
**Mengabaikan Tanda Awal, Menghancurkan Generasi:
Pelajaran dari Penyakit Minamata**

Immanuel Valentino Hutauruk, Michael Tosi Lumban Tobing, Defri Yona✉
Universitas Brawijaya

ABSTRAK

Penyakit Minamata adalah kondisi yang disebabkan oleh keracunan merkuri akibat pencemaran lingkungan, yang pertama kali teridentifikasi di Kota Minamata, Jepang, pada tahun 1956. Perusahaan Chisso membuang limbah dimana merkuri anorganik yang dibuang berubah menjadi merkuri organik akibat metilisasi bakteri anaerob, menjelaskan proses bioakumulasi dan biomagnifikasi metil merkuri pada biota dan manusia serta dampaknya terhadap kesehatan ekosistem dan manusia. Metode yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan studi literatur untuk mengumpulkan data relevan dari berbagai sumber. Limbah industri yang mengandung merkuri anorganik dapat berubah menjadi metil merkuri yang lebih berbahaya, mengakibatkan akumulasi dalam rantai makanan, terutama pada ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat. Rekomendasi yang dihasilkan adalah perlunya pengelolaan lingkungan yang lebih baik dan kesadaran masyarakat untuk mencegah terulangnya tragedi Minamata di masa depan.

Kata kunci: Penyakit Minamata, Metil merkuri, Lingkungan, Kesehatan manusia

Ignoring Early Signs, Ruining a Generation: Lessons from Minamata Disease

ABSTRACT

Minamata disease is a condition caused by mercury poisoning due to environmental pollution, which was first identified in Minamata City, Japan, in 1956. The Chisso Company disposed of waste where the discarded inorganic mercury was converted into organic mercury due to methylation by anaerobic bacteria, explaining the process of bioaccumulation and biomagnification of methyl mercury in biota and humans and its impact on ecosystem and human health. The method used is qualitative descriptive with literature studies to collect relevant data from various sources. Industrial waste containing inorganic mercury can be converted into more dangerous methyl mercury, resulting in accumulation in the food chain, especially in fish consumed by the community. The resulting recommendation is the need for better environmental management and public awareness to prevent a repeat of the Minamata tragedy in the future.

Keywords: Minamata disease, methyl mercury, Environment, Human health

PENDAHULUAN

Minamata Disease merupakan kondisi penyakit yang disebabkan oleh keracunan merkuri akibat pencemaran lingkungan yang pertama kali diidentifikasi di Kota Minamata, Jepang, pada tahun 1956. Penyakit ini disebabkan oleh konsumsi makanan laut yang telah terkontaminasi merkuri dari limbah pabrik Chisso, dan menyerang sistem saraf yang dapat menyebabkan kematian dalam kasus yang parah (Komatsubara, 2021). Pengakuan resmi pertama tentang penyakit ini terjadi

pada 1 Mei 1956, ketika dua saudara perempuan muda dengan gejala gangguan neurologis yang tidak biasa dilaporkan ke otoritas kesehatan setempat (Yorifuji, 1978). Penyakit ini menimbulkan berbagai masalah kesehatan, termasuk kematian dan cacat permanen, terutama pada janin yang terpapar metil merkuri selama kehamilan. Sayangnya, masih kurangnya kesadaran dan perhatian masyarakat mengenai bahaya konsumsi ikan yang terkontaminasi senyawa

✉ Corresponding author
Address : Malang, Jawa Timur
Email : defri.yona@ub.ac.id

merkuri yang dapat meningkatkan risiko paparan penyakit ini. Di sisi lain pada saat itu diagnosis dan penanganan penyakit ini masih minim, yang membutuhkan standar diagnostik yang jelas serta dukungan medis bagi pasien. *Minamata Disease* tidak hanya berpengaruh terhadap kesehatan, tetapi juga memengaruhi kehidupan sosial sekaligus ekonomi masyarakat yang terdampak, termasuk stigma sosial dan kesulitan ekonomi (Murata & Sakamoto, 2019).

