

BAB 1: PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Merkuri (Hg) merupakan salah satu dari sepuluh bahan kimia yang menjadi permasalahan kesehatan karena sifat toksiknya terhadap manusia.⁽¹⁾ Paparan merkuri berdampak negatif pada otak dan sistem saraf, salah satunya menyebabkan *minamata disease*. Kasus tersebut tercatat sebagai kasus keracunan merkuri paling mematikan di dunia. Selain itu, merkuri di lingkungan juga memiliki kemampuan untuk bertahan dan mengalami bioakumulasi dalam ekosistem sehingga meningkatkan risiko paparan pada manusia melalui rantai makanan.^(2,3) Akibat sifat toksik merkuri tersebut, diperkirakan sekitar 19 juta orang di seluruh dunia berisiko mengalami dampak kesehatan akibat paparan merkuri.⁽⁴⁾

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 57 Tahun 2016 tentang Rencana Aksi Nasional Pengendalian Dampak Kesehatan Akibat Paparan Merkuri Tahun 2016-2020, merkuri dikategorikan sebagai Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) berbentuk logam cair berwarna putih keperakan serta mudah menguap pada suhu ruang.⁽⁵⁾ Secara umum, merkuri terdapat dalam tiga bentuk utama, yaitu merkuri elemental (Hg^0), merkuri anorganik (IHg: Hg^+ dan Hg^{2+}), serta merkuri organik, seperti metilmerkuri (MeHg), etilmerkuri (EtHg), dan fenilmerkuri (PhHg).^(6,7) Meskipun semua bentuknya bersifat toksik, metilmerkuri menjadi bentuk yang paling berbahaya bagi manusia karena memiliki bioavailabilitas tinggi dan bersifat neurotoksin.⁽⁸⁾

Merkuri secara alami terdapat di udara, air, dan tanah.⁽¹⁾ Unsur ini berada dalam kerak bumi dan dilepaskan ke lingkungan melalui berbagai proses alamiah, seperti aktivitas vulkanik, aktivitas geotermal, volatilisasi, serta pelapukan mineral.^(1,9) Namun, peningkatan konsentrasi merkuri di lingkungan mayoritas disebabkan oleh

aktivitas antropogenik. Menurut laporan *United Nations Environment Programme* (UNEP) pada *Minamata Convention on Mercury* tahun 2024, penambangan emas skala kecil dan tradisional (*artisanal and small-scale gold mining/ASGM*) serta pembakaran batubara secara stasioner menyumbang sekitar 60% dari total pencemaran merkuri yang dihasilkan oleh manusia di dunia.⁽¹⁰⁾ Selain itu, berbagai aktivitas antropogenik lainnya juga turut berkontribusi terhadap pelepasan merkuri ke lingkungan, seperti produksi semen, pembuangan limbah industri, pembakaran biomassa, insenerasi limbah, serta proses pembakaran minyak dan gas alam.^(9,11,12)

Meskipun merkuri dapat ditemukan diberbagai media lingkungan, tetapi perairan menjadi lokasi utama akumulasi merkuri.⁽⁶⁾ Perairan memiliki kemampuan untuk menerima dan mendeposisi merkuri melalui berbagai sumber baik dari proses alami maupun aktivitas antropogenik. Selain itu, perairan juga menjadi tempat terjadinya akumulasi dan transformasi merkuri menjadi bentuk yang lebih toksik.⁽³⁾ Akibatnya, merkuri akan mengontaminasi organisme akuatik dan masuk ke dalam rantai makanan sehingga meningkatkan risiko paparan merkuri pada manusia melalui jalur oral.^(6,13)

Masuknya merkuri ke lingkungan perairan dapat terjadi melalui deposisi atmosferik, yaitu proses pengendapan dari atmosfer ke permukaan perairan melalui presipitasi atau curah hujan.⁽¹⁴⁾ Jalur ini menjadi salah satu sumber utama kontaminasi merkuri pada air. Selain itu, merkuri juga dapat masuk ke perairan melalui limpasan dari aliran permukaan yang membawa partikel tanah atau bahan pencemar yang mengandung merkuri.⁽¹⁵⁾ Kontaminasi merkuri juga dapat disebabkan oleh pembuangan langsung limbah industri dan pertambangan ke badan air.⁽¹²⁾ Berbagai jalur tersebut berkontribusi terhadap akumulasi merkuri dalam ekosistem akuatik.

