

Kadar Hemoglobin dan Status Besi Serum Pada Anak-Anak yang Terpapar Merkuri di Kawasan Pertambangan Emas Tradisional: *Systematic Literature Review*

Hemoglobin Levels And Serum Iron Status In Children Exposed To Mercury In Traditional Gold Mining Areas: A Systematic Literature Review

Dwi Purbayanti^{1*}

Faradila¹

Windya NR¹

Noor Fadillah¹

Rinny Ardina¹

Septi Presiliana¹

¹Universitas Muhammadiyah
Palangkaraya, Indonesia

*email: dwipurbayanti@gmail.com

Abstrak

Praktik penambangan emas skala kecil (ASGM) seringkali membawa risiko kesehatan serius, terutama bagi anak-anak karena penggunaan merkuri dalam proses ekstraksi emas telah terbukti berhubungan dengan masalah kesehatan, termasuk anemia terutama pada anak-anak. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap literatur yang mengkaji hubungan antara paparan merkuri, kadar hemoglobin, dan status besi serum pada anak-anak di kawasan penambangan emas tradisional dengan menggunakan metode PRISMA. Hasil studi menunjukkan bahwa paparan merkuri berhubungan dengan penurunan kadar hemoglobin, yang meningkatkan risiko anemia pada anak-anak. Penurunan kadar hemoglobin terkait dengan paparan merkuri yang lebih tinggi, dengan setiap peningkatan 1 µg/g merkuri dalam rambut anak-anak mengarah pada penurunan kadar hemoglobin sebesar 0.12 g/dL, yang lebih signifikan setelah disesuaikan dengan faktor-faktor lain seperti usia dan status gizi. Selain itu, paparan merkuri juga mempengaruhi sistem imun anak-anak, terutama di wilayah dengan masalah malnutrisi, yang mengurangi respons imun terhadap vaksinasi dan meningkatkan kerentanannya terhadap infeksi.

Kata Kunci:

Tambang Emas, Paparan Merkuri,
Hemoglobin, Besi Serum

Keywords:

Gold-mining, Mercury exposure,
Haemoglobin, Serum Iron

Abstract

Small-scale gold mining (ASGM) practices often pose serious health risks, particularly for children, due to the use of mercury in the gold extraction process. Mercury exposure has been linked to health issues, including anemia, especially in children. This study aims to conduct a systematic review of the literature examining the relationship between mercury exposure, hemoglobin levels, and serum iron status in children living in traditional gold mining areas, following the PRISMA method. The findings of the study indicate that mercury exposure is associated with decreased hemoglobin levels, increasing the risk of anemia in children. Hemoglobin reduction is linked to higher mercury exposure, with each increase of 1 µg/g of mercury in children's hair resulting in a 0.12 g/dL decrease in hemoglobin levels, which becomes more significant when adjusted for factors such as age and nutritional status. Additionally, mercury exposure affects children's immune systems, particularly in areas with malnutrition problems, reducing their immune response to vaccinations and increasing their vulnerability to infections.

PENDAHULUAN

Artisanal and Small-scale Gold Mining (ASGM) berperan sebagai sektor informal yang menjadi sumber mata pencaharian bagi komunitas setempat. Namun, praktik penambangan ilegal tanpa izin resmi dapat mengakibatkan dampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan, terutama pada anak-anak. Penggunaan merkuri dalam proses ekstraksi emas menjadi pilihan

populer di kalangan penambang ASGM karena metodenya yang sederhana dan ekonomis, meskipun beberapa daerah telah beralih menggunakan sianida sebagai alternatif (Keane et al., 2023) Merkuri sering digunakan dalam proses amalgamasi untuk mengekstraksi emas dari bijihnya, namun logam ini sangat toksik dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius (Grandjean & Landrigan, 2006).

Berdasarkan penelitian Meutia et al., (2023) kejadian keracunan di area pertambangan emas didominasi oleh kasus paparan merkuri dibandingkan sianida. Merkuri, sebagai logam transisi beracun, hadir dalam tiga bentuk: unsur, senyawa organik, dan senyawa anorganik. Tingkat toksisitasnya bervariasi tergantung pada bentuk, dosis, lama paparan, usia, dan kondisi kesehatan individu (Wu et al., 2024).

