
Pencemaran Merkuri di Pesisir dan Laut: Dampak, Strategi Pemantauan, Mitigasi serta Arah Penelitian di Indonesia

I Putu Sugiana¹, Putu Yudi Aditya Putri², Maestro Munru³

¹Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Universitas Udayana, Denpasar-Bali

^{2,3}Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor-Jawa Barat

E-mail: Sugianaserangan@gmail.com¹

Article History:

Received: 02 Juli 2023

Revised: 22 Juli 2023

Accepted: 23 Juli 2023

Keywords: *Aktivitas Industri, Eksploitasi, Pertambangan, Kesehatan Manusia Dan Lingkungan*

Abstract: *Pencemaran merkuri di perairan Indonesia telah menjadi masalah karena jumlahnya yang semakin meningkat, serta memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Pencemaran ini disebabkan oleh aktivitas industri, pertambangan, dan eksploitasi tambang emas rakyat. Konsentrasi merkuri di beberapa perairan di Indonesia telah melebihi batas yang ditetapkan oleh standar pemerintah Indonesia dan internasional. Pencemaran merkuri di lingkungan laut dan pesisir telah mengancam ekosistem dan kesehatan manusia yang mengkonsumsi ikan dan produk laut lainnya. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan strategi efektif dalam mengurangi atau menghilangkan pencemaran merkuri. Upaya strategi yang diperlukan mencakup pengendalian sumber, pemantauan konsentrasi merkuri di lingkungan, dan tindakan mitigasi. Studi ini mengumpulkan data melalui metode literatur review dan meta analisis dari makalah-makalah terkait pencemaran merkuri di perairan pesisir dan laut Indonesia. Hasil kajian ini dapat menjadi pedoman dalam pengelolaan dan mitigasi pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut, khususnya di Indonesia.*

PENDAHULUAN

Merkuri adalah logam berat yang memiliki sifat toksik dan dapat menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Logam ini dapat ditemukan di udara, tanah dan air terutama di daerah industri dan pertambangan (Sutamihardja, 2006). Logam Merkuri menjadi salah satu dari enam jenis logam berat lainnya yang memiliki efek toksisitas yang paling tinggi bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Setiyono dan Djiaidah, 2012). Merkuri dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui konsumsi ikan dan produk-produk perairan lainnya (Suratno, 2017; Makahenggang dkk, 2022), serta melalui paparan udara (Saeni, 1997) dan kontak langsung dengan kulit (Prihantini dan Hutagalung, 2018).

Pencemaran merkuri di perairan, termasuk di perairan Indonesia, menjadi masalah yang semakin meningkat di era modern ini. Indonesia memiliki banyak aktivitas industri dan pertambangan, serta kegiatan eksploitasi tambang emas rakyat, yang menjadi sumber utama pencemaran merkuri di perairan (Pratiwi dan Ariesyady, 2012). Konsentrasi merkuri di beberapa

perairan di Indonesia, termasuk di daerah pesisir dan laut, telah melebihi batas yang ditetapkan oleh standar pemerintah (Yusuf dkk, 2013), dan internasional (Natsir dkk., 2020). Tingkat kontaminasi merkuri ini menjadi perhatian serius bagi masyarakat, karena dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia yang mengkonsumsi ikan dan biota laut lainnya (Singga, 2013).

Pencemaran merkuri di lingkungan laut dan pesisir memiliki potensi bahaya yang besar bagi ekosistem dan kesehatan manusia. Kandungan merkuri dapat terakumulasi di jaringan biota laut, sehingga dapat berdampak pada meningkatnya risiko keracunan merkuri pada manusia yang mengkonsumsi hasil laut dari perairan yang terkontaminasi (Mason dkk, 2012). Merkuri dapat terakumulasi di dalam tubuh manusia jika terpapar melalui makanan laut yang terkontaminasi merkuri, seperti ikan dan kerang (Darmono, 1995; Pratiwi, 2020). Paparan merkuri dalam jangka panjang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti kerusakan sistem saraf, gangguan sistem imun, kerusakan ginjal, dan bahkan dapat menyebabkan kerusakan pada janin pada ibu hamil (Tri-Tugaswati dkk, 1992). Paparan merkuri pada anak-anak dapat menyebabkan kerusakan sistem saraf yang menyebabkan gangguan kognitif dan perilaku yang lebih buruk (Nuraini dkk, 2023). Selain itu, potensi pencemaran merkuri juga sering terpapar pada pekerja tambang emas dan pengolahan mineral sehingga memberikan dampak negatif bagi kesehatan manusia (Dewi dkk, 2013).

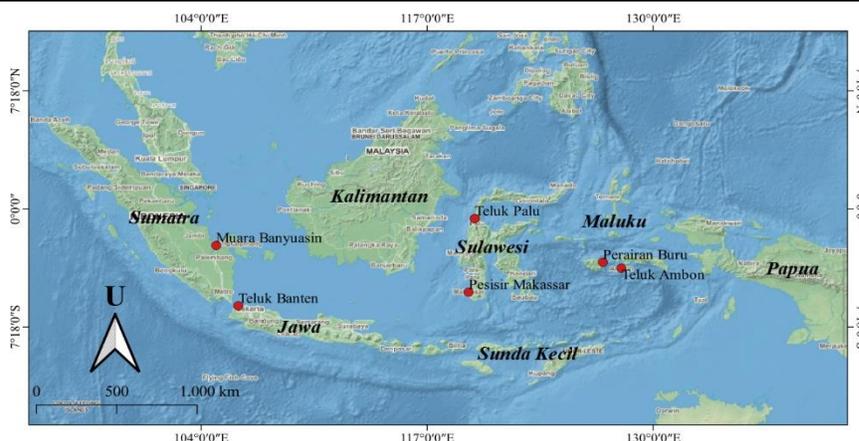
Pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut sangat berdampak pada kehidupan masyarakat serta keberlangsungan ekosistem laut. Oleh karena itu, perlu dilakukan penerapan strategi yang efektif dalam mengurangi atau menghilangkan pencemaran merkuri tersebut. Dalam kajian ini, kami merumuskan beberapa upaya strategi untuk mengurangi paparan merkuri baik dari melalui pengendalian sumber, pemantauan konsentrasi merkuri di lingkungan, dan tindakan mitigasi. Hasil kajian ini diharapkan dapat digunakan sebagai pedoman dalam pengelolaan dan mitigasi pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut khususnya di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Metode Pengambilan Data

