarau yang terus menerus juga telah mengakibatkan krisis kekurangan sumber air bersih di lingkungan tersebut. Salah satu contoh pencemaran lainnya adalah pencemaran mikroplastik (Qin, 2010). Polusi industri dalam sistem air tawar merupakan salah satu masalah kualitas air terbesar saat ini. Sistem air tawar memiliki beberapa fungsi penting, seperti penyediaan air minum, penangkapan ikan dan lain sebagainya. Karena dikelilingi oleh kepadatan populasi yang tinggi, dan aktivitas antropogenik yang intensif, berbagai kontaminan termasuk mikroplastik kini telah terjadi di sungai Yangtze China (Strokal *et al.*, 2021).

Penggunaan industri skala besar dimulai sejak pertengahan abad ke-20 dan hingga sekarang masih banyak digunakan dalam pengemasan, elektronik, pertanian, dan banyak aplikasi lainnya. Adapun Tiongkok merupakan produsen industri terbesar di dunia. Pada tahun 2019, 31% industri dunia (368 juta ton) diproduksi di Tiongkok. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan *litareture review* untuk mengkaji tentang efek dari pencemaran air yang terjadi di sungai Yangtze China (Zhang *et al.*, 2021). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa

polusi mikroplastik di cekungan Yangtze sangatlah serius, terutama di daerah paling urban di Tiongkok (Di dan Wang, 2018; Li *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020) dan bahwa potensi risiko ekologisnya tidak boleh diabaikan (Xiong *et al.*, 2019). Hingga saat ini, beberapa penilaian risiko awal telah dilakukan (Xu *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022), namun tidak satu pun dari penilaian tersebut mempertimbangkan kualitas data (Ruijter *et al.*, 2020; Koelmans *et al.*, 2019) atau memecahkan ketidaksesuaian data paparan dan dampak (Koelmans *et al.*, 2020).

Untuk itu, dikembangkan sebuah program guna mengambil sampel sedimen dan menganalisis konsentrasi logam berat di muara Sungai Yangtze. Sampel diambil dari tiga beting (Dangkalan Nanhui Timur, Dangkalan Jiuduansha, dan Dangkalan Hengsha Timur) serta dari dua lintasan (Lintasan Selatan dan Lintasan Utara) (Liu *et al.*, 2020; Cheng *et al.*, 2024). Hasil penelitian terkait konsentrasi logam berat dalam sedimen ini dapat menjadi acuan dalam merancang dan mengevaluasi pemanfaatan ekologis tanah hasil kerukan di kawasan pesisir serta mendukung upaya pemulihan lingkungan di sekitar sungai Yangtze. Selain itu, analisis dan evaluasi tingkat risiko pencemaran logam berat juga berperan penting dalam meningkatkan kualitas lingkungan lokal serta memandu kegiatan pemantauan dan pengelolaan lingkungan di masa depan di wilayah tersebut.

Adapun tujuan dari artikel *review* ini adalah untuk mengetahui jenis pencemaran apa saja yang ada di sungai Yangtze beserta efek yang ditimbulkan, baik untuk lingkungan maupun kesehatan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *literature review*, dimana *literature* yang digunakan merupakan *literature* yang bersangkutan dengan pencemaran air yang ada di sungai Yangtze, China. Pencarian *literatur review* ini dilakukan dengan empat prosedur, yaitu identifikasi, *skrining*, kelayakana dan keterimaan. Tahap identifikasi dilakukan dengan cara mencari artikel-artikel di *google* yang kemudian artikel tersebut akan di *skrining* atau disaring kembali artikel yang terduplikasi. Selanjutnya adalah tahap penentuan kelayakan dari artikel dengan cara membaca judul dan abstrak setiap artikel. Jika artikel yang didapatkan dianggap layak dan bersangkutan dengan tema *review* yang dilakukan, maka artikel tersebut akan diterima karena telah memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusinya dapat meliputi penyebab pencemaran air, organisasi yang terlibat dalam pencemaran air, serta penyakit yang ditimbulkan oleh pencemaran air di sungai Yangtze, China.