Cemaran merkuri secara global menunjukkan adanya tren peningkatan.^(12,16,17) Qiu *et al.* (2025) melaporkan bahwa emisi merkuri global telah meningkat sebesar 330% hingga tahun 2021 dalam kurun waktu enam dekade terakhir. Selain itu, emisi merkuri global diperkirakan akan meningkat sebesar 10–50% pada tahun 2030.⁽¹⁶⁾ Sementara itu, laporan UNEP *Global Mercury Assessment* (GMA) tahun 2018 menunjukkan adanya tren peningkatan cemaran merkuri pada ekosistem akuatik. Deposisi merkuri ke laut diperkirakan meningkat sekitar 100 ton per tahun dan deposisi ke tanah serta perairan tawar meningkat sekitar 400 ton dibandingkan dengan lima tahun sebelumnya. Selain itu, massa merkuri di lapisan permukaan laut dilaporkan meningkat hingga 230% dibandingkan kondisi alaminya.^(12,18) Sejalan dengan temuan tersebut, UNEP dalam *Minamata Convention on Mercury* (2025) juga mencatat setidaknya terdapat 3.000 lokasi terkontaminasi merkuri di dunia yang melepaskan sekitar 116 ton merkuri ke badan perairan dan lingkungan sekitarnya.⁽¹⁷⁾

Indonesia juga menghadapi permasalahan serius terkait kontaminasi merkuri di berbagai ekosistem akuatik. Studi yang dilakukan oleh Arrazy *et al.* (2024) mengidentifikasi adanya cemaran merkuri di berbagai lokasi di Indonesia. Konsentrasi merkuri tertinggi pada air tercatat di Sungai Tajum, Jawa Tengah (1,003 $\mu\text{g/L}$) serta di beberapa wilayah ASGM, seperti Sungai Buladu, Gorontalo (122,25 $\mu\text{g/L}$), Papua (41,25 $\mu\text{g/L}$), dan wilayah pesisir Jakarta (13,47 $\mu\text{g/L}$).⁽¹⁹⁾ Selain itu, studi yang dilakukan oleh Sugiana *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa konsentrasi merkuri pada beberapa wilayah perairan di Indonesia telah melebihi baku mutu, seperti di Teluk Banten (0,000–0,002 $\mu\text{g/L}$), muara Sungai Banyuasin (0,001–0,032 $\mu\text{g/L}$), perairan Teluk Ambon (1,88–13,4 $\mu\text{g/L}$), pesisir Pantai Losari (0,001–0,008 $\mu\text{g/L}$), dan Teluk Palu (0,030–0,040 $\mu\text{g/L}$).⁽²⁰⁾

Peningkatan kadar merkuri pada perairan berimplikasi langsung terhadap biota akuatik, khususnya ikan.⁽²¹⁾ Ikan menjadi organisme terpenting dalam ekosistem rantai makanan akuatik karena memiliki kemampuan untuk mengakumulasi merkuri dengan konsentrasi hingga 1000 kali lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan perairan di sekitarnya.⁽²²⁾ Secara langsung, merkuri akan diserap oleh ikan melalui pertukaran ion di insang, kulit, atau adsorpsi partikel tersuspensi di air.⁽²³⁾ Sedangkan, secara tidak langsung, akumulasi merkuri pada ikan terjadi melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi.⁽²⁴⁾ Kandungan merkuri pada ikan bergantung pada sejumlah faktor, seperti wilayah tempat hidup, kualitas makanan, karakteristik spesies, dan kondisi penyerapan. Kandungan merkuri pada ikan juga meningkat seiring dengan bertambahnya usia, berat, dan panjang tubuhnya.⁽²⁵⁾