Salah satu kelompok yang paling rentan terhadap efek paparan merkuri adalah anak-anak, karena sistem tubuh mereka yang sedang berkembang lebih mudah terpengaruh oleh zat-zat berbahaya. Dampak kesehatan yang dapat ditimbulkan antara lain gangguan perkembangan saraf, ginjal, serta gangguan metabolisme darah, yang di antaranya tercermin dalam penurunan kadar hemoglobin dan gangguan status besi serum (Ottenbros et al., 2019). Kadar hemoglobin yang rendah pada anak-anak dapat menjadi indikator adanya anemia, yang dapat mengganggu perkembangan fisik dan kognitif mereka. Temuan terbaru oleh Piscopo et al., (2020) mengungkapkan bahwa merkuri dapat mempengaruhi kemampuan hemoglobin dalam mengikat oksigen dan menurunkan kapasitas pertukaran anion pada eritrosit. Perubahan protein sitoskeleton akibat paparan merkuri juga dapat mengubah morfologi sel darah merah, yang berpotensi mengganggu fungsi normalnya.

Di sisi lain, kadar besi serum memainkan peran krusial dalam pembentukan hemoglobin. Zat besi adalah elemen penting dalam struktur hemoglobin, dan defisiensi zat besi adalah penyebab utama anemia defisiensi besi pada anak-anak di banyak negara berkembang (Iannotti et al., 2006). Di kawasan pertambangan emas tradisional, paparan merkuri dapat memengaruhi metabolisme besi dalam tubuh. Merkuri dapat mengganggu proses penyerapan besi di saluran pencernaan atau mengubah cara tubuh menyimpan besi, yang pada akhirnya dapat berkontribusi pada penurunan kadar besi serum dan meningkatnya risiko anemia pada anak-anak (Derflerová Brázdová et al., 2014).

Berbagai penelitian telah mendokumentasikan tingginya kadar merkuri dalam rambut, darah, dan urine anak-anak yang bermukim di sekitar kawasan ASGM mereka (Bose-O'Reilly et al., 2008; Ruggieri et al., 2017). Dampak paparan merkuri dapat mempengaruhi berbagai sistem organ, meliputi sistem saraf, imunitas, kardiovaskular, respirasi, pencernaan, reproduksi, ginjal, paru-paru, dan hematologi (Santos-Lima et al., 2020; Vianna et al., 2022; Zhang, 2019).

Beberapa studi menunjukkan korelasi antara paparan merkuri dengan kejadian anemia pada anak-anak di berbagai lokasi ASGM, seperti di Amazon Peru (Weinhouse et al., 2017). Faktor risiko anemia pada komunitas ASGM semakin kompleks karena berkaitan dengan kondisi kerawanan pangan dan penyakit kronis. Mekanisme toksisitas merkuri melibatkan interaksi dengan gugus thiol pada asam amino sistein, yang dapat mengakibatkan berbagai gangguan seluler termasuk perubahan morfologi dan fungsi sel darah merah (Ajsuvakova et al., 2020).

Penelitian mengenai hubungan antara paparan merkuri dan kadar hemoglobin pada anak-anak yang tinggal di kawasan pertambangan emas tradisional masih terbatas dan seringkali menghasilkan temuan yang bervariasi. Temuan ini menunjukkan pentingnya analisis yang lebih mendalam untuk memahami faktor-faktor yang dapat mempengaruhi status hemoglobin dan besi serum.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan penelitian yang ada adalah melakukan tinjauan literatur sistematis. Tinjauan literatur sistematis ini akan mencakup berbagai jenis penelitian yang relevan, baik yang berfokus pada paparan merkuri maupun yang mengukur kadar hemoglobin dan besi serum pada anak-anak.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap literatur yang ada mengenai hubungan antara paparan merkuri dan kadar hemoglobin serta status besi serum pada anak-anak di kawasan penambangan emas tradisional. Dengan memahami interaksi antara merkuri, gizi, dan kesehatan

anak-anak, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai dampak jangka panjang dari paparan merkuri terhadap kesehatan anak-anak. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk pengembangan kebijakan kesehatan yang dapat mengurangi dampak negatif paparan merkuri di komunitas-komunitas yang terpapar. Pentingnya penelitian ini terletak pada relevansinya terhadap kebijakan pengelolaan lingkungan dan kesehatan masyarakat, terutama di daerah-daerah yang bergantung pada penambangan emas skala kecil. Menurunkan paparan merkuri dan meningkatkan status gizi anak-anak di daerah tersebut dapat menjadi langkah penting untuk mencegah anemia dan meningkatkan kesehatan mereka secara keseluruhan. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi upaya mitigasi risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh aktivitas penambangan emas tradisional.