Pencarian artikel dilakukan pada bulan Maret 2025 dengan mengutamakan artikel-artikel dari 10 tahun terakhir atau penelitian-penelitian terbaru. Pencarian artikel dilakukan di *google* dengan menggunakan kata kunci seperti: *Water pollution in the Yangtze River*, *water pollution disease in the Yangtze river*, *causes of pollution of the Yangtze river*, dan lain sebagainya. Data atau informasi yang didapatkan kemudian akan dianalisis secara deskriptif serta akan dijabarkan dalam bentuk tabel dan gambar.

HASIL

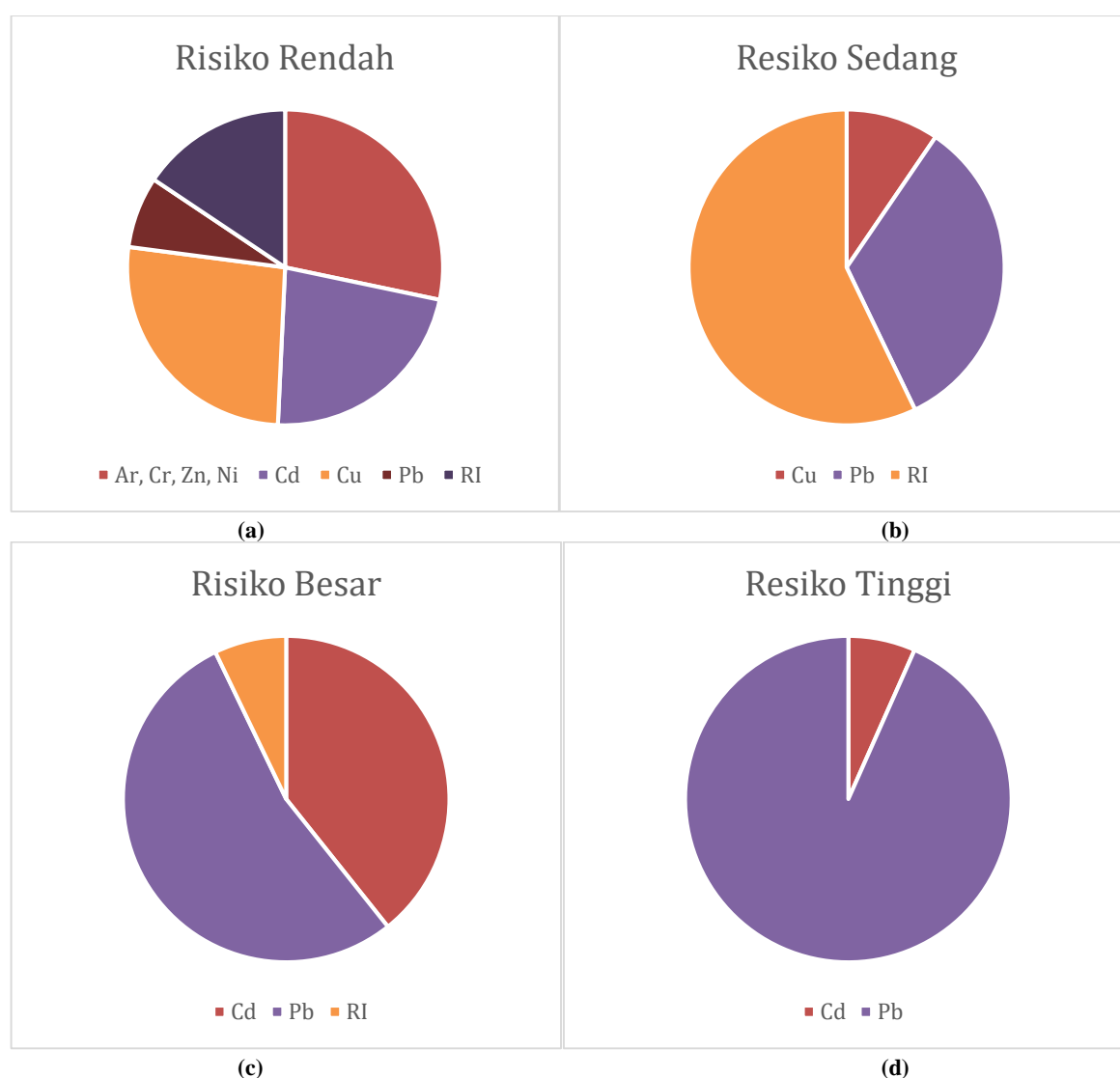
Berikut ini merupakan beberapa lokasi yang diduga memiliki pencemaran logam berat yang berupa Pb terbanyak di sekitar sungai Yangtze China menurut Liu *et al.* (2024) :