Berbagai studi di berbagai negara telah melaporkan adanya kontaminasi merkuri pada ikan. *Meta-analysis* yang dilakukan oleh Amerizadeh *et al.* (2023) menunjukkan bahwa kadar merkuri pada ikan komersial di Laut Kaspia mencapai 0,11 mg/kg.⁽²⁶⁾ Selanjutnya, penelitian di Polandia melaporkan bahwa kadar merkuri pada seluruh sampel ikan berkisar antara 0,004–0,827 mg/kg dengan konsentrasi merkuri pada ikan laut lebih tinggi dibandingkan ikan air tawar.⁽²⁵⁾ Sedangkan, studi di Brazil menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri pada ikan berkisar antara 0 hingga 4,73 µg/g.⁽²⁷⁾

Temuan adanya cemaran merkuri pada ikan juga dilaporkan di wilayah kepulauan Indonesia. Studi pada ikan di Pulau Natuna menemukan kadar merkuri berkisar antara 0,03–1,75 mg/kg yang telah melebihi batas aman yang diizinkan untuk produk perikanan, yaitu 0,5 mg/kg.⁽²⁸⁾ Sementara itu, studi di Sungai Katingan, Kalimantan Tengah, melaporkan bahwa konsentrasi total merkuri pada ikan berkisar antara 5–593 µg/kg dan metilmerkuri berkisar antara 0,70–91,6 µg/kg.⁽²⁹⁾ Penelitian di

Gorontalo juga menunjukkan adanya kontaminasi merkuri pada ikan konsumsi, seperti ikan ekor kuning (0,33 mg/kg), kakap (0,44 mg/kg), dan selar (0,20 mg/kg).⁽³⁰⁾

Kontaminasi merkuri pada ikan berpotensi memajankan manusia melalui jalur oral atau ingesti. Jalur ini merupakan salah satu rute utama masuknya merkuri ke dalam tubuh manusia, khususnya dalam bentuk metilmerkuri.⁽³¹⁾ Akumulasi merkuri pada ikan berbanding lurus dengan tingkat kontaminasi merkuri di lingkungan perairan. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kadar merkuri di perairan maka semakin besar pula akumulasi merkuri dalam tubuh ikan.⁽³²⁾ Mengingat ikan merupakan sumber protein hewani, peningkatan konsumsi ikan secara tidak langsung dapat meningkatkan potensi pajanan merkuri pada manusia.⁽³³⁾

Berdasarkan Laporan Kinerja Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) Republik Indonesia tahun 2024, tingkat konsumsi ikan nasional menunjukkan tren peningkatan selama periode 2020 hingga 2024. Pada tahun 2020, konsumsi ikan tercatat sebesar 54,56 kg/kapita/tahun, kemudian meningkat menjadi 55,16 kg/kapita/tahun pada 2021; 57,27 kg/kapita/tahun pada 2022; 57,91 kg/kapita/tahun pada 2023; dan mencapai 58,91 kg/kapita/tahun pada 2024. Berdasarkan data tersebut, laju pertumbuhan rata-rata konsumsi ikan nasional selama periode 2020–2024 mencapai sekitar 1,95% per tahun.⁽³⁴⁾ Selain itu, *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FOA) pada tahun 2017 menyatakan bahwa Indonesia termasuk negara dengan ketergantungan tinggi terhadap ikan dengan kontribusi lebih dari 50% terhadap asupan protein hewani penduduk. Indonesia juga tercatat sebagai salah satu negara negara penghasil ikan terbesar di dunia, yakni sebesar 7%.^(35,36) Hal ini mengindikasikan bahwa masyarakat Indonesia berisiko mengalami peningkatan akumulasi merkuri melalui pajanan oral akibat konsumsi ikan.