Metil merkuri, merupakan hasil dari merkuri anorganik sebagai produk sampingan dalam proses pembuatan asetaldehida oleh pabrik di Minamata, dan hasil olahan tersebut dibuang langsung ke Teluk Minamata. Penduduk yang mengonsumsi ikan dan kerang yang terkontaminasi metil merkuri dari teluk tersebut mulai mengalami keracunan (Sakamoto et al., 2018). Masyarakat lokal di Jepang yang mendiami daerah di sekitar pabrik seperti di Minamata, secara tidak sadar membiarkan kerusakan lingkungan terus terjadi. Seiring dengan perkembangan industri, terjadi pula perubahan sosial yang secara tidak langsung turut mempengaruhi terjadinya pencemaran. Pemerintah cenderung memandang masalah ini dari perspektif industri sebagai pencemar, bukan dari sisi masyarakat yang terdampak akibat pencemaran serta lingkungan yang rusak (Puteri, 2017). Melalui hal tersebut pihak masyarakat yang terkena dampak limbah industri seharusnya lebih bijak dalam menyikapi hal ini. Masyarakat berhak atas lingkungan dan tempat tinggal yang bebas akan pencemaran dan menolak pertumbuhan pabrik-pabrik yang dapat mencemari daerah penduduk. Tidak hanya masyarakat, pemerintah juga harus lebih memperhatikan sebagai pihak yang berwenang.

Kasus pencemaran merkuri di Minamata merupakan masalah yang menjadi perhatian internasional. Merkuri merupakan jenis logam berat yang bersifat sangat toksik bagi manusia yang memiliki sifat beracun paling tinggi dibandingkan dengan logam-logam lainnya seperti

Arsen (As), Timbal (Pb), Kromium (Cr), Perak (Ag), Nikel (Ni), Seng (Zn), Timah (Sn) dan Kadmium (Cd). Di Indonesia, merkuri digunakan pada pengolahan emas sebagai bahan ekstrak emas dari bijihnya. Merkuri yang dibuang langsung ke perairan akan mengendap dan diserap oleh organisme di perairan. Pada dasarnya di alam terdapat proses alam yang dapat mengubah merkuri menjadi metil merkuri yang lebih berbahaya (Sumarjono, 2020). Metil merkuri dapat disimbolkan sebagai merkuri (II) sulfida. Metil merkuri telah digunakan sebagai pigmen merah sejak ribuan tahun lalu, meskipun diketahui beracun, dan masih digunakan dalam pengobatan, termasuk untuk sifilis hingga Perang Dunia II. Toksisitas merkuri bervariasi tergantung pada bentuknya, dengan senyawa organik seperti metil merkuri menjadi yang paling berbahaya karena dapat terakumulasi dalam rantai makanan, mirip dengan kasus *Minamata Disease* yang terjadi akibat masyarakat memakan ikan yang terpapar limbah pabrik berupa metil merkuri (Langford & Ferner, 1999). Tingkat toksisitas merkuri dilihat berdasarkan struktur kimianya seperti proses masuk ke tubuh dan lamanya pemaparan. Pada ginjal, merkuri terakumulasi dalam bentuk ion (Hg^{2+}) dan pada otak metil merkuri terakumulasi dalam bentuk (CH^3Hg) (Salam et al., 2023). Pada kasus *Minamata Disease* bagian tubuh yang diserang adalah sistem saraf dan otak, menandakan metil merkuri sangat beracun.

Kasus tragis di Minamata telah mengakibatkan penderitaan yang berkepanjangan, pada tahun 2012 sebanyak 65.000 korban terdaftar sebagai penderita Penyakit Minamata. Kasus ini merupakan sebuah peristiwa yang menunjukkan bahwa kasus pencemaran lingkungan merupakan bahaya yang serius. Perubahan merkuri anorganik menjadi merkuri organik, khususnya metil merkuri, akibat limbah industri yang mencemari perairan menunjukkan hal itu menjadi masalah yang memerlukan pemahaman dan perhatian lebih lanjut. Meskipun penelitian sebelumnya

menunjukkan bahwa mikroorganisme di perairan dapat mengubah merkuri anorganik menjadi metil merkuri, perlu pemahaman lebih lanjut terkait faktor lingkungan seperti temperatur, pH, dan keberagaman mikroorganisme yang mempengaruhi proses ini. Dalam konteks Minamata, limbah merkuri yang dibuang memicu terjadinya proses akumulasi metil merkuri dalam ikan, namun penelitian lebih lanjut diperlukan dalam mengetahui bagaimana berbagai ekosistem yang terkontaminasi dapat mendukung proses biotransformasi merkuri.