Tabel 1. Lokasi Pencemaran Logam Berat Pb Terbanyak di Sekitar Sungai Yangtze

No.	Daerah	Konsentrasi Rata-Rata Pb
1.	<i>Lower section of South Channel</i>	692
2.	<i>Yuanyuansha section</i>	434

3.	<i>North passage section</i>	387
4.	<i>Sout passage section</i>	449
5.	<i>Lower beach of South channel</i>	387
6.	<i>Yuanyuansha beach</i>	716
7.	<i>Beach of North passage</i>	385
8.	<i>East hengsha shoal</i>	364
9.	<i>Jiuduansha shoal</i>	303
10.	<i>East nanhui shoal</i>	768

Pencemaran Pb sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh. Senyawa timbal yang masuk ke dalam tubuh dapat memengaruhi metabolisme tubuh. Efek toksik logam Pb dapat menghambat pembentukan Hb, kerusakan pada sistem saraf, sistem urinaria, sistem reproduksi, sistem kardiovaskuler, dan ginjal (Ambarwati *et al.*, 2021). Adapun beberapa logam berat yang dijumpai dalam sungai Yangtze China menurut Liu *et al.* (2024) adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Besarnya Risiko Ekologi Logam Berat di Sungai Yangtze, China. (a) Risiko rendah, (b) Risiko sedang, (c) Risiko besar, (d) Risiko tinggi

Logam berat merupakan suatu bahan pencemar yang sering kali kita jumpai dalam air yang biasanya disebabkan oleh pembuangan limbah industri, limbah rumah tangga, pertanian, dan

lain sebagainya. Patriani *et al.* (2023) dalam tulisannya menyatakan bahwa timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang secara alami ada di dalam kerak bumi. Logam ini terdistribusi dalam jumlah kecil di alam. Pb ini diduga dapat mencemari lingkungan karena tidak dapat terurai secara biologis dan toksisitasnya yang tidak berubah.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan, indeks risiko untuk logam berat As, Cr, Zn, dan Ni secara konsisten diamati berada pada level rendah di semua lokasi pengambilan sampel. Hasil evaluasi Cu menunjukkan bahwa beberapa sampel berada pada level sedang. Namun, hasil evaluasi Cd dan Pb perlu diperhatikan, terutama untuk Pb, level risiko masing-masing sebesar 25,86% dan 24,14% dari sampel mencapai level cukup dan tinggi. Dalam hal nilai maksimum, risiko Cd dan Pb telah mencapai level tinggi. Menurut nilai rata-rata, risiko Pb juga berada pada level cukup. Hasil indeks RI menunjukkan bahwa 44,83% lokasi pengambilan sampel berada pada risiko sedang atau lebih tinggi. Secara keseluruhan, wilayah studi berada pada risiko rendah berdasarkan rata-rata indeks.