Kami menggunakan metode literatur review yang ditentukan secara acak dari makalah yang tersedia di Clarivate Analytics Web of Knowledge (<http://webofknowledge.com>), Google Scholar (<http://scholar.google.com>), Scopus (<http://scopus.com>), Science Direct (<http://sciencedirect.com>), dan database "Sinta" (<http://sinta.dikti.go.id>), dengan kata kunci "Pencemaran Merkuri di Pesisir dan Laut Indonesia". Makalah yang direview terdiri dari 8 makalah terkait pencemaran merkuri di Pesisir dan Laut Indonesia dengan nilai konsentrasi yang melebihi baku mutu pada air, sedimen, dan biota serta literatur makalah review terkait strategi dalam pengelolaan dan mitigasi pencemaran merkuri di lingkungan perairan secara global. Kami menggunakan referensi 10 tahun terakhir yakni 2013 hingga 2023 (Gambar 1).

Data yang dikoleksi berupa lokasi, konsentrasi dan objek yang tercemar logam berat dianalisis secara spasial dengan luaran berupa peta sebaran wilayah pesisir dan laut, yang telah tercemar merkuri dengan menggunakan perangkat lunak QGIS 3.12. Selanjutnya kami mengkaji dari sumber dari pencemaran merkuri dari tiap literatur, serta kondisi dari lokasi kajian yang telah tercemar merkuri. Setelah diketahui sumbernya, kami merumuskan tata cara pengelolaan dari tiap kondisi lokasi yang dikaji, serta solusi yang sesuai untuk pengelolaan pencemaran limbah merkuri. Hasil review menampilkan beberapa pertanyaan terkait celah penelitian yang berpotensi dikembangkan di wilayah Indonesia.



Gambar 1. Sebaran lokasi paper pencemaran merkuri yang dicuplik sebagai referensi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Pencemaran Merkuri di Pesisir dan Laut Indonesia

Pencemaran merkuri telah ditemukan di beberapa pesisir dan laut Indonesia. Di Teluk Ambon, hampir semua media (air, sedimen dan biota ikan) telah tercemar merkuri hingga melebihi baku mutu. Sementara beberapa wilayah lainnya mengalami pencemaran merkuri pada air seperti di Teluk Palu, Muara Sungai Banyuasin (Sumatera Selatan), Perairan Cengklok, Teluk Banten, dan pesisir Pantai Losasi (Makassar). Di Teluk Palu juga terjadi pencemaran merkuri di Sedimen yang melebihi bakumutu. Sedangkan pada biota, pencemaran merkuri telah ditemukan di Perairan Marlosso dan Nametek (Maluku) pada lamun *Enhalus acoroides*, dan pesisir Pantai Losasi (Makassar) pada urin manusia (Tabel 1). Dari seluruh literatur yang direview, sebagian besar sumber dari pencemaran merkuri disebabkan oleh aktivitas pertambangan emas yang menggunakan merkuri sebagai pelarut, serta aktivitas industri di pesisir. Sebaran cemaran merkuri dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel. 1 Lokasi pencemaran merkuri di Indonesia yang melebihi baku mutu ditetapkan antar objek pengamatan (air, sedimen dan biota) (TT: tidak terukur, *: belum melebihi bakumutu)