Kurangnya pemahaman yang mendalam tentang bagaimana faktor-faktor lingkungan seperti suhu, pH, dan keberagaman mikroorganisme dapat mempengaruhi proses biotransformasi merkuri di berbagai ekosistem adalah celah pengetahuan yang signifikan. Celah ini menghambat pemahaman tentang risiko dan dampak jangka panjang perubahan merkuri di berbagai ekosistem, yang perlu diperhatikan adalah untuk mencegah tragedi serupa di masa depan melalui pengelolaan lingkungan yang lebih baik dan mitigasi risiko pencemaran merkuri. Kasus penyakit Minamata merupakan salah satu contoh pencemaran lingkungan dengan sejarah penyelesaian yang panjang. Banyak pihak yang terlibat serta berbagai peristiwa penting terjadi selama upaya penanganan kasus ini. Penyelidikan ilmiah, proses hukum, dan pemberian kompensasi berlangsung bertahun-tahun, dengan puncaknya di kesepakatan internasional melalui Konvensi Minamata. Pemerintah Jepang dan Chisso dianggap bertanggung jawab atas keracunan merkuri yang dialami masyarakat Minamata. Penyelesaian kasus penyakit Minamata memakan waktu sekitar 61 tahun yang dituangkan dalam sebuah gambar infografis (Gambar 1).

Tujuan penulisan kajian pustaka ini adalah untuk menjelaskan dan menggali informasi lebih dalam mengenai proses metilasi merkuri anorganik menjadi merkuri organik, khususnya metil merkuri, dalam berbagai kondisi



Sumber : Data Sekunder Diolah, (2024)

Gambar 1
Infografis Kronologi Penyakit Minamata

lingkungan. Perlunya pemahaman lebih lanjut terkait dampak limbah merkuri yang dibuang ke perairan hingga ke laut dan dampaknya terhadap kesehatan ekosistem. Perlu disadari juga bahwa dampak dari limbah merkuri bukan hanya pencemaran lingkungan namun juga mempengaruhi kesehatan manusia.

METODE PENELITIAN



Sumber : Data Sekunder Diolah, (2024)

Gambar 2
Peta Area Paparan Limbah Chisso

Metode dalam penyusunan artikel ini adalah metode kualitatif deskriptif dengan mencari sumber data melalui studi literatur atau *literature review*. Data tersebut diperoleh secara kualitatif melalui literatur berupa jurnal atau penelitian yang sebelumnya telah dilakukan. Hasil penelitian yang diperoleh merupakan penelitian yang relevan dengan pembahasan pada artikel yang akan disusun. Sumber data yang diperoleh dapat diambil dari literatur dalam bentuk buku atau melalui jurnal dan literatur. Data-data yang sudah diperoleh selanjutnya dianalisis dengan metode analisis deskriptif. Analisis deskriptif merupakan pendeskripsian fakta-fakta yang selanjutnya dilakukan analisis, tidak hanya diuraikan melainkan juga memberikan pemahaman dan penjelasan secukupnya (All Habsy et al., 2017). Pada kajian ini, informasi serta literatur yang dikutip dan menjadi sumber referensi merupakan informasi dan literatur yang relevan dengan pembahasan kasus *Minamata Disease* dengan menekankan pada kata kunci, metilmerkuri.

Lokasi kejadian kasus Penyakit Minamata dan area paparan yang terkena limbah pembuangan Pabrik Chisso

disajikan dalam Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Ilmiah Metil Merkuri

Kasus penyakit minamata merupakan kasus yang sangat wajar ketika membahas soal pencemaran lingkungan. Penyakit ini menjangkiti penduduk setempat yang mengkonsumsi ikan dari laut dikawasan sekitar setelah ditemukan kucing mati akibat memakan ikan yang mati di tepi pantai. Dilakukan penelitian terhadap limbah industri *Chisso Company's*, terbukti bahwa air limbah pabrik tersebut mengandung mangan, selenium, thalium, dan senyawa kimia lainnya seperti metil merkuri yang terakumulasi pada tubuh ikan yang dikonsumsi oleh penduduk (Indrayani, 2011). Merkuri beserta turunannya memiliki sifat yang beracun di lingkungan perairan dan dapat mengancam kesuburan dan kesehatan ekosistem perairan karena sifatnya yang stabil dalam sedimen. Merkuri atau metil merkuri pada air memiliki sifat larut yang rendah sehingga mudah diserap dan terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme air seperti fitoplankton. Merkuri pada perairan dapat mengalami peningkatan jika merkuri terus di buang ke perairan. Fluktuasi merkuri di

lingkungan air, terutama di daerah estuarin dan daerah pantai ditentukan oleh proses presipitasi, sedimentasi, flokulasi dan reaksi adsorpsi desorpsi (Setiyono & Annisa, 2012).