Menurut kelipatan standar berlebih maksimum, Pb, Cu, Ni, Cd dan Zn tercemar di beberapa lokasi pengambilan sampel. As dan Cr berada dalam keadaan tidak tercemar. Sehubungan dengan rata-rata simpangan baku berlebih, tingkat pencemarannya adalah seperti yang diuraikan berikut ini, yaitu $Pb (8,34) > Cu (0,57) > Cr (0,37) > Zn (0,355) > Ni (0,352) > As (0,28) > Cd (0,00)$. Hanya rata-rata kelebihan kelipatan baku Pb yang lebih besar dari 1 dan rata-rata konsentrasinya dua kali lipat dari ambang batas kelas III, yang mencerminkan Pb dalam keadaan pencemaran berat. Dalam hal konsentrasi Pb, 38 lokasi pengambilan sampel (65,52% dari total titik sampel) melebihi ambang batas kelas III, 7 lokasi (12,07% dari total titik sampel) melebihi ambang batas kelas II, 9 lokasi (15,52% dari total titik sampel) melebihi ambang batas kelas I dan 4 lokasi (6,90% dari total titik sampel) bebas pencemaran, yang menunjukkan Pb adalah logam berat yang paling tercemar dalam penelitian ini dan memerlukan perhatian lebih untuk pemulihan ekologis.

Berdasarkan penelitian, dikemukakan bahwa sumber logam berat ini terutama berasal dari aktivitas manusia, seperti industri dan limbah dibuang ke badan air alami (Ye *et al.*, 2020). Keberadaan lahan industri di muara membuat dampak aktivitas industri tidak dapat dihindari. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa As berasal dari pertambangan, penyulingan dan limbah industri lainnya, dan Ni juga berasal dari kawasan industri (Liu *et al.*, 2019). Pb umumnya ditemukan dalam agen *antiknock* pada bahan bakar bensin dan solar. Tingginya tingkat emisi kendaraan bermotor dan tumpahan kapal dapat menyebabkan kontaminasi yang signifikan, sementara senyawa anti korosi yang mengandung Pb sering ditambahkan ke lapisan laut yang dapat menyebabkan tingginya konsentrasi Pb dalam sampel (Abdollahi *et al.*, 2013). Penelitian ini menggunakan Analisis korelasi untuk mengetahui homologi logam berat yang berbeda. Seperti Cr, Pb, Zn, Ni yang menunjukkan korelasi yang signifikan. Berdasarkan hasil perhitungan, indeks risiko untuk logam berat As, Cr, Zn, dan Ni secara konsisten diamati berada pada level rendah di semua lokasi pengambilan sampel. Hasil evaluasi Cu menunjukkan bahwa beberapa sampel berada pada level sedang. Namun, hasil evaluasi Cd dan Pb perlu diperhatikan, terutama untuk Pb, level risiko masing-masing sebesar 25,86% dan 24,14% dari sampel mencapai level cukup dan tinggi. Dalam hal nilai maksimum, risiko Cd dan Pb telah mencapai level tinggi. Menurut nilai rata-rata, risiko Pb juga berada pada level cukup.

Hasil indeks RI menunjukkan bahwa 44,83% lokasi pengambilan sampel berada pada risiko sedang atau lebih tinggi. Secara keseluruhan, wilayah studi berada pada risiko rendah berdasarkan rata-rata indeks RI. Sesuai dengan peraturan yang diuraikan dalam "Kualitas Sedimen Laut" Tiongkok (GB18668-2002), ada tiga kategori Indeks Geoakumulasi rata-rata wilayah tersebut diperingkat sebagai berikut: $Pb > Cd > Cu > Zn > As > Ni > Cr$. Di antara semuanya, Pb sangat tercemar, Cd cukup tercemar dan logam berat lainnya (As, Cr, Cu, Zn,

Ni) berada dalam kondisi tidak tercemar, yang menunjukkan bahwa Pb merupakan unsur pencemar utama di muara Sungai Yangtze. Dengan mempertimbangkan lokasi pengambilan sampel secara individual, hanya indeks Cr dan Zn yang berada dalam kondisi tidak tercemar, dan ada beberapa lokasi pengambilan sampel yang konsentrasi Cu-nya sangat tercemar. Yang paling serius adalah indeks maksimum Pb yang mendekati tingkat sangat tercemar.