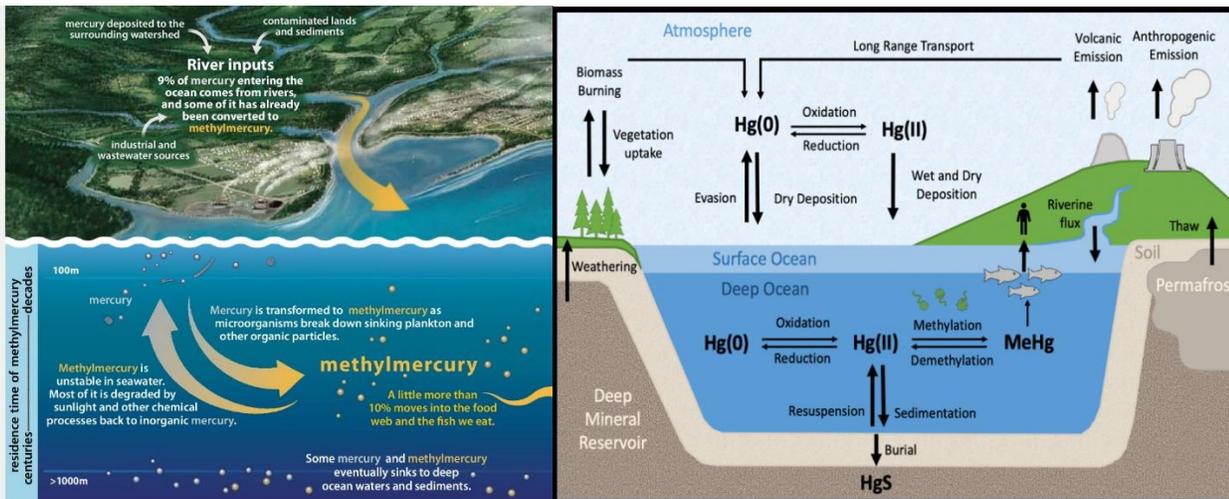
No	Lokasi	Konsentrasi Merkuri			Objek Tercemar	Sumber Pencemar	Pustaka
		Air (ppm) BM: 0.001	Sedimen (mg/kg) BM: 2 (Australia)	Biota (mg/kg) BM: 1			
1	Perairan Cengklok, Teluk Banten	0.000-0.002	0.005-0.020*	0.01-0.05*	Air	Kegiatan manusia: penukiman, pertanian, perikanan, pertambangan, dan industri	Sulistiono dkk. (2021)
2	Perairan Marlosso dan Nametek Kabupaten Buru Provinsi Maluku	TT	TT	Akar: 5,26- 16,71 Rhizoma: 3,97-11,93 Daun: 2,02-6,79	Lamun <i>Enhalus acoroides</i>	Pertambangan emas tradisional	Natsir dkk. (2020)
3	Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan	0,001 – 0,032	TT	TT	Air	Aktivitas pertanian, pertambangan, pembuangan air limbah kota dan Industri	Suteja dkk. (2019)
4	Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan	<0,001- 0,012	<0,001-0,011*	TT	Air dan sedimen	Kegiatan industri, bahan bakar, rumah tangga (domestik) dan pertanian	Barus, (2017)
5	Pesisir Kota Makassar	TT	1.550-1.871*	TT	Sedimen	Pengrajin emas di Kawasan Pantai Losari Makassar	Ishak. (2017).
6	Perairan Teluk Ambon	1.88 - 13.4	6.81 - 94.20	14.01 - 37.7 (Ikan apogon)	Air, sedimen dan ikan	Kegiatan industri di pesisir (tidak dijelaskan)	Rumahlatu dkk. (2016)
7	Pesisir Pantai Losari Kota Makassar	0.001-0.008	TT	Daging: 0.04-0.11* Urin: 0.811-6.589	Air, Kerang (<i>Marcia hiantina</i>), Urin manusia	Limbah industri plastik	Mallongi. (2014)
8	Teluk Palu	0.030 – 0.040	2.453 - 2.800	0.143 - 0.188* (Ikan Belanak)	Air dan sedimen	Pertambangan emas ilegal Poboya, Palu	Yusuf dkk. (2013)



Gambar 2. Sebaran cemaran merkuri pada beberapa objek di Indonesia

Mekanisme Transport Polutan Merkuri

Mekanisme transport pencemaran merkuri dari hulu ke hilir hingga terbuang di pesisir dan laut melibatkan banyak faktor dan kompleksitas dalam prosesnya. Berbagai faktor yang dapat mempengaruhi transpor merkuri antara lain penggunaan merkuri dalam kegiatan industri dan pertambangan, aliran air, kondisi geologi, dan aktivitas manusia. Skema transpor merkuri dari hulu sungai hingga menuju laut dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 3. Ilustrasi transpor merkuri dari darat menuju laut (kiri) dan Proses fisik dalam siklus biogeokimia merkuri (Chen dkk, 2012)

Penggunaan merkuri dalam kegiatan industri dan pertambangan menjadi sumber utama pencemaran merkuri di sungai dan laut. Industri pengolahan emas dan pertambangan sering menggunakan merkuri sebagai agen pengikat emas. Penggunaan merkuri ini menghasilkan limbah berbahaya yang kemudian dibuang ke sungai dan laut, sehingga merkuri terus terbawa oleh arus air ke hilir. Beberapa studi menunjukkan bahwa lokasi pertambangan emas berkontribusi pada konsentrasi merkuri yang tinggi di sungai dan air laut di beberapa daerah di Indonesia yakni Banten (Soprima, 2013), Halmahera Barat (Bernadus dan Rorong, 2021), Sulawesi Utara (Kitong dkk, 2012) Perairan Muara Sungai Banyuasin (Barus, 2017) dan Teluk Palu (Yusuf dkk, 2013).

Aliran air menjadi faktor penting dalam mekanisme transport merkuri dari hulu ke hilir. Arus

air dapat mengangkut merkuri jauh dari sumbernya, menghasilkan penyebaran merkuri ke daerah-daerah yang lebih luas. Selain itu, aliran air yang kuat dapat mengikis sedimen di dasar sungai yang mengandung merkuri, sehingga merkuri dilepaskan dan terbawa oleh arus air. Sebuah studi di sungai Tiabo menunjukkan bahwa merkuri memiliki kecenderungan untuk terakumulasi pada sedimen di dasar sungai dengan sebuah mekanisme pengendapan (Bernardus dan Rorong, 2021).

Kondisi geologi juga memainkan peran penting dalam mekanisme transport merkuri dari hulu ke hilir. Beberapa jenis batuan dan tanah mengandung lebih banyak merkuri daripada yang lain, sehingga sungai dan laut yang terletak di daerah ini cenderung mengandung lebih banyak merkuri. Selain itu, aktivitas vulkanik atau geothermal juga dapat menghasilkan emisi merkuri ke udara dan air (Grasby dkk, 2019). Studi di Teluk Kagoshima menunjukkan bahwa aktivitas vulkanik menjadi sumber merkuri yang signifikan di daerah tersebut (Ruiz dkk, 2015).