Merkuri dalam limbah diubah menjadi metil merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) oleh aktivitas mikroorganisme melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam jaringan tubuh biota air. Kadar merkuri dalam biota dapat mencapai level berbahaya bahkan sampai kepada kesehatan manusia melalui konsumsi biota atau hewan air tersebut (Putranto, 2011). Bioakumulasi adalah proses akumulasi bahan kimia tertentu oleh organisme, seperti logam berat, di dalam tubuh mereka. Akumulasi dapat terjadi melalui proses absorpsi atau penyerapan yang berlangsung melalui saluran pernapasan dan pencernaan. Seiring waktu, proses ini menyebabkan peningkatan kadar logam berat dalam jaringan tubuh organisme perairan, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kematian organisme tersebut (Triana et al., 2012). Biomagnifikasi merupakan proses dimana tingkat konsentrasi polutan meningkat pada organisme melalui rantai makanan (Wicaksono et al., 2016).

Metil merkuri hasil limbah pabrik di perairan sungai dapat terbawa ke laut dan terakumulasi pada berbagai biota laut (Bernadus et al., 2021). Merkuri biasanya masuk ke lingkungan melalui aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil (batubara), pertambangan emas, dan pelepasan limbah industri. Pada alam merkuri dilepaskan melalui letusan gunung berapi dan pelapukan batuan yang mengandung merkuri (Wijaya, 2020). Merkuri yang masuk ke lingkungan pada peristiwa ini merupakan merkuri berjenis anorganik, baik dalam bentuk uap merkuri (Hg_0) atau dalam bentuk merkuri dua valensi (Hg^{2+}), yang merupakan hasil pembuangan Pabrik Chisso (Gambar 3). Merkuri anorganik dapat mengendap di sedimen dasar perairan dan berinteraksi dengan partikel padat di dalam air, seperti mineral atau bahan organik. Merkuri cenderung terakumulasi dalam fraksi



Sumber: Yorifuji et al. (2013)

Gambar 3
Pembuangan Limbah Chisso

organik tanah, dan berinteraksi dengan bahan organik serta mineral tanah, yang mempengaruhi distribusi dan stabilitas merkuri dalam sedimen (Gardner et al., 2010). Pengendapan merkuri di sedimen dapat mendorong terjadinya perubahan merkuri menjadi merkuri organik akibat keberadaan materi organik pada sedimen (He et al., 2019).

Bioakumulasi dan Biomagnifikasi Metil Merkuri di Perairan

Ekosistem air, terutama di daerah kaya akan bahan organik seperti sedimen di dasar sungai, laut, atau danau, terdapat mikroorganisme anaerob yakni bakteri pengurang sulfat dan metanogen, seperti yang terjadi pada Sungai Niigata dan Laut Shiranui (Rich & Maier, 2015). Mikroorganisme ini memiliki kemampuan untuk mengubah merkuri anorganik (Hg^{2+}) menjadi merkuri organik melalui proses yang disebut metilasi (Ettlinger, 2015). Metilasi adalah proses di mana gugus metil (CH_3^-) ditambahkan pada merkuri anorganik, membentuk senyawa merkuri organik (Jaffery, 2022). Produk utama dari proses ini adalah metil merkuri (CH_3Hg^+), yang merupakan bentuk merkuri organik yang paling beracun (Mccaslin, 2023) (Gambar 4). Proses metilasi ini terjadi terutama dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen), seperti di lapisan sedimen dasar (Luo et al., 2023). Metil



Sumber : Data Sekunder Diolah, (2024)

Gambar 4

Perubahan Merkuri menjadi Metil Merkuri

merkuri yang dihasilkan oleh mikro-organisme di sedimen laut kemudian diserap oleh plankton dan organisme kecil lainnya yang menjadi makanan bagi ikan-ikan kecil. Ikan kecil ini kemudian dimakan oleh ikan-ikan yang lebih besar, sehingga metil merkuri terus terakumulasi dalam rantai makanan (Abdolvand et al., 2014), (Gambar 5). Proses bioakumulasi ini menyebabkan konsentrasi metil merkuri meningkat di organisme tingkat trofik yang lebih tinggi, termasuk ikan predator besar dan manusia yang mengonsumsinya (Gambar 6).

Metil merkuri sangat toksik dan dapat merusak sistem saraf, khususnya pada janin yang sedang berkembang (Liu et al., 2012). Pada manusia, konsumsi ikan atau makhluk air yang mengandung metil merkuri dapat menyebabkan keracunan merkuri. Hal ini yang menyebabkan terjadinya diskriminasi pada masyarakat Minamata (Seki, 2006). Korban dianggap

sebagai "pembawa penyakit" dan diperlakukan seperti mereka berbahaya, yang menyebabkan isolasi sosial. Mereka sering kali tidak diizinkan berinteraksi dengan masyarakat lainnya, termasuk di sekolah dan tempat kerja. Kadar merkuri tinggi yang terakumulasi dalam tubuh manusia diketahui dapat mengganggu kesehatan, seperti ataksia, menurunnya kemampuan bicara dan pendengaran, tremor, dan sebagainya. Pada tingkat lanjut, merkuri yang terakumulasi pada tubuh dapat memberikan dampak yang lebih buruk seperti lumpuh, gila, kritis yang menyebabkan koma hingga berujung kematian (Hariyoto, 2017). Salah satu pertanda awal pada kasus Minamata merupakan kasus kucing menari akibat efek keracunan metil merkuri yang didapat dari memakan ikan yang terkena limbah pembuangan Pabrik Chisso (Gambar 7). Kejadian ini yang terjadi kepada masyarakat Minamata dimana