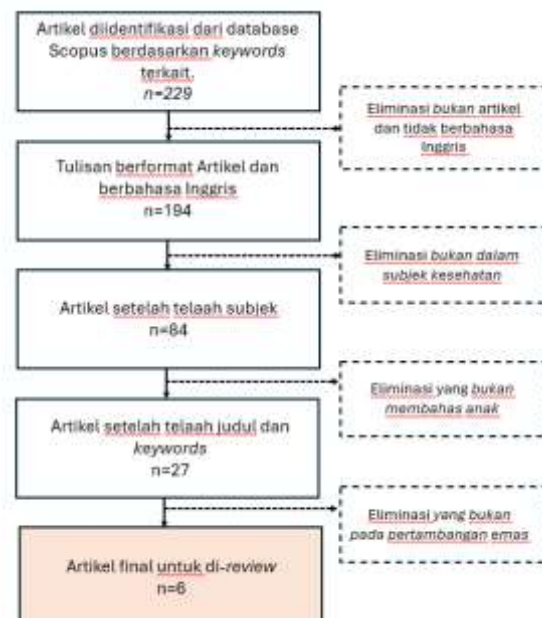
METODE PENELITIAN

Ruang lingkup kajian pustaka sistematis ditentukan dengan menggunakan taksonomi tinjauan literatur Cooper (Cooper, 1985). Taksonomi ini berfungsi untuk mengklasifikasikan tinjauan literatur berdasarkan karakteristik utama artikel. Dalam konteks ini, Taksonomi Cooper digunakan untuk menjabarkan ruang lingkup penilaian dalam enam klasifikasi, yang meliputi fokus, tujuan, organisasi, perspektif, sasaran pembaca, dan cakupan. Penelitian tentang dampak merkuri pertambangan tradisional terhadap kesehatan dibuktikan melalui penelusuran di basis data Scopus yang menghasilkan 1.755 publikasi hingga saat ini. Penentuan ruang lingkup tinjauan berdasarkan taksonomi Cooper dilakukan melalui proses berikut:

1. Fokus: Seleksi artikel untuk kajian ini dipusatkan pada penelitian di bidang kedokteran. Para peneliti terdahulu telah mencatat bahwa sebagian besar penelitian dipublikasikan dalam sektor kedokteran.

Sehingga, penulis memfokuskan pada jurnal di bidang tersebut dan mengecualikan bidang lainnya.

2. Tujuan: Kajian ini bertujuan untuk menganalisis kesenjangan dalam penelitian terkini.
3. Organisasi: Pada tahap awal, penelitian dikategorikan berdasarkan kelompok jurnal yang diterbitkan. Selanjutnya, penelitian disusun ulang secara konseptual menggunakan kerangka analisis yang telah dikembangkan. Aspek keterlibatan dan dampak yang diteliti menjadi titik sentral dalam hierarki konseptual ini.
4. Perspektif: Mengingat tujuan utama kajian ini adalah untuk mengidentifikasi secara objektif kesenjangan dan keterbatasan penelitian, penulis mengadopsi perspektif netral dalam melakukan penelusuran literatur.
5. Sasaran Pembaca: Kajian literatur ini ditujukan untuk kalangan akademisi dan praktisi bidang kedokteran.
6. Cakupan: Penulis memilih untuk memfokuskan pada inti pembahasan setiap artikel dalam kajian ini.