Selain itu, aktivitas manusia juga memperburuk mekanisme transport merkuri dari hulu sungai ke ekosistem laut. Penggundulan hutan dan pertanian intensif dapat meningkatkan erosi tanah, sehingga meningkatkan jumlah sedimen yang terbawa oleh arus air. Sedimen ini dapat mengandung merkuri, sehingga meningkatkan konsentrasi merkuri di sungai dan laut (Kitong dkk, 2012). Selain itu, limbah industri dan domestik yang dibuang ke sungai dan laut dapat meningkatkan konsentrasi merkuri di air (Arifin, 2008). Selanjutnya pencemaran merkuri juga dapat berdampak pada ekosistem laut dan terus terakumulasi di dalam organisme laut, seperti ikan (Narasiang dkk, 2015) (Gambar 3). Dimana hal ini berdampak pada kesehatan manusia yang mengkonsumsinya, dan dapat menyebabkan kerusakan kesehatan jangka panjang.

Dampak Pencemaran Merkuri di Pesisir dan Laut

Dampak Lingkungan

Pencemaran merkuri di Indonesia memiliki dampak yang sangat besar pada lingkungan. Merkuri yang dikeluarkan oleh industri tambang emas dan pertanian dapat mencemari air, udara, dan tanah di sekitarnya. Dalam air, merkuri dapat berubah menjadi metil merkuri, yang sangat beracun bagi organisme air dan memasuki rantai makanan (Jaishankar dkk, 2014). Hal ini dapat mengakibatkan kematian masal pada ikan dan hewan air lainnya, serta mempengaruhi kesehatan manusia yang mengkonsumsinya (Palar, 1994). Selain itu, pencemaran merkuri juga dapat mempengaruhi ekosistem di sekitarnya, mengganggu keseimbangan alam dan mengurangi keanekaragaman hayati (Lee dkk, 2018).

Dampak pencemaran merkuri juga dapat terlihat pada tanah dan udara. Tanah yang tercemar merkuri menjadi tidak subur dan menyebabkan vegetasi air tidak dapat tumbuh dengan baik, bahkan mati (Soemono, 2009). Selanjutnya, pencemaran merkuri pada tanah juga dapat menyebabkan keracunan pada hewan yang memakan tanaman atau tumbuhan di sekitarnya (Tan, 1991). Selain itu, dampak pencemaran merkuri pada tanah juga dapat mempengaruhi kualitas air di sekitarnya (Fahmi, 2000). Kemudian, dalam udara merkuri dapat tersebar dalam bentuk gas dan debu. Pencemaran udara oleh merkuri dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti iritasi paru-paru, asma, dan kanker (Ghorani-Azam dkk, 2016). Selain itu, merkuri juga dapat mempengaruhi iklim dan cuaca, mengakibatkan perubahan suhu dan curah hujan di wilayah yang terdampak (Chetelat dkk, 2022).

Dampak Kesehatan Manusia

Pencemaran merkuri memiliki dampak yang sangat berbahaya pada kesehatan manusia. Salah satu sumber terbesar dari paparan merkuri bagi manusia adalah melalui konsumsi ikan laut yang terkontaminasi merkuri. Ketika merkuri terbuang ke laut melalui limbah industri dan

pertambangan, ia kemudian dapat teroksidasi menjadi metil merkuri oleh mikroorganisme di dalam air laut (Adlim, 2016). Metilmerkuri ini kemudian dapat diabsorpsi oleh organisme tingkat rendah, yang kemudian dimangsa oleh organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi (Suseno dan Panggabean, 2007). Akibatnya, merkuri terakumulasi dalam ikan yang lebih besar, seperti hiu dan ikan tuna, dan akhirnya berakhir di manusia. Saat merkuri terakumulasi dalam tubuh manusia, maka logam tersebut menjadi racun yang dapat merusak sistem saraf, ginjal, dan sistem reproduksi (Darmono, 1995). Pada ibu hamil, merkuri dapat merusak perkembangan otak pada janin, mengganggu kemampuan belajar dan berperilaku normal pada anak (Palar, 2004). Selain itu, merkuri juga dapat memicu timbulnya penyakit kronis seperti penyakit jantung, diabetes, dan penyakit autoimun (Clarkson dkk, 2003).

Dampak Ekonomi dan Ketahanan Pangan

Pencemaran merkuri di pesisir dan laut dapat memiliki dampak ekonomi yang signifikan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pencemaran merkuri dapat menyebabkan terkontaminasinya ikan laut dan hasil laut lainnya. Hal ini berdampak langsung pada ekonomi nelayan dan perikanan, karena konsumen mungkin enggan membeli ikan yang terkontaminasi merkuri (Pratiwi, 2020). Ini berarti penurunan permintaan dan harga ikan, dan pada gilirannya dapat mengurangi pendapatan nelayan. Selain itu, keracunan merkuri juga dapat mengakibatkan penurunan produktivitas dan absensi pekerja, yang dapat merugikan industri perikanan dan perusahaan lainnya (Septriani dkk, 2023).

Pencemaran merkuri di laut dan pesisir juga dapat memiliki dampak ekonomi jangka panjang. Jika kegiatan pertambangan dan industri tidak diatur dengan baik, limbah merkuri yang terbuang ke laut dapat merusak ekosistem laut, termasuk terumbu karang dan mangrove, yang merupakan habitat bagi berbagai jenis ikan dan hewan laut lainnya (Darza, 2020). Hilangnya habitat ini dapat mengakibatkan penurunan populasi ikan dan hewan laut lainnya, dan pada gilirannya dapat berdampak pada ekonomi perikanan jangka panjang. Selain itu, pencemaran merkuri juga dapat merusak industri pariwisata di daerah pesisir. Daerah pesisir sering menjadi tempat tujuan wisata yang populer karena keindahan pantai dan keanekaragaman hayati laut. Namun, pencemaran merkuri dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem laut, yang dapat mempengaruhi daya tarik pariwisata (Vetrimurugan dkk, 2019). Hal ini dapat mengurangi jumlah wisatawan dan berdampak negatif pada pendapatan ekonomi dari industri pariwisata.