Sumber: Data Sekunder Diolah, (2024)

Gambar 5
Proses Bioakumulasi



Sumber: Data Sekunder Diolah, (2024)

Gambar 6
Proses Biomagnifikasi



Sumber : Timetoast, (2024)

Gambar 7
Kucing menari

total korban pada kasus penyakit Minamata sebanyak 2.273 pasien teridentifikasi (Yorifuji et al., 2013). Merkuri dalam tubuh manusia dapat bercampur dengan enzim yang terdapat dalam tubuh.

Merkuri masuk ke dalam tubuh melalui penyerapan oleh beberapa sistem pada tubuh manusia. Saluran pernapasan, pencernaan, dan kulit dapat menjadi jalur masuknya merkuri pada sistem tubuh. Metil merkuri juga dapat mengganggu perkembangan saraf pada embrio, janin, balita, dan anak-anak. Hal ini bisa terjadi karena makanan yang terkontaminasi metil merkuri dikonsumsi oleh wanita yang sedang mengandung dan dapat terkandung dalam air susu ibu (ASI) (Sumarjono, 2020). Dari hal hal tersebut sudah sangat jelas bahwa pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan industri sangat berbahaya dan mengancam tatanan kehidupan hingga kembali lagi ke manusia itu sendiri. Masyarakat sebagai konsumen sebaiknya lebih bijak lagi dalam menanggapi hal ini yakni terkait cemaran merkuri di perairan. Di era modern ini merkuri masih menjadi hal yang sangat perlu perhatian lebih, karena keberadaannya terdapat di kehidupan sehari-hari dan tidak dapat dihindari. Merkuri digunakan pada termometer, karena merupakan air raksa, yaitu logam cair. Merkuri juga digunakan pada kegiatan penambangan emas dan produksi baterai (Maryani, 2016). Pada penambangan emas merkuri digunakan untuk mengekstrak emas dari bijihnya. Merkuri digunakan untuk memisahkan butir-butir emas dari batuan, kemudian endapannya disaring menggunakan kain agar menyisakan emas dan juga air yang mengandung merkuri. Air tersebut selanjutnya dibiarkan mengalir begitu saja ke sungai atau ke perairan lainnya.

Kasus Pencemaran Metil Merkuri dan Penanganannya di Indonesia

Kegiatan penambangan emas menjadi sumber pencemaran merkuri atau metil merkuri di perairan yang telah banyak ditemukan di Indonesia. Seperti kasus limbah merkuri oleh PT Newmont

Minahasa Raya yang membuang limbah hasil produksi pengolahan bijih emas dan tembaga. Limbah dibuang ke perairan Teluk Buyat di pantai selatan Minahasa, Sulawesi Utara. Nelayan mengeluhkan tentang angka kematian ikan mendadak yang tinggi dan meminta pemerintah Indonesia melakukan penyelidikan. Warga juga melaporkan gangguan kesehatan yang dialami berupa tremor, sakit kepala, dan beberapa area tubuh yang membengkak. Setelah dilakukan uji laboratorium pada sampel darah warga setempat, hasil uji lab menunjukkan kontaminasi merkuri dan arsen pada darah yang tidak biasa. Selain itu terdapat penelitian yang menyatakan terdapat merkuri pada ikan dan gastropoda yang melampaui batas maksimum (Rayhan & Pramesty, 2023). Merkuri juga digunakan dalam produksi dan bahan tambahan produk kosmetik yang fungsinya mempercepat pemutihan pada kulit wajah (Hadi, 2013).