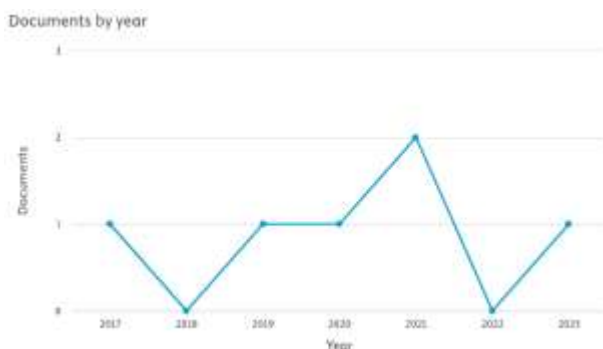


Gambar 1. Metode PRISMA Systematic Literature Review

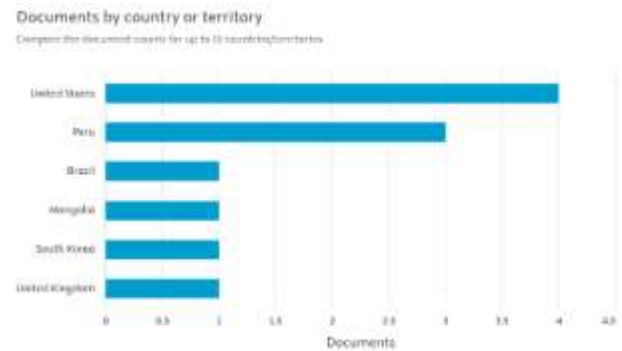
Proses seleksi artikel dilakukan melalui penelusuran dalam basis data Scopus. Kata kunci pencarian yang digunakan adalah kombinasi istilah ("erythrocyte*" OR "red blood cell*" OR "RBC" OR "hemoglobin" OR "haemoglobin" OR "Hb" OR "serum iron" OR "ferritin" OR "transferrin" OR "iron status" OR "haematological parameters" OR "blood indices") AND ("mercury" OR "Hg" OR "methylmercury" OR "MeHg") AND ("environmental exposure"). Dari hasil penelusuran tersebut, diperoleh artikel yang kemudian digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk tahap penyaringan sistematis menggunakan metode PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Setelah ditelaah melalui metode PRISMA, artikel yang akan di-review yang sesuai dengan kriteria berjumlah 6 artikel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan penapisan yang cermat, ditemukan 6 artikel yang akan dikaji dalam *Systematic Literature Review*. Artikel-artikel tersebut mencakup rentang waktu dari tahun 2017 hingga 2024. Pada tahun 2013, penelitian tentang dampak merkuri pada pertambangan tradisional terhadap sel darah merah dan besi mulai berkembang setiap tahunnya hingga saat ini. Grafik tahun publikasi ditunjukkan pada **Gambar 2**. Di antara 6 artikel yang dikaji, 4 di antaranya dilakukan di Amerika Serikat, dilakukan di Peru, dan sisanya dikaji di Brazil, Mongolia, Korea Selatan, dan Inggris. Grafik negara tempat publikasi ditunjukkan pada **Gambar 3**. Daftar 6 artikel yang dikaji ditampilkan pada **Tabel 1**.



Gambar 2. Grafik Tahun Publikasi



Gambar 3. Grafik Negara Tempat Publikasi

Tabel 2. Hasil dari telaah artikel

Nama Penulis	Tahun	Tujuan Penelitian
Berky et al.	2023	Menentukan apakah logam-logam beracun terkait dengan berat lahir rendah dan usia kehamilan yang lebih pendek, terlepas dari perawatan antenatal dan faktor kesejahteraan ibu lainnya.
Perini et al.	2021	Menyelidiki dampak polimorfisme ALAD pada paparan merkuri kronis dan kondisi kesehatan anak-anak asli Amazon Brasil.
Surenbaatar et al.	2021	Mengevaluasi tingkat dan faktor-faktor paparan logam berat pada anak-anak yang tinggal di soum Togttsetsii, Khanbogd, dan Bayandalai di provinsi South Gobi, Mongolia.
Reuben et al.	2020	Menyelidiki hubungan antara kadar merkuri rambut dan perkembangan visual-motor, kognitif, dan fisik pada anak-anak yang tinggal di dekat pertambangan emas skala kecil dan tradisional (ASGM) di Amazon Peru.
Wyatt et al.	2019	Mengevaluasi respons indikator terhadap enam vaksin dari program imunisasi rutin, termasuk hepatitis B, Haemophilus influenzae tipe B, campak, indikator, tetanus, dan difteri pada anak-anak dengan kadar merkuri rambut dan indikator malnutrisi yang bervariasi.
Weinhouse et al.	2017	Menyelidiki pengaruh paparan metilmerkuri terhadap kadar hemoglobin pada anak-anak yang tinggal di dekat pertambangan emas skala kecil di Amazon Peru, dengan mempertimbangkan faktor-faktor risiko anemia lainnya.