Dari sisi ketahanan pangan, dampak pencemaran merkuri berakibat buruk bagi kualitas dan kuantitas hasil perikanan (Gbogbo dkk, 2017). Ikan yang terkontaminasi merkuri sangat tidak sehat untuk dikonsumsi, sehingga dapat mengurangi nilai komersial ikan tersebut dan pada gilirannya dapat mempengaruhi pendapatan nelayan dan pengusaha perikanan. Hal ini dapat berdampak pada ketahanan pangan di suatu daerah, karena dapat mengurangi ketersediaan sumber protein hewani yang murah dan terjangkau bagi masyarakat (Hastein dkk, 2006; Lehel dkk, 2021).

Potensi Pemantauan dan Mitigasi Pencemaran Merkuri Berdasarkan Pengendalian Sumbernya

Pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut merupakan masalah serius yang perlu ditangani secara tepat dan efektif. Untuk melakukan pengendalian dan pengawasan terhadap pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut, diperlukan strategi pemantauan dan mitigasi yang tepat guna. Salah satu strategi yang dapat dilakukan adalah dengan memperhatikan sumber pencemar merkuri yang ada di lingkungan pesisir dan laut. Sumber pencemar utama merkuri di lingkungan pesisir dan laut adalah limbah industri, seperti industri pertambangan emas dan industri

klor-alkali. Untuk mengurangi dampak dari limbah industri ini, diperlukan regulasi yang ketat dan pemantauan yang terus menerus terhadap kualitas air dan sedimen di sekitar lokasi industri tersebut (Greenpeace Indonesia, 2018). Selain itu, diperlukan penggunaan teknologi yang ramah lingkungan seperti Pilot project yang mengadaptasi teknologi pelindian sianidasi yang dikembangkan oleh BRIN (2023) dalam proses produksi, serta aman bagi kesehatan dan lingkungan.

Selain limbah industri, sumber pencemar merkuri lainnya juga berasal dari aktivitas pertambangan dan pengolahan emas skala kecil, serta berasal dari limbah medis. Dalam hal ini, strategi mitigasi dapat dilakukan dengan melakukan sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat tentang bahaya dari penggunaan merkuri dalam proses pengolahan emas, serta alternatif yang lebih ramah lingkungan dan lebih aman digunakan. Selain itu, perlu dilakukan pemantauan terhadap lokasi-lokasi tambang emas skala kecil, serta pembinaan dan pengawasan terhadap praktik-praktik pengolahan emas yang ramah lingkungan (Pantouw dan Ahmad, 2022). Kemudian pencemaran merkuri dari limbah medis seperti termometer dan sisa obat-obatan, perlu dilakukan pengelolaan limbah medis yang tepat dan sesuai dengan standar, serta penggunaan alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti penggunaan termometer digital yang tidak menggunakan merkuri (Prasasti dkk, 2023).

Dalam strategi pemantauan dan mitigasi pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut, peran masyarakat sangat penting. Masyarakat dapat berpartisipasi dalam kegiatan pemantauan dan pelaporan kondisi lingkungan sekitar, serta ikut serta dalam kegiatan pengelolaan limbah dan praktik-praktik yang ramah lingkungan. Hal ini dapat meningkatkan kesadaran dan tanggung jawab masyarakat dalam menjaga kebersihan dan kesehatan lingkungan pesisir dan laut.

Dengan Pemantauan Nilai Konsentrasi Merkuri di Lingkungan

Pemantauan konsentrasi merkuri di lingkungan pesisir dan laut merupakan hal yang penting dalam strategi pemantauan dan mitigasi pencemaran merkuri. Pemantauan dapat dilakukan dengan mengambil sampel air, sedimen, dan biota laut di sekitar lokasi yang dicurigai terdapat pencemaran merkuri. Dalam hal ini, strategi pemantauan dan mitigasi dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu pendekatan reaktif (setelah terjadi pencemaran) dan proaktif (sebelum terjadi pencemaran). Pendekatan reaktif dilakukan untuk mengidentifikasi lokasi dan sumber pencemar merkuri, serta tingkat konsentrasi merkuri di lingkungan sekitarnya khususnya pada air, sedimen dan biota. Setelah itu, mitigasi dapat dilakukan dengan melakukan pembersihan dan rehabilitasi lingkungan yang tercemar, serta menghentikan sumber pencemar merkuri di lokasi tersebut (Putranto, 2011). Sementara Pendekatan proaktif dilakukan pemantauan secara terus menerus terhadap kondisi lingkungan pesisir dan laut, serta tingkat konsentrasi merkuri di lingkungan tersebut. Pemantauan dapat dilakukan pada lokasi yang berpotensi menghasilkan limbah merkuri, seperti industri pertambangan emas dan industri klor-alkali. Dalam hal ini, mitigasi dapat dilakukan dengan menerapkan regulasi yang ketat terhadap penggunaan merkuri, serta teknologi yang ramah lingkungan dalam proses produksi.