Konsentrasi di semua titik pengambilan sampel pada tingkat $p < 0,01$, seperti yang menunjukkan logam berat di Sungai Yangtze kemungkinan memiliki asal yang sama. Komponen utama pertama (PC1) mencakup 46,25% varian, persentase ini (*Variance Accounted For*) dapat digunakan sebagai ukuran seberapa besar pengaruh variabel terhadap total varian. Secara umum, semakin besar *Variance Accounted For*, maka akan semakin tinggi kontribusi variabel terhadap total varian. As, Cr, Pb, Zn, Ni ini semua memiliki muatan positif yang tinggi pada komponen utama. Analisis korelasi Pearson terhadap logam berat di atas menunjukkan korelasi yang signifikan satu sama lain. Cu merupakan penyumbang utama PC2. Cu banyak digunakan dalam produksi industri seperti pengecatan dan pelapisan listrik serta ditemukan dalam fungisida dan pupuk yang umum digunakan dalam pertanian (Mathivanan *et al*, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa sumber Cu kemungkinan besar berasal dari limbah industri dan kegiatan pertanian. Selain itu, mengingat sebagian besar lokasi pengambilan sampel berada di saluran, terdapat pula potensi kontaminasi Cu dari navigasi kapal yang sudah tua (Dwivedi *et al*, 2014).

Cd mempunyai muatan positif yang tinggi pada PC3, Cd mungkin berasal dari limbah yang dikeluarkan oleh fasilitas kimia yang bergerak di bidang pembuatan baterai dan produk kimia (An *et al.*, 2010). Karena karakteristik kedua jalur tersebut, volume kapal yang melintasi jalur tersebut setiap hari cukup besar, sehingga mengakibatkan kebocoran bahan bakar dan polusi emisi yang tidak dapat dihindari. Selain itu, pengoperasian kapal barang yang terus menerus mengakibatkan potensi kerusakan dan pelepasan lapisan pelindung korosi permukaan yang menua ke dalam air, sehingga memperbesar jalur kontaminasi Pb. Akibatnya, dihipotesiskan bahwa Pb berasal dari sumber-sumber seperti kebocoran bahan bakar, emisi gas buang, dan lapisan antikorosi. Mengenai Cd, mengingat dekatnya beberapa pabrik kimia, diasumsikan bahwa pabrik-pabrik tersebut mungkin menjadi asal utama Cd.

Tingkat Ni dan Cd di muara Sungai Yangtze serupa dengan yang ditemukan di daerah lain. Konsentrasi Zn adalah yang terendah di antara daerah yang dipilih untuk perbandingan. Lebih jauh, konsentrasi As hanya lebih tinggi dari muara Sungai Brisbane dan berada pada tingkat yang relatif rendah. Masalah yang paling memprihatinkan adalah pencemaran Pb, dengan konsentrasi rata-rata tertinggi di enam daerah yang dipilih. Jika dibandingkan dengan muara lain di Tiongkok atau negara lain, maka konsentrasi Pb di muara Sungai Yangtze lebih tinggi. Pb menunjukkan konsentrasi tertinggi di antara tujuh logam berat yang diteliti dalam penelitian ini. Logam tersebut dipilih sebagai unsur indikator untuk analisis pencemaran spasial di wilayah tersebut. Penelitian difokuskan pada analisis distribusi spasial pencemaran yang disebabkan oleh Pb, dan nilai rata-rata serta kelipatan kelebihan Pb di sepuluh sub wilayah. Rata-rata kelipatan standar kelebihan Pb di 10 sub wilayah semuanya melebihi lima, dan konsentrasi rata-rata Pb di setiap sub wilayah melampaui ambang batas kelas III.