Paparan Merkuri dan Dampaknya terhadap Kadar Hemoglobin dan Status Besi Serum

Kadar hemoglobin yang rendah, atau anemia, merupakan masalah kesehatan global yang dapat

berdampak signifikan pada pertumbuhan dan perkembangan anak. Penelitian yang dilakukan di sekitar daerah penambangan emas skala kecil (ASGM) di Peru menunjukkan bahwa sekitar 49% anak-anak di bawah usia lima tahun mengalami anemia dengan kadar hemoglobin kurang dari 11 g/dL. Selain itu, 52% anak-anak berusia 5–11 tahun juga mengalami anemia dengan kadar hemoglobin di bawah 11.5 g/dL (Weinhouse et al., 2017). Hasil ini menunjukkan prevalensi anemia yang cukup tinggi pada anak-anak yang tinggal di daerah yang terpapar merkuri akibat aktivitas penambangan emas. Anemia pada anak-anak ini kemungkinan besar dipicu oleh kombinasi faktor, termasuk kekurangan gizi dan paparan logam berat, seperti merkuri.

Status besi serum merupakan indikator penting dari tingkat defisiensi besi dalam tubuh yang berkontribusi terhadap anemia. Namun, hubungan antara paparan merkuri dan status besi serum anak-anak di daerah penambangan emas skala kecil masih perlu dieksplorasi lebih lanjut. Penelitian menunjukkan bahwa paparan merkuri dapat memperburuk kondisi anemia yang sudah ada, meskipun dalam banyak kasus, defisiensi gizi menjadi faktor utama. Di daerah-daerah dengan tingkat paparan merkuri yang tinggi, anak-anak yang juga mengalami malnutrisi cenderung menunjukkan respons imun yang lebih lemah terhadap vaksinasi dan meningkatkan kerentanannya terhadap infeksi, yang juga dapat memperburuk status besi serum mereka (Wyatt et al., 2019).

Sebuah studi lain yang berfokus pada anak-anak yang terpapar merkuri di daerah Madre de Dios, Peru, menunjukkan bahwa tingginya kadar merkuri rambut pada anak-anak berhubungan dengan penurunan kemampuan kognitif, motorik visual, dan status kesehatan fisik, yang termasuk pengukuran kadar hemoglobin (Reuben et al., 2020). Selain itu, paparan merkuri yang tinggi juga dapat berinteraksi dengan status gizi yang buruk, mempengaruhi respons imun, dan memperburuk dampak paparan logam berat tersebut pada kesehatan anak. Dalam konteks ini, penurunan

kadar hemoglobin dapat mencerminkan efek kumulatif dari paparan merkuri dan kekurangan gizi, yang mengarah pada penurunan daya tahan tubuh anak-anak terhadap infeksi dan penyakit.

Secara keseluruhan, penelitian menunjukkan bahwa paparan merkuri pada anak-anak yang tinggal di daerah dengan aktivitas penambangan emas skala kecil berhubungan dengan penurunan kadar hemoglobin, yang menjadi faktor risiko penting untuk anemia. Kadar hemoglobin yang rendah dapat memperburuk kualitas hidup anak-anak, mempengaruhi perkembangan fisik dan kognitif mereka, serta menurunkan kemampuan mereka untuk melawan infeksi. Oleh karena itu, pengelolaan paparan merkuri dan peningkatan status gizi anak-anak menjadi kunci dalam upaya untuk mengurangi dampak negatif dari anemia dan meningkatkan kesehatan mereka secara keseluruhan.