Pajanan oral memiliki potensi absorpsi merkuri tertinggi pada tubuh manusia dibandingkan dengan jalur inhalasi maupun dermal.⁽⁶⁾ Pada pajanan merkuri elemental, diperkirakan sekitar 80% uap merkuri yang terhirup dapat diserap melalui saluran pernapasan orang dewasa.⁽¹⁵⁾ Sementara itu, pajanan melalui kulit hanya terjadi dalam jumlah kecil, yaitu sekitar 2,6% dari total dosis yang diserap akibat kontak dermal dengan uap merkuri.⁽³⁷⁾ Sebaliknya, absorpsi merkuri melalui jalur oral memiliki tingkat penyerapan yang jauh lebih tinggi, di mana absorpsi gastrointestinal terhadap metilmerkuri dapat mencapai hampir 100% setelah tertelan.⁽⁶⁾

Pajanan merkuri melalui jalur oral atau ingesti dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan pada manusia. Gangguan neurologis dan perilaku (*neurological and behavioral disorders*) merupakan efek utama yang diamati karena sistem saraf pusat (SSP) menjadi target organ toksisitas merkuri.⁽⁶⁾ Gangguan tersebut bermanifestasi dalam berbagai bentuk, seperti iritabilitas, kelelahan, perubahan perilaku, tremor, sakit kepala, gangguan pendengaran dan kognitif, serta halusinasi.⁽³⁸⁾ Selain itu, pajanan merkuri juga berhubungan dengan peningkatan risiko berbagai jenis kanker, seperti kanker ginjal, hati, lambung, tiroid, payudara, glioma, dan melanoma.⁽⁷⁾ Dalam kasus pajanan yang berat dan berlangsung lama, merkuri dapat menyebabkan kematian.⁽³⁹⁾

Untuk menilai tingkat risiko pajanan merkuri melalui konsumsi ikan pada manusia, dapat digunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) atau *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA).⁽⁴⁰⁾ Sejumlah studi ARKL terkait pajanan merkuri melalui konsumsi ikan telah dilakukan di Indonesia. Penelitian oleh Maulia *et al.* (2024) melaporkan bahwa estimasi laju konsumsi mingguan pajanan merkuri melalui ikan tertinggi terdapat pada kelompok anak-anak (11,79–18,6 mg/kg) dan telah melampaui batas aman *provisional tolerable weekly intake* (PTWI). Selain

itu, nilai *target hazard quotient* (THQ) pada anak-anak berkisar antara 1,17–11,74 yang menunjukkan adanya risiko nonkarsinogenik.⁽⁴¹⁾ Sementara itu, penelitian oleh Mufakir *et al.* (2024) menunjukkan bahwa nilai *intake* harian berkisar antara $3,8 \times 10^{-3}$ hingga $6,2 \times 10^{-1}$ $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{hari}$ pada kelompok dewasa. *Hazard quotient* di seluruh lokasi penelitian bernilai $<0,1$ yang menunjukkan tidak adanya risiko kesehatan akibat konsumsi ikan pada populasi dewasa.⁽²⁹⁾ Perbedaan hasil pada kedua penelitian tersebut mengindikasikan adanya variasi tingkat pajanan dan risiko kesehatan antarwilayah serta kelompok populasi yang dipengaruhi oleh *intake* ikan di masyarakat Indonesia.

Evaluasi risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan perlu dilakukan secara komprehensif pada seluruh jenis ikan yang dikonsumsi masyarakat di Indonesia. Hal ini penting karena merkuri memiliki kemampuan untuk terakumulasi dan mengalami biomagnifikasi dalam rantai makanan akuatik baik di perairan tawar maupun laut.⁽²⁵⁾ Konsentrasi merkuri yang tinggi dapat ditemukan pada ikan air tawar, khususnya di perairan yang berada di sekitar aktivitas pertambangan emas skala kecil.⁽⁴²⁾ Di sisi lain, kadar merkuri yang tinggi juga banyak ditemukan pada ikan laut, terutama pada ikan predator yang menempati tingkat trofik tertinggi akibat proses biomagnifikasi yang berlangsung lebih panjang di ekosistem laut.⁽⁴³⁾