Berdasarkan data tabel 1, Beting Nanhui Timur tercatat sebagai sub-area yang paling terkontaminasi, diikuti secara berturut-turut oleh Pantai Yuanyuansha, bagian hilir Saluran Selatan, wilayah Lintasan Selatan, area Yuanyuansha, kawasan Lintasan Utara, pantai hilir Saluran Selatan, pantai Lintasan Utara, Beting Hengsha Timur, dan Beting Jiuduansha. Konsentrasi Pb (timbang) dalam sedimen dari Lintasan Utara dan Lintasan Selatan ditemukan lebih rendah dibandingkan dengan Beting Nanhui Timur, namun lebih tinggi dibandingkan Beting Hengsha Timur dan Beting Jiuduansha. Temuan ini mengindikasikan bahwa sedimen dari saluran air dalam di Muara Sungai Yangtze (*South Passage* dan *North Passage*) berpotensi dimanfaatkan untuk mendukung pemulihan ekologi di Beting Nanhui Timur. Dengan meninjau

lokasi pengambilan sampel dan pola distribusi spasial logam berat di sepuluh sub-area, penelitian ini memberikan wawasan yang dapat menjadi acuan dalam penerapan tanah hasil kerukan untuk tujuan ekologis. Berdasarkan analisis data pada Gambar 1, terlihat bahwa kandungan Pb yang diukur menggunakan metode ekstraksi Tessier merupakan yang paling tinggi dibandingkan logam berat lainnya. Meskipun demikian, sebagian besar timbal berada dalam bentuk residu, yang mengindikasikan bahwa potensi dampaknya terhadap lingkungan tergolong rendah.

KESIMPULAN

Shoal Nanhui Timur memiliki tingkat pencemaran Pb tertinggi, diikuti oleh beberapa lokasi lain seperti Pantai Yuanyuansha dan bagian bawah saluran Selatan. Meskipun Pb memiliki konsentrasi rata-rata tertinggi, sebagian besar berada dalam bentuk residu dengan dampak lingkungan yang minimal. Sementara itu, pencemaran Cu bervariasi dari tingkat sedang hingga tinggi di beberapa lokasi, sehingga memerlukan perhatian lebih lanjut. Logam berat seperti As, Cr, Pb, Zn, dan Ni menunjukkan korelasi signifikan, mengindikasikan kemungkinan asal yang sama. Untuk rehabilitasi ekologis, tanah kerukan dari area yang terkontaminasi ringan dapat digunakan kembali di area yang lebih tercemar dengan prioritas utama pada wilayah Lintasan Utara. Karena tingkat polusi di Lintasan Selatan lebih tinggi, tanah kerukan dari Lintasan Utara diprioritaskan untuk pemulihan ekologi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing dan pengampu yang telah membantu dan membimbing penulis dalam penulisan jurnal serta telah memberikan materi yang bermanfaat serta mendukung pembuatan jurnal beserta seluruh teman-teman penulis di Mata Kuliah Toksikologi Lingkungan yang telah mendukung penulis dalam masa penyelesaian penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahi, Z. Raoufi, I. Faghiri, A. Savari, Y. Nikpour, A. Mansouri. (2013). *Contamination Levels and Spatial Distributions of Heavy Metals and Pahs In Surface Sediment Of Imam Khomeini Port, Persian Gulf, Iran. Marine Pollution Bulletin*, 71(1), 336–345.
- An, Q., Wu, Y., Wang, J., & Li, Z. (2010). *Assessment of Dissolved Heavy Metal In The Yangtze River Estuary and Its Adjacent Sea, China. Environmental Monitoring and Assessment*, 164, 173-187.
- Dwivedi, A. K., & Vankar, P.S. (2014). *Source Identification Study of Heavy Metal Contamination In The Industrial Hub Of Unnao, India. Environmental Monitoring and Assessment*. 186(6), 3531–3539.
- Ambarwati, N. F., Sinaga, E. M., & Gultom, E (2021). Analisis Tingkat Keracunan Logam Berat Pb pada Tukang Becak dan Pedagang Asongan di Jalan Kapten Muslim Medan. *Klinikal Sains: Jurnal Analisis Kesehatan*, 9(1), pp. 8-14.
- Arianti, R. P., Atifah, Y., & Vauziah (2023). Pengaruh Pencemaran Air Terhadap Histopatologi Insang Ikan: Literature Review. *Serambi Biologi*, 8(2), 138-151.
- Chen, B., Wang, M., Duan, M., Ma, X., Hong, J., Xie, F., Zhang, R., & Li, X. (2019). *In Search of Key: Protecting Human Health and The Ecosystem From Water Pollution In China. Journal Of Cleaner Production*, 228, 101-111.
- Cheng, H., Wang, T., & Yang, D. (2024). *Future Water Resource Changes In The Yangtze River Basin Under The Influences Of Climate Change and Human Activities. European*