Hasil penelitian lain yang dilakukan di daerah yang sama menemukan hubungan negatif antara kadar merkuri dalam rambut anak-anak dan kadar hemoglobin mereka. Setiap peningkatan 1 µg/g merkuri dalam rambut berhubungan dengan penurunan kadar hemoglobin sebesar 0.12 g/dL ($\beta = -0.12$, $P = 0.06$), dan setelah disesuaikan dengan faktor-faktor lain seperti usia, jenis kelamin, dan status gizi, penurunan ini menjadi lebih signifikan ($\beta = -0.14$ g/dL, $P = 0.04$) (Berky et al., 2024). Temuan ini mengindikasikan bahwa paparan merkuri berpotensi memperburuk kondisi anemia pada anak-anak, yang mungkin sudah ada sebelumnya akibat masalah gizi dan infeksi yang sering ditemukan di daerah-daerah dengan tingkat keterbatasan sumber daya yang tinggi.

Interaksi Paparan Merkuri, Gizi, dan Respons Imun pada Anak di Daerah Terkena Penambangan Emas

Interaksi antara paparan merkuri, status gizi, dan respons imun pada anak di daerah yang terdampak penambangan emas skala kecil telah menjadi topik penelitian yang menarik. Penambangan emas skala kecil

(ASGM) telah diketahui menyebabkan paparan merkuri yang signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa anak-anak memiliki konsentrasi timbal dan merkuri tertinggi karena paparan tambang emas skala kecil di daerah tersebut, serta memiliki kadar arsenik tertinggi yang disebabkan oleh pengaruh tambang di sekitarnya (Surenbaatar et al., 2021).

Studi lain menunjukkan bahwa paparan merkuri dapat mempengaruhi perkembangan kognitif, motorik visual, serta kesehatan fisik anak-anak yang tinggal di dekat lokasi penambangan. Riset yang dilakukan di Madre de Dios, misalnya, menemukan bahwa kadar merkuri rambut yang tinggi pada anak-anak berhubungan dengan penurunan kemampuan kognitif dan motorik visual. Kadar merkuri rambut yang lebih tinggi dikaitkan dengan penurunan kemampuan kognitif (2.59 unit) dan kesehatan fisik anak-anak (2.43 unit), meskipun pengaruh terhadap kesehatan fisik kurang signifikan (Gonzalez et al., 2019; Reuben et al., 2020).

Namun, paparan merkuri ini tidak berdiri sendiri, melainkan terjadi bersamaan dengan masalah gizi yang sering ditemukan di komunitas-komunitas yang bergantung pada aktivitas penambangan emas. Malnutrisi, khususnya defisiensi gizi seperti rendahnya kadar hemoglobin, memperburuk dampak paparan merkuri pada respons imun anak-anak. Penelitian di Peru menunjukkan bahwa tingkat merkuri yang lebih tinggi dalam rambut anak-anak yang juga mengalami malnutrisi berhubungan dengan penurunan respons antibodi terhadap vaksin tertentu, seperti vaksin difteri dan campak. Ini menunjukkan bahwa status gizi dapat memoderasi atau memperburuk dampak merkuri terhadap sistem imun anak (Wyatt et al., 2019).

Selain itu, paparan merkuri di wilayah-wilayah penambangan emas skala kecil sering kali dikombinasikan dengan faktor risiko lainnya, seperti infeksi enterik dan ketidakmampuan akses ke layanan kesehatan yang memadai. Dalam konteks ini, paparan merkuri bukan hanya mengancam sistem saraf pusat anak, tetapi juga dapat memperburuk hasil vaksinasi dan

memengaruhi status kesehatan secara keseluruhan. Sebagai contoh, di beberapa daerah di Amazon Peru, peningkatan kadar merkuri berhubungan dengan penurunan kadar antibodi terhadap penyakit yang dapat dicegah dengan vaksin, seperti tetanus dan pertusis, yang lebih jelas terjadi pada anak-anak yang lebih tua dan mengalami malnutrisi (Weinhouse et al., 2017). Pada anak-anak dengan status gizi buruk, peningkatan kadar merkuri lebih dari 1.2 µg/g meningkatkan kemungkinan tidak merespon vaksin campak hingga 73.7 kali.