Besarnya potensi konsumsi ikan dan adanya temuan merkuri pada berbagai ekosistem akuatik Indonesia menunjukkan perlunya penilaian tingkat risiko pajanan merkuri melalui konsumsi ikan. Meskipun sejumlah penelitian ARKL telah memberikan gambaran mengenai potensi risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan, tetapi studi-studi tersebut masih terfragmentasi diberbagai lokasi. Adanya variasi *intake* ikan antarwilayah dan kelompok populasi juga menyebabkan terjadinya perbedaan tingkat risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh

pajanan merkuri di Indonesia. Hingga saat ini, kajian yang secara komprehensif mensintesis risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan pada skala nasional di Indonesia masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan studi *systematic review*. *Systematic review* bertujuan untuk mengidentifikasi, menyeleksi, dan mensintesis seluruh bukti ilmiah yang relevan secara sistematis. Dengan demikian, pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan gambaran risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan yang komprehensif dan berbasis bukti ilmiah pada tingkat nasional.

Berdasarkan uraian di atas, penting untuk melakukan penilaian risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan di Indonesia melalui studi *systematic review*.

1.2 Rumusan Masalah

Merkuri yang berasal dari aktivitas alami dan antropogenik telah mencemari berbagai ekosistem perairan di Indonesia. Kontaminasi ini menjadi perhatian serius karena merkuri bersifat toksik, sulit terdegradasi, serta mampu mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan, terutama pada ikan. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan tingkat konsumsi ikan per kapita yang tinggi menghadapi potensi pajanan merkuri melalui jalur oral atau ingesti. Sejumlah penelitian ARKL di berbagai wilayah Indonesia telah melaporkan keberadaan merkuri pada ikan dengan variasi *intake*, populasi, dan tingkat risiko. Namun, hasil-hasil penelitian tersebut masih tersebar dan terbatas pada wilayah studi tertentu sehingga belum memberikan gambaran risiko kesehatan pada skala nasional. Oleh karena itu, bagaimana risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan di Indonesia berdasarkan studi *systematic review*?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk menilai risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan di Indonesia dengan menggunakan pendekatan *systematic review*.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Mengidentifikasi jenis ikan yang terkontaminasi merkuri di Indonesia.
2. Mengidentifikasi konsentrasi merkuri pada ikan di Indonesia.
3. Mengidentifikasi *intake* ikan yang terkontaminasi merkuri di Indonesia.
4. Mengidentifikasi tingkat risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan di Indonesia.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khasanah keilmuan Kesehatan Masyarakat, terutama di bidang Kesehatan Lingkungan dan Toksikologi Lingkungan melalui kajian penilaian risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi konseptual dan metodologis bagi pengembangan studi sejenis di masa mendatang.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Bagi Pemerintah

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah berbasis bukti untuk mendukung penyusunan kebijakan, strategi mitigasi, serta program keamanan

pangan di tingkat nasional maupun daerah terkait pajanan merkuri melalui konsumsi ikan.

2. Bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai potensi risiko kesehatan akibat pajanan merkuri serta mendorong perilaku konsumsi ikan yang lebih aman dan beragam.

3. Bagi peneliti selanjutnya

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan ilmiah bagi penelitian lanjutan terkait pajanan merkuri melalui konsumsi ikan sehingga dapat memperluas pemahaman mengenai risiko pajanan logam berat dan dampaknya terhadap kesehatan manusia.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menilai risiko kesehatan akibat pajanan merkuri melalui konsumsi ikan di Indonesia. Penelitian menggunakan desain *systematic review*. *Systematic review* merupakan metode yang digunakan untuk mengumpulkan, mengidentifikasi, serta menganalisis berbagai hasil penelitian yang tersedia melalui prosedur yang terstruktur dan sistematis.⁽⁴⁴⁾ Penelusuran artikel ilmiah dilakukan terhadap publikasi berbahasa Indonesia dan Inggris yang terbit dalam rentang tahun 2015–2026. Pencarian artikel ilmiah dilakukan pada empat *database*, yakni *PubMed*, *ScienceDirect*, Garuda, dan *Google Scholar*. Setiap artikel akan diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi mengikuti protokol PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) untuk menjamin transparansi, ketelitian, dan validitas hasil penelitian.