- Geosciences Union General Assembly*, 2024 Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024, EGU24-11078,
- Di, M., & Wang, J. (2018). *Microplastics In Surface Waters and Sediments of The Three Gorges Reservoir*, China. *Science of The Total Environment*, 616, 1620-1627.
- Jin, Y., Zhou, Q., Wang, X., Zhang, H., Yang, G., Lei, T., Mei, S., Yang, H., Liu, L., Yang, H., Lv, J. & Jiang, Y. (2022). *Heavy Metals in The Mainstream Water of The Yangtze River Daownstream: Distribution, Source and Health Risk Assessment*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 1-17.
- Koelmans, A. A., Mohamed, N. H., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & France, J. D. (2019). *Microplastics In Freshwaters and Drinking Water: Critical Review and Assessment of Data Quality*. *Water Research*, 155, 410-422.
- Koelmans, A. A., Redondo-Hasselerharm, P. E., Mohamed Nor, N. H., Kooi, M. (2020). *Solving the Nonalignment of Methods and Approaches Used in Microplastic Research to Consistently Characterize Risk*. *Environmental Science & Technology*, 54 (19), 12307-12315.
- Li, L., Geng, S. X., Wu, C. X., Song, K., Sun, F. H., Visvanathan, C., Xie, F. Z., Wang, Q. L. (2019). *Microplastics Contamination in Differenrt Trophic State Lakes Along the Middle and Lower Reaches of Yangtze River Basin*. *Environmental Pollution*. 254, 112951.
- Li, Y. B., Lu, Z. B., Zheng, H. Y., Wang, J., Chen, C. (2020). *Microplastics in Surface Water and Sediment of Chongming Island in The Yangtze Estuary*, China. *Environmental Science*, 32(15), 1-12.
- Liu, L. Guo, C. Men, Q. Wang, Y. Miao, Z. Shen. (2019). *Spatial-Temporal Variation of Heavy Metals Sources In The Surface Sediments of The Yangtze River Estuary*. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 526–533.
- Liu, X., Chen, Z., Wu, J., Cui, Z., & Su, P. (2020). *Sedimentary Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Along The Mouth Bar of The Yangtze River Estuary: Source, Distribution, and Potential Toxicity*. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111494.
- Liu, X. Ding, C., Qin., Zhang, Y., Jiang, Y., Li, Z., Wu, J., & Cheng, H. (2024). *Poullution Characteristic, Distribution and Risk Level of Heavy Metals in Sediments of The Ynagtze River Estuary*. *Heliyon*, 10, 1-13.
- Mathivanan, S., Chidambaram, A. A., Sundramoorthy, P., Baskaran, L., & Kalaikandhan, R. (2014). *Effect of Combined Inoculations of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on the Growth and yield of groundnut (Arachis hypogaea L.)*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(8), 1010-1020.
- Patriani, H., Nugraha, F., & Kurniawan, H. (2023). Uji Kualitatif Lindan Penetapan Kadar dengan Metode *Spiking* pada Logam PB di Dalam Minuman Kopi Kaleng. *Jurnal Syifa Sciences and Clinical Research*, 5(1), 22-30.
- Ruijter, V. N. D., Hasselerharm, P. E. R., Gouin, T., & Koelmans, A. A. (2020). *Quality Criteria For Microplastic Effect Studies In The Context Of Risk Assessment: A Critical Review*. *Environmental Science & Technology*, 54(19), 11692-11705.
- Strokal, M., Bai, Z., Franssen, W., Hofstra, N., Koelsmans, A. A., Ludwig, F., Ma, L., Puijenbroek, P. V., Spanier, J. E., Vermeulen, L. C., Vliet, M. T. H. V., Wijnen, J. K., & Kroeze. (2021). *Urbanization: An Increasing Source of Multiple Pollutants To Rivers In The 21st Century*. *Nature Partner Journal Urban Sustainability*, 1 (24), 1-13.
- Qi, W., Wang, X., Kang, J., Bai, Y., Bian, R., Xue, H., Chen, L., Guan, A., Pan, Y. R., Liu, H., & Qu, J. (2023). *Improvement of The Yangtze River's Water Quality With Substantial Implementation of Wastewater Services Infrastructure Since 2013*. *Engineering*, 21, 135-142.