Secara keseluruhan, interaksi antara merkuri, gizi, dan respons imun pada anak-anak yang tinggal di daerah penambangan emas skala kecil menunjukkan bahwa paparan merkuri tidak dapat dilihat sebagai faktor tunggal yang mempengaruhi kesehatan. Paparan merkuri perlu dilihat dalam konteks interaksi kompleks dengan faktor-faktor gizi dan faktor sosial-ekonomi lainnya yang mempengaruhi anak-anak di daerah tersebut. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan pendekatan yang lebih holistik dalam menangani masalah kesehatan anak-anak di daerah ini, dengan memperbaiki kondisi gizi dan meningkatkan akses ke perawatan kesehatan untuk mengurangi dampak negatif paparan merkuri.

KESIMPULAN

Paparan merkuri di daerah penambangan emas skala kecil memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan anak-anak, terutama dalam menurunkan kadar hemoglobin yang berkontribusi pada anemia. Faktor utama yang memperburuk kondisi ini adalah interaksi antara paparan merkuri dan malnutrisi, yang dapat melemahkan respons imun anak-anak terhadap infeksi dan vaksinasi. Selain itu, paparan merkuri juga berdampak pada perkembangan kognitif dan fisik anak-anak, meningkatkan kerentanannya terhadap penyakit. Oleh karena itu, pendekatan holistik yang mencakup perbaikan gizi dan peningkatan akses kesehatan sangat penting untuk mengurangi dampak negatif dari paparan merkuri dan anemia di komunitas-komunitas tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajsuvakova, O. P., Tinkov, A. A., Aschner, M., Rocha, J. B. T., Michalke, B., Skalnaya, M. G., Skalny, A. V., Butnariu, M., Dadar, M., Sarac, I., Aaseth, J., & Björklund, G. (2020). Sulfhydryl groups as targets of mercury toxicity. In *Coordination Chemistry Reviews* (Vol. 417). <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213343>
- Berky, A. J., Weinhouse, C., Vissoci, J., Rivera, N., Ortiz, E. J., Navio, S., Miranda, J. J., Mallipudi, A., Fixen, E., Hsu-Kim, H., & Pan, W. K. (2023). In Utero Exposure to Metals and Birth Outcomes in an Artisanal and Small-Scale Gold Mining Birth Cohort in Madre de Dios, Peru. *Environmental Health Perspectives*, 131(9). <https://doi.org/10.1289/EHP10557>
- Bose-O'Reilly, S., Lettmeier, B., Matteucci Gothe, R., Beinhoff, C., Siebert, U., & Drasch, G. (2008). Mercury as a serious health hazard for children in gold mining areas. *Environmental Research*, 107(1). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.01.009>
- Derflerová Brázdová, Z., Pomerleau, J., Fiala, J., Vorlová, L., & Müllerová, D. (2014). Heavy metals in hair samples: A pilot study of anaemic children in Kazakhstan, Kyrgyzstan and Uzbekistan. *Central European Journal of Public Health*, 22(4). <https://doi.org/10.21101/cejph.a4003>
- Gonzalez, D. J. X., Arain, A., & Fernandez, L. E. (2019). Mercury exposure, risk factors, and perceptions among women of childbearing age in an artisanal gold mining region of the Peruvian Amazon. *Environmental Research*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108786>
- Grandjean, P., & Landrigan, P. (2006). Developmental neurotoxicity of industrial chemicals. In *Lancet* (Vol. 368, Issue 9553). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69665-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69665-7)
- Iannotti, L. L., Tielsch, J. M., Black, M. M., & Black, R. E. (2006). Iron supplementation in early childhood: Health benefits and risks. In *American Journal of Clinical Nutrition* (Vol. 84, Issue 6). <https://doi.org/10.1093/ajcn/84.6.1261>
- Keane, S., Bernaudat, L., Davis, K. J., Stylo, M., Mutemeri, N., Singo, P., Twala, P., Mutemeri, I., Nakafeero, A., & Etui, I. D. (2023). Mercury and artisanal and small-scale gold mining: Review of global use estimates and considerations for promoting mercury-free alternatives. *Ambio*, 52(5). <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01843-2>
- Meutia, A. A., Bachriadi, D., & Gafur, N. A. (2023). Environment Degradation, Health Threats, and Legality at the Artisanal Small-Scale Gold Mining Sites in Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph20186774>
- Ottenbros, I. B., Boerleider, R. Z., Jubitana, B., Roeleveld, N., & Scheepers, P. T. J. (2019). Knowledge and awareness of health effects related to the use of mercury in artisanal and small-scale gold mining in Suriname. *Environment International*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.059>
- Perini, J. A., Silva, M. C., de Vasconcellos, A. C. S., Viana, P. V. S., Lima, M. O., Jesus, I. M., Kempton, J. W., Oliveira, R. A. A., Hacon, S. S., & Basta, P. C. (2021). Genetic polymorphism of delta aminolevulinic acid dehydratase (Alad) gene and symptoms of chronic mercury exposure in munduruku indigenous children within the brazilian amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph18168746>
- Piscopo, M., Notariale, R., Tortora, F., Lettieri, G., Palumbo, G., & Manna, C. (2020). Novel insights into mercury effects on hemoglobin and membrane proteins in human erythrocytes. *Molecules*, 25(14). <https://doi.org/10.3390/molecules25143278>
- Reuben, A., Frischtak, H., Berky, A., Ortiz, E. J., Morales, A. M., Hsu-Kim, H., Pendergast, L. L., & Pan, W. K. (2020). Elevated Hair Mercury Levels Are Associated With Neurodevelopmental Deficits in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru. *GeoHealth*, 4(5). <https://doi.org/10.1029/2019GH000222>
- Ruggieri, F., Majorani, C., Domanico, F., & Alimonti, A. (2017). Mercury in children: Current state on exposure through human biomonitoring studies. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 14, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/ijerph14050519>
- Santos-Lima, C. dos, Mourão, D. de S., Carvalho, C. F. de, Souza-Marques, B., Vega, C. M., Gonçalves, R. A., Argollo, N., Menezes-Filho, J. A., Abreu, N., & Hacon, S. de S. (2020). Neuropsychological Effects of Mercury Exposure in Children and Adolescents of the Amazon Region, Brazil. *NeuroToxicology*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.04.004>
- Surenbaatar, U., Kim, B. G., Seo, J. W., Lim, H. J., Kwon, J. Y., Kang, M. K., Altangerel, E., Byambaa, T., Batbaatar, S., Myagmardorj, O., Lee, C. W., & Hong, Y. S. (2021). Environmental health survey for children residing near mining areas in South Gobi, Mongolia. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 33(1). <https://doi.org/10.35371/AOEM.2021.33.E10>
- Vianna, A. D. S., Câmara, V. de M., Barbosa, M. C. de M., Santos, A. de S. E., Asmus, C. I. R. F., Luiz, R. R., & de Jesus, I. M. (2022). Mercury exposure and anemia in