Dalam strategi pemantauan dan mitigasi pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut, perlu dilakukan pendekatan lintas sektoral dan pengembangan teknologi pemantauan konsentrasi merkuri. Hal ini berarti kolaborasi dan koordinasi yang baik antara berbagai sektor terkait, seperti sektor industri, sektor kesehatan, dan sektor lingkungan hidup. Dalam hal ini, regulasi yang ketat dan tegas perlu diterapkan terhadap sumber pencemar merkuri di lingkungan pesisir dan laut, serta perlu dilakukan edukasi dan sosialisasi kepada masyarakat tentang bahaya dari pencemaran merkuri dan alternatif yang lebih ramah lingkungan (Agustikawati dkk, 2022). Selain itu, pengembangan teknologi dalam pemantauan pencemaran merkuri juga sangat penting. Teknologi

dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi merkuri di lingkungan pesisir dan laut dengan lebih akurat dan efektif, akan sangat berguna dalam mendukung limbah merkuri dengan cara yang lebih efisien (Wei dkk, 2014).

Ringkasan dan Arah Usul Penelitian di Indonesia

Pencemaran merkuri di perairan, terutama di daerah industri dan pertambangan di Indonesia, menjadi masalah yang semakin meningkat. Konsentrasi merkuri di beberapa perairan di Indonesia telah melebihi batas yang ditetapkan, dan kontaminasi merkuri dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia yang mengkonsumsi ikan dan biota laut. Pencemaran merkuri ini disebabkan oleh aktivitas pertambangan emas dan industri yang menggunakan merkuri sebagai pelarut, serta faktor-faktor seperti aliran air, kondisi geologi, dan aktivitas manusia.

Pencemaran merkuri memiliki dampak yang luas terhadap lingkungan. Merkuri yang terbuang oleh industri tambang emas dan pertanian mencemari air, udara, dan tanah di sekitarnya. Hal ini mengancam ekosistem dan mengurangi keanekaragaman hayati. Selain itu, dampaknya juga terlihat pada tanah yang menjadi tidak subur dan vegetasi air yang mati. Pencemaran merkuri juga dapat mempengaruhi kualitas air, menyebabkan keracunan pada hewan, dan memiliki efek berbahaya pada udara, seperti iritasi paru-paru dan masalah kesehatan lainnya. Paparan merkuri melalui konsumsi ikan laut terkontaminasi juga dapat menyebabkan masalah kesehatan serius pada manusia, termasuk kerusakan sistem saraf, gangguan sistem imun, dan kerusakan pada janin pada ibu hamil.

Oleh karena itu, dengan adanya peningkatan jumlah kasus pencemaran merkuri serta dampaknya yang sangat serius, serta perlunya mitigasi guna menanggulangi dampak cemaran yang ditimbulkan, kami merumuskan beberapa pertanyaan yang menjadi celah untuk pengembangan riset kedepannya sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi spasial dan konsentrasi merkuri di perairan pesisir dan laut di Indonesia?. (Lakukan Identifikasi daerah-daerah yang tercemar merkuri dengan konsentrasi yang melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah dan standar internasional. Selain itu, Indonesia belum memiliki baku mutu untuk pencemaran merkuri di sedimen sehingga perlunya pengembangan riset terkait hal tersebut).
2. Apa sumber-sumber utama pencemaran merkuri di perairan Indonesia?. (Perlunya penelusuran dari aktivitas industri, pertambangan, dan tambang emas rakyat yang berkontribusi pada pencemaran merkuri di perairan).
3. Bagaimana proses merkuri terakumulasi dan mempengaruhi biota laut?. (Lakukan Kajian tingkat akumulasi merkuri dalam jaringan biota laut, khususnya ikan dan kerang, serta dampaknya pada kesehatan manusia yang mengkonsumsinya).
4. Apa dampak kesehatan manusia yang disebabkan oleh paparan merkuri melalui konsumsi ikan laut yang tercemar?. (Melakukan penelitian efek jangka panjang paparan merkuri pada manusia, termasuk kerusakan sistem saraf, gangguan sistem imun, kerusakan ginjal, serta efek pada janin selama kehamilan).
5. Bagaimana cara mitigasi dan pengelolaan pencemaran merkuri di perairan?. Mengidentifikasi efektivitas dari penerapan strategi yang efektif untuk mengurangi pencemaran merkuri, termasuk pengelolaan limbah industri dan pertambangan, serta penggunaan alternatif yang lebih aman dalam kegiatan pertambangan emas).
6. Bagaimana dampak pencemaran merkuri terhadap ekosistem laut dan keberlanjutan hayati?. Lakukan peneltiian terkait dampak merkuri pada organisme laut, keseimbangan ekosistem, dan keanekaragaman hayati di sekitar perairan yang tercemar).

7. Bagaimana cara mengukur dan memantau konsentrasi merkuri di perairan secara efektif?. (Perlunya pengembangan metode pengukuran dan pemantauan konsentrasi merkuri yang lebih akurat dan efisien untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam mengatasi masalah pencemaran ini).
8. Apa upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam mengurangi pencemaran merkuri di perairan?. (Lakukan penelitian terkait strategi komunikasi dan pendidikan yang efektif untuk mengedukasi masyarakat tentang bahaya merkuri dan menggalang dukungan untuk upaya pengurangan pencemaran).

Pertanyaan-pertanyaan di atas dapat dijadikan sebagai acuan dalam melakukan penelitian pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut, khususnya di Indonesia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil review di atas kami menyimpulkan bahwa sumber utama pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut berasal dari kegiatan tambang emas ilegal yang sering terjadi di daerah-daerah tertentu di Indonesia. Pencemaran ini dapat berdampak serius terhadap lingkungan, kesehatan manusia, ekonomi, dan ketahanan pangan. Tiga langkah utama yang dapat dilakukan dalam pemantauan dan mitigasi pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut, antara lain:

1. Pemantauan konsentrasi merkuri di lingkungan dengan memasang alat pemantau di beberapa titik yang berpotensi tercemar.
2. Penerapan tindakan mitigasi yang cepat dan tepat untuk mengurangi paparan merkuri pada lingkungan dan manusia melalui penerapan teknologi pengolahan emas yang ramah lingkungan, edukasi kepada masyarakat tentang bahaya merkuri, dan pengembangan alternatif penghidupan bagi masyarakat yang menggantungkan hidupnya dari kegiatan tambang emas ilegal, dan
3. Pengawasan dan penegakan hukum terhadap kegiatan tambang emas ilegal.