- Qin, B., Zhu, G., Gao, G., Zhang, G., Zhang, Y., Li, W., Pearl, H. W., & Carmichael, W. W. (2010). *A Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China: Linkage to Climatic Variability and Lake Management*. *Environmental Management*, 45, 105-112.
- Xia, J., Li, Z., Zeng, S., Zou, L., She, D., & Cheng, D. (2021). *Perspective on Eco-Water Security and Sustainable Development in The Yangtze River Basin*. *Geoscience Letters*, 8(18), 1-9.
- Xiong, X., Wu, C., Elser, J. J., Mei, Z., Hao, Y. (2019). *The Emergence and Fate of Microplastic Debris In The Middle and Lower Reaches of The Yangtze River - From Inland To The Sea*. *SciJurnal Lingkungan*. 659, 66-73.
- Xu, H., Gao, Q., & Yuan, B. (2022). *Analysis and Identification of Pollution Sources of Comprehensive River Water Quality: Evidence From Two River Basins In China*. *Ecological Indicators*, 135, 1-13.
- Xu, P., Peng, G., Su, L., Gao, Y., Gao, L., Li, D. (2018). *Microplastic Risk Assessment In Surface Waters: A Case Study In The Changjiang Estuary, China*. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 647–654.
- Ye, Z., Chen, J., Gao, L., Liang, Z., Liang, Z., Li, S., Li, R., Jin, G., Shimizu, Y., Onodera, S. I., Saito, M., & Gopalakrishnan, G. (2020). *²¹⁰Pb Dating to Investigate The Historical Variations and Identification of Different Sources of Heavy Metal Pollution In Sediments of The Pearl River Estuary, Southern China*. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110670.
- Zhang, F., Peng, G., Xu, P., Zhu, L., Li, C., Wei, N., Li, D. (2022). *Ecological Risk Assessment of Marine Microplastics Using The Analytic Hierarchy Process: A Case Study In The Yangtze River Estuary and Adjacent Marine Areas*. *Journal of Hazardous Materials*. 425, 127960.
- Zhang, X., Leng, Y., Liu, X., Huang, K., Wang, J. (2019). *Microplastics' Pollution and Risk Assessment In An Urban River: A Case Study of The Yongjiang River, Nanning City, South China*. *Exposure and Health*, 12 (2), 141–151.
- Zhang, Z., Deng, C., Dong, L., Liu, L., Li, H., Wu, J., & Ye, C. (2021). *Microplastic Pollution in The Yangtze River Basin: Heterogeneity of Abundances and Characteristics in Different Environments*. *Environmental Pollution*, 287, 117580.