children and adolescents from six riverside communities of Brazilian Amazon. *Ciencia e Saude Coletiva*, 27(5). <https://doi.org/10.1590/1413-81232022275.08842021>

Weinhouse, C., Ortiz, E. J., Berky, A. J., Bullins, P., Hare-Grogg, J., Rogers, L., Morales, A. M., Hsu-Kim, H., & Pan, W. K. (2017). Hair mercury level is associated with anemia and micronutrient status in children living near artisanal and small-scale gold mining in the Peruvian Amazon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 97(6). <https://doi.org/10.4269/ajtmh.17-0269>

Wu, Y. S., Osman, A. I., Hosny, M., Elgarahy, A. M., Eltaweil, A. S., Rooney, D. W., Chen, Z., Rahim, N. S., Sekar, M., Gopinath, S. C. B., Mat Rani, N. N. I., Batumalaie, K., & Yap, P. S. (2024). The Toxicity of Mercury and Its Chemical Compounds: Molecular Mechanisms and Environmental and Human Health Implications: A Comprehensive Review. In *ACS Omega* (Vol. 9, Issue 5). <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07047>

Wyatt, L., Permar, S. R., Ortiz, E., Berky, A., Woods, C. W., Amouou, G. F., Itell, H., Hsu-Kim, H., & Pan, W. (2019). Mercury exposure and poor nutritional status reduce response to six expanded program on immunization vaccines in children: An observational cohort study of communities affected by gold mining in the peruvian amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph16040638>

Zhang, Y. (2019). Emerging chemicals and human health. In *Emerging Chemicals and Human Health*. <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9535-3>