Masyarakat sebagai konsumen yang terdampak langsung harus lebih waspada terhadap pencemaran metil merkuri dalam kehidupan sehari-hari. Setiap individu berhak mendapatkan lingkungan yang bersih dan bebas dari kontaminasi zat berbahaya seperti logam berat merkuri. Salah satu langkah pencegahan yang dapat dilakukan adalah dengan menghentikan konsumsi produk yang mengandung merkuri. Produsen juga memiliki tanggung jawab dalam memastikan bahan baku yang digunakan aman dan tidak berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan. Selain itu, kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah industri harus ditingkatkan agar tidak sembarangan dibuang ke alam. Pemerintah sebagai pihak berwenang perlu mengawasi dan mengendalikan pembuangan limbah yang mengandung merkuri agar tidak mencemari ekosistem. Tindakan tegas terhadap industri yang masih menggunakan merkuri sangat diperlukan untuk mencegah terulangnya kasus Minamata Disease. Ketiga pihak tersebut yaitu, masyarakat, pabrik industri, dan pemerintahan merupakan

tiga *stakeholder* yang saling mempengaruhi dalam kasus *Minamata Disease* (Tabel 1).

Solusi Berkelanjutan dalam Pengendalian Pencemaran Metil Merkuri

Mengenai kasus pencemaran lingkungan metil merkuri beberapa pemerintahan dunia telah mengambil langkah-langkah dalam pengendalian masalah pencemaran ini melalui berbagai regulasi. Jepang, yang mengalami tragedi *Minamata*, menerapkan *Mercury Pollution Control Act* untuk memastikan pengolahan limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Di Amerika Serikat, EPA menetapkan *Mercury and Air Toxics Standards* (MATS) yang mewajibkan industri memasang teknologi penyaringan karbon aktif guna mengurangi emisi merkuri hingga 90%. Indonesia juga menerapkan kebijakan serupa melalui Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 yang mengatur pengelolaan limbah B3, termasuk merkuri dari industri. Selain itu, pemerintah Indonesia mengembangkan teknologi bioremediasi sebagai solusi pengurangan pencemaran merkuri di perairan. Upaya ini bertujuan untuk mencegah akumulasi merkuri dalam ekosistem yang dapat membahayakan kesehatan manusia (Bell et al., 2014).

SIMPULAN

Minamata Disease merupakan kasus pencemaran lingkungan yang sangat serius dan menjadi yang terbesar di dunia. Pencemaran pada kasus ini melibatkan lingkungan perairan mulai dari sungai hingga ke laut. Melalui kasus ini banyak informasi serta pemahaman yang lebih terkait suatu logam berat yaitu merkuri. Merkuri merupakan jenis logam berat yang memiliki sifat beracun dan berbahaya bagi tubuh organisme dan terutama manusia. Merkuri yang dihasilkan dari limbah pabrik merupakan merkuri jenis anorganik. Pada alam merkuri anorganik akan diubah dalam proses metiliasi menjadi metil merkuri yang merupakan bentuk merkuri yang lebih berbahaya. Proses metiliasi dibantu oleh bakteri atau mikroorganisme di sedimen perairan (sungai). Metil merkuri

pada sedimen dilepaskan ke kolom perairan dan terbioakumulasi pada fitoplankton dan terbiomagnifikasi hingga ke manusia. Dampak dari biomagnifikasi merkuri selanjutnya akan mengganggu kesehatan manusia terutama gangguan neurologis. Hal ini menunjukkan bahwa logam berat merkuri merupakan hal yang mengancam ekosistem dan menjadi hal yang perlu perhatian serius. Pemerintah, industri dan masyarakat merupakan tiga pihak penting yang berperan dalam kasus ini mulai dari pemicunya hingga penanganannya. Kesadaran dari ketiga pihak ini menjadi hal yang penting agar kasus *Minamata Disease* tidak terulang lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdolvand, S., Esfahani, S. K., & Dmirchi, S. (2014). Mercury (Hg) and methyl mercury (MMHg) bioaccumulation in three fish species (sea food) from Persian Gulf. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 6(3), 192–198. <https://doi.org/10.1007/s13530-014-0204-y>
- All Habsy, B., Hidayah, N., Boli Lasan, B., & Muslihati, M. (2017). A Literature Review of Indonesian Life Concept Linuwih Based on the Teachings of Adiluhung Raden Mas Panji Sosrokartono. 128(Icet), 64–73. <https://doi.org/10.2991/icet-17.2017.10>
- Bell, L., DiGangi, J., & Weinberg, J. (2014). An NGO Introduction to Mercury Pollution and the Minamata Convention on Mercury. *Ipen, May*, 1–209.
- Bernadus, G. E., Polii, B., & Alfred Rorong, J. (2021). Dampak Merkuri Terhadap Lingkungan Perairan Sekitar Lokasi Pertambangan Di Kecamatan Loloda Kabupaten Halmahera Barat Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Transdisiplin Pertanian*, 5, 599–610.
- Ettlinger, V. (2015). *The Effect of Temperature and Dissolved Organic Carbon on the Mercury Uptake in Fish* [Bachelor Thesis, Umeå Universitet]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:820582/FULLTEXT01.pdf>