Upaya mitigasi dampak pencemaran merkuri di lingkungan pesisir dan laut, dapat diintegrasikan dengan berbagai pihak, seperti pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta. Sehingga, dapat dilakukan secara berkesinambungan dan berkelanjutan, serta melibatkan partisipasi aktif dari seluruh pihak yang terkait. Selain itu, dengan melakukan penelitian guna menjawab 8 pertanyaan di atas sangat diperlukan guna mendukung pengembangan strategi mitigasi dari pencemaran merkuri serta dampak jangka panjangnya. Dengan demikian, diharapkan bahwa lingkungan pesisir dan laut di Indonesia dapat terlindungi dari dampak negatif pencemaran merkuri yang berpotensi merusak ekosistem dan kesehatan manusia.

DAFTAR REFERENSI

- Adlim, M. (2016). Pencemaran merkuri di perairan dan karakteristiknya: suatu kajian kepustakaan ringkas. *Depik*, 5(1).
- Arifin, Z. (2008). *Kajian kecenderungan perubahan kontaminan logam berat di perairan Teluk Jakarta*. Ruyitno (Ed). Kajian Perubahan Ekologis Perairan Teluk Jakarta. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, LIPI Press, Jakarta. p, 211-228.
- Bernadus, G. E., & Rorong, J. A. (2021). Dampak Merkuri Terhadap Lingkungan Perairan Sekitar Lokasi Pertambangan Di Kecamatan Loloda Kabupaten Halmahera Barat Provinsi Maluku Utara. *Agri-Sosioekonomi*, 17(2), 599-610.
- BRIN. (2023). Brin Kembangkan Teknologi Pengolahan Emas Tanpa Merkuri Di Pertambangan Rakyat. <https://Www.Brin.Go.Id/News/111332/Brin-Kembangkan-Teknologi-Pengolahan->

- Emas-Tanpa-Merkuri-Di-Pertambangan-Rakyat. Diakses Pada 16 Mei 2023.
- Chen, C. Y., Driscoll, C. T., Lambert, K. F., Mason, R. P., Rardin, L. R., Schmitt, C. V., ... & Sunderland, E. M. (2012). Sources to seafood: mercury pollution in the marine environment.
- Chetelat, J., McKinney, M. A., Amyot, M., Dastoor, A., Douglas, T. A., Heimbürger-Boavida, L. E., ... & Wang, F. (2022). Climate change and mercury in the Arctic: Abiotic interactions. *Science of the Total Environment*, 824, 153715.
- Clarkson, T. W., Magos, L., & Myers, G. J. (2003). The toxicology of mercury—current exposures and clinical manifestations. *New England Journal of Medicine*, 349(18), 1731-1737.
- Darmono. (1995). *Logam dalam sistem biologi makhluk hidup*. Penerbit Universitas Indonesia.
- Darza, S. E. (2020). Dampak Pencemaran Bahan Kimia Dari Perusahaan Kapal Indonesia Terhadap Ekosistem Laut. *Jurnal Ilmiah MEA (Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi)*, 4(3), 1831-1852.
- Dewi, N. R., Setiani, O., & Suhartono, S. (2013). Hubungan riwayat paparan merkuri dengan gangguan keseimbangan tubuh pada penambang emas tradisional di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 12(1), 70-74.
- Fahmi, A. (2000). *Pencemaran Laut, Status dan Dampaknya Pada Ekosistem Laut, Nuansa Lingkungan*. Majalah Bapedal Wilayah I no 04 tahun II. Pekanbaru
- Gamboa Ruiz, W. L., & Tomiyasu, T. (2015). Distribution of mercury in sediments from Kagoshima Bay, Japan, and its relationship with physical and chemical factors. *Environmental Earth Sciences*, 74, 1175-1188.
- Gbogbo, F., Otoo, S. D., Huago, R. Q., & Asomaning, O. (2017). High levels of mercury in wetland resources from three river basins in Ghana: a concern for public health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 5619-5627.
- Ghorani-Azam, A., Riahi-Zanjani, B., & Balali-Mood, M. (2016). Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 21.
- Grasby, S. E., Them II, T. R., Chen, Z., Yin, R., & Ardakani, O. H. (2019). Mercury as a proxy for volcanic emissions in the geologic record. *Earth-Science Reviews*, 196, 102880.
- Greenpeace Indonesia. 2018. Memulihkan Citarum: Mulai Dari Limbah Industri. <https://www.greenpeace.org/indonesia/Siaran-Pers/1285>. Diakses Pada 15 Mei 2023.
- Hastein, T., Hjeltnes, B., Lillehaug, A., Utne Skare, J., Berntssen, M., & Lundebye, A. K. (2006). Food safety hazards that occur during the production stage: challenges for fish farming and the fishing industry. *Rev Sci Tech*, 25(2), 607-625.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), 60.
- Kim, H., Yoon, C., & Lee, J. (2017). Mercury emission control technologies for industrial facilities: A review. *Environmental Engineering Research*, 22(1), 1-8.
- Lee, J. S., Kim, M. H., Kim, J. C., Lim, D. H., Chung, J. W., Kim, J. H., ... & Choi, B. S. (2018). Mercury pollution in Asia: a review of the contaminated sites. *Journal of hazardous materials*, 357, 355-366.
- Lehel, J., Yaucat-Guendi, R., Darnay, L., Palotás, P., & Laczay, P. (2021). Possible food safety hazards of ready-to-eat raw fish containing product (sushi, sashimi). *Critical reviews in food science and nutrition*, 61(5), 867-888.
- Makahenggang, K. N. H., Rahardjo, D., & Kisworo, K. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Merkuri Dalam Ikan Yang Dipasarkan Di Kawasan Teluk Kao Halmahera Utara: Health.