- Funabashi, H. (2006). Minamata disease and environmental governance. *International Journal of Japanese Sociology*, 15(1), 7–25. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6781.2006.00082.x>
- Gardner, R. M., Nyland, J. F., & Silbergeld, E. K. (2010). Differential immunotoxic effects of inorganic and organic mercury species in vitro. *Toxicology Letters*, 198(2), 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.06.015>
- Hadi, M. C. (2013). *Bahaya Merkuri di Lingkungan Kita*. 2(10), 175–183.
- Hariyoto, F. D. (2017). Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Seng (Zn) Dan Merkuri (Hg) Di Perairan Beserta Dampaknya Bagi Produk Perikanan Dan Kesehatan Manusia. *Buletin Matric*, 14(2), 52–55.
- He, M., Tian, L., Braaten, H. F. V., Wu, Q., Luo, J., Cai, L. M., Meng, J. H., & Lin, Y. (2019). Mercury–Organic Matter Interactions in Soils and Sediments: Angel or Devil? *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(5), 621–627. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2523-1>
- Indrayani, L. (2011). Peran Sampel Lingkungan sebagai Alat Bukti dalam Penegakan Hukum terkait Masalah Lingkungan Hidup. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX*, 51–56.
- Jaffery, Z. (2022). The Mechanism of Methylmercury Permeation through the Blood-Brain Barrier using Caenorhabditis Elegans. *Preprint, June*, 1–19. <https://doi.org/10.20944/preprints202206.0303.v2>
- Komatsubara, O. (2021). The role of literary artists in environmental movements: Minamata disease and michiko ishimure. *International Journal for Crime, Justice and Social Democracy*, 10(3), 71–84. <https://doi.org/10.5204/ijcsd.1984>
- Langford, N. J., & Ferner, R. E. (1999). Toxicity of Mercury. *Journal of Human Hypertension*, 13(March), 651–656. <https://www.nature.com/articles/1000896>
- Liu, G., Cai, Y., & O'Driscoll, N. (2012). *Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Luo, H., Cheng, Q., He, D., Sun, J., Li, J., & Pan, X. (2023). Recent advances in microbial mercury methylation: A review on methylation habitat, methylator, mechanism, and influencing factor. *Process Safety and Environmental Protection*, 170(November 2022), 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.12.007>
- Maryani, S. (2016). Kontaminasi Logam Berat Dalam Buah Melon (Studi Kasus Tanaman Melon Yang Di Tanam Di Wilayah Tambang Batubara). *Publikasi Penelitian Terapan Dan Kebijakan*, 8(3), 12.
- Mccaslin, E. (2023). Review of Mercury Sequestration in Cementitious Waste Forms. *Savannah River National Laboratory, December*.
- Mercury Free Society Network Indonesia. (2022). *Penyakit Minamata*. Mercury Free Society Network Indonesia.
- Murata, K., & Sakamoto, M. (2019). Minamata disease. *Encyclopedia of Environmental Health, March*, 401–407. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.02075-3>
- Puteri, Y. E. (2017). Tragedi Minamata: Tinjauan Dampak Industrialisasi Jepang Pasca Perang Dunia II. *Jurnal Bahasa Asing*, 13(13), 59–80.
- Putranto, T. T. (2011). Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air Tanah. *Teknik*, 32(1), 62–71. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/1690>
- Rayhan, A., & Pramesty, W. A. (2023). Implementasi Terhadap Minamata Convention on Mercury di Indonesia (Studi Kasus Mengenai Pencemaran Merkuri Dan Arsen Di Teluk Buyat). *Tirtayasa Journal of International Law*, 2(1), 55. <https://doi.org/10.51825/tjil.v2i1.19111>
- Rich, V. I., & Maier, R. M. (2015). Aquatic