- Biospecies*, 15(2), 39-46.
- Mason, R. P., Lawson, N. M., Lawrence, A. L., Leaner, J. J., Lee, J. G., & Hare, C. E. (2012). Mercury in the Chesapeake Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 64(9), 1823-1828.
- Mason, R. P., Reinfelder, J. R., & Morel, F. M. (2010). Uptake, toxicity, and trophic transfer of mercury in a coastal diatom. *Environmental Science & Technology*, 44(5), 1814-1819.
- Narasiang, A. N., Lasut, M. T., & Kawung, N. J. (2015). Akumulasi merkuri (Hg) pada ikan di Teluk Manado. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 3(1), 8-14.
- Nuraini, N., Rhmatullah, A., Syairin, J., Maulida, I., Wahab, N. H., & Susanti, D. (2023). Transport Metilmerkuri (MeHg) dan Merkuri Inorganik (I-Hg) terhadap Perkembangan Otak Janin dan Kualitas Asi. *JIIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(5), 3112-3116.
- Palar, H. (1994). Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta: Rineka Cipta, 148.
- Pantouw, I. A. P. S. O., & Ahmad, A. (2022). Perlindungan Hukum Terhadap Masyarakat Akibat Penambangan Emas Di Sungai Tulabolo Yang Tercemar Merkuri. *Borneo Law Review*, 6(2), 187-204.
- Prasasti, C. I., Yudhastuti, R., Sulistiyorini, L., Adriyani, R., Gracia, D. R., & Solikhah, V. H. (2023). *Pengelolaan Sampah Berbahaya dan Beracun (B3) Domestik: Kenali dan Kelola Bersama Mulai dari Lingkungan Terdekat*. Airlangga University Press.
- Pratiwi, D. Y. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Sumber Daya Perikanan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59-65.
- Prihantini, N. N., & Hutagalung, P. (2018). Gangguan Kesehatan Akibat Paparan Merkuri Pada Pekerja Di Industri Kosmetik. *Jurnal Ilmiah Widya*, 5(1), 56-61.
- Putranto, T. T. (2011). Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air Tanah. *Teknik*, 32(1), 62-71.
- Saeni, M. S. (1997). *Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisis Rambut*. Orasi Ilmiah. Bogor.
- Septriani, M., Adzidzah, H. Z. N., Apriyanti, H., Pauziah, S., & Sulistiyorini, D. (2023). Cemar Merkuri (Hg) Dan Timbal (Pb) Pada Produk Perikanan: Studi Literatur. *Jurnal Masyarakat Sehat Indonesia*, 2(01), 7-16.
- Setiyono, A., & Djaidah, A. (2012). Konsumsi ikan dan hasil pertanian terhadap kadar Hg darah. *KEMAS: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(2), 110-116.
- Singga, S. (2013). Analisis Risiko Kesehatan Paparan Merkuri Pada Masyarakat Kecamatan Bulawa Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. *Jurnal Gizi Masyarakat Indonesia (The Journal of Indonesian Community Nutrition)*, 9(1), 21-28
- Soemono, H. D. S. (2009). Rehabilitasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Akibat Penambangan Emas dengan Pencucian dan Bahan Organik di Rumah Kaca. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 29, 53-64.
- Suratno, S., Cordova, M. R., & Arinda, S. (2017). Kandungan Merkuri dalam Ikan Konsumsi di Wilayah Bantul dan Yogyakarta. *OLDI (Oseanologi dan Limnologi di Indonesia)*, 2(1), 15-23.
- Suseno, H., & Panggabean, S. M. (2007). Merkuri: Spesiasi dan bioakumulasi pada biota laut. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah Pusat Teknologi Limbah Radioaktif*, 10(1), 66-78.
- Sutamihardja, 2006. *Toksikologi Lingkungan*. Buku Ajar Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia. Jakarta.
- Tan, K. H. (1991). *Principle of Soil Chemistry (Dasar-Dasar Kimia Tanah) (Alih bahasa: Didiek Hadjar Goenardi)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. p, 295.
- Tugaswati, A. T., Athena, A., & Lubis, A. (1997). Studi pencemaran merkuri dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat di daerah Mundu Kabupaten Indramayu. *Buletin Penelitian*

Kesehatan, 25(2).

- Vetrimurugan, E., Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Roy, P. D., Sarkar, S. K., Rawlins, B. K., & Villegas, L. E. C. (2019). Comprehensive study on metal contents and their ecological risks in beach sediments of KwaZulu-Natal province, South Africa. *Marine pollution bulletin*, 149, 110555.
- Wei, Q., Nagi, R., Sadeghi, K., Feng, S., Yan, E., Ki, S. J., ... & Ozcan, A. (2014). Detection and spatial mapping of mercury contamination in water samples using a smart-phone. *ACS nano*, 8(2), 1121-1129.
- Yusuf, M., Hamzah, B., & Rahman, N. (2013). Kandungan merkuri (Hg) dalam air laut, sedimen, dan jaringan ikan belanak (*Liza melinoptera*) di perairan Teluk Palu. *Jurnal Akademika Kimia*, 2(3), 140-145.