- Environments. In *Environmental Microbiology: Third Edition*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00006-5>
- Sakamoto, M., Tatsuta, N., Izumo, K., Phan, P. T., Vu, L. D., Yamamoto, M., Nakamura, M., Nakai, K., & Murata, K. (2018). Health impacts and biomarkers of prenatal exposure to methylmercury: Lessons from Minamata, Japan. *Toxics*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/toxics6030045>
- Salam, R. H., Fauzi, T., Sudharmawan, A. A. K., Mulyati, & Suwardji. (2023). Remediation of Ex-Unlicensed Gold Mining Using Rice Husk Biochar: its Effect on Reducing Mercury Levels. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(2), 81–92. <https://doi.org/10.29303/jbt.v23i2.6063>
- Seki, R. (2006). Participatory research by niigata minamata disease victims, and empowerment of these victims. *International Journal of Japanese Sociology*, 15(1), 26–39. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6781.2006.00083.x>
- Setiyono, A. & D., & Annisa. (2012). Pengaruh Konsumsi Ikan dan Hasil Pertanian Terhadap Kadar Hg Darah. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(2), 110–116.
- Sumarjono, E. (2020). Kompleksitas Permasalahan Merkuri Dalam Pengolahan Bijih Emas Berdasarkan Perspektif Teknis Lingkungan Manusia Dan Masa Depan. *Kurvatek*, 5(1), 113–122. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v5i1.1833>
- Triana, L., Nurjazuli, & Endah, N. (2012). Analisis Cemar Logam Berat Merkuri pada Air dan Udang di Sungai Mandor Kecamatan Mandor Kabupaten Landak. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 11(2), 144–152.
- Wicaksono, E. A., Sriati, & Lili, W. (2016). Sebaran Logam Berat Timbal (Pb) Pada Makrozoobenthos Di Perairan Waduk. *Jurnal Perikanan Kelautan*, VII(1), 103–114.
- Wijaya, M. (2020). *Kimia Lingkungan Malang*. Badan Penerbit UNM.
- Yorifuji, T. (1978). Lessons from early stage Minamata disease. *Public Health*, 107(January 1919), 357–361.
- Yorifuji, T., Tsuda, T., & Harada, M. (2013). Minamata disease: A challenge for democracy and justice. *Late Lessons from Early Warnings: Science, Precaution, Innovation*. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency, 92–130.

Tabel 1
Tiga Pihak yang Berperan dalam Kasus Penyakit Minamata

Pihak yang berkaitan	Peran
Private Sector	Pabrik Chisso : Pihak utama yang bertanggung jawab atas pencemaran metil merkuri di Teluk Minamata. Chisso membuang limbah hasil industri ke sungai tanpa mengetahui akibat jangka panjang. Chisso membayar 2,1 juta yen dan tunjangan medis bulanan kepada penderita gejala penyakit minamata Showa Denko, perusahaan Jepang di bidang kimia dan material, didirikan pada 1921. Seperti Chisso, Showa Denko diduga terlibat kasus pencemaran merkuri melalui pembuangan limbah, yang menyebabkan penyakit Minamata di Jepang. Perusahaan ini telah berupaya untuk memperbaiki praktik lingkungan dan mengurangi dampak negatif dari operasi mereka.
	Mutual Aid Society (Masyarakat Bantuan Bersama) : Organisasi yang dibentuk oleh para korban <i>Minamata Disease</i>, dibentuk pada 1 Agustus 1957 yang memperjuangkan hak dan kompensasi atas penderitaan dari penyakit tersebut. Peneliti dan Ilmuwan : 1. Dr. Komyo Eto, beliau dan timnya, melakukan studi dampak merkuri dan mekanisme keracunan. melakukan penelitian ilmiah tentang <i>Minamata Disease</i> dan pentingnya pengendalian pencemaran merkuri. 2. Dr. Shoji Kitamura, Pada 1956, ia dan timnya dari Universitas Kumamoto menemukan hubungan kuat antara konsumsi ikan di Teluk Minamata yang terkontaminasi metil merkuri dan gejala neurologis pada penduduk setempat. 3. Douglas Mc Alpine, ahli saraf inggris, mengungkap gejala Minamata mirip dengan keracunan metil merkuri di Maret 1958
Government	Pemerintah Pusat dan Prefektur, bertanggung jawab atas perlindungan kesehatan masyarakat. Awalnya pemerintah tidak mengakui tanggung jawab hukum atas penyebaran penyakit di Minamata. Pada April 2001, Pengadilan Tinggi Osaka memerintahkan Chisso membayar ganti rugi sebesar \$2,18 juta kepada para penggugat. Pada 16 Oktober 2004, Mahkamah Agung Jepang memerintahkan pemerintah membayar ganti rugi sebesar 71,5 juta yen (\$703.000) kepada korban yang terkena dampak penyakit Minamata. Pada 2010, Chisso diperintahkan membayar 2,1 juta yen dan tunjangan medis bulanan kepada penderita gejala penyakit minamata yang awalnya tidak disertifikasi oleh pemerintah. Diadakan konvensi internasional di minamata terkait <i>Minamata Disease</i> pada 10 oktober 2013, sebanyak 101 negara termasuk indonesia menandatangani konvensi tersebut terkait perlindungan dan kesehatan manusia dari dampak negatif merkuri.