

Tinjauan Sistematis: Efek Kontaminasi dari *Tailing* Pertambangan terhadap Kesehatan Masyarakat

A Systematic Review: The Effect of Mining Tailings Contamination on Public Health

Ayudhia Rachmawati ^{1)*}, Danang Wahansa Sugiarto ²⁾

¹⁾ Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Mulawarman, Kota Samarinda, Indonesia

²⁾ STIKES Yogyakarta, Kota Yogyakarta, Indonesia

Abstrak

Tailing menjadi salah satu bahaya pencemar yang dapat memicu terjadinya kerusakan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Potensi dampak kesehatan timbul jika kontaminan memiliki kontak secara langsung ataupun tidak langsung dengan populasi di sekitar lokasi pertambangan. Artikel ini bertujuan untuk meringkas beberapa artikel ilmiah yang relevan dan mencakup adanya bahan pencemar yang terkandung dalam *tailing* pertambangan, serta untuk menilai beberapa gambaran dampak kesehatan yang terjadi. Artikel ini menggunakan metode tinjauan sistematis. Pencarian literatur menggunakan tiga basis data ilmiah, yakni PubMed, Sage Journal, dan Wiley Online Library yang dipublikasikan dalam 10 tahun terakhir. Kriteria inklusi termasuk kontaminasi yang berasal dari *tailing* pertambangan, dampak kesehatan berupa manifestasi penyakit maupun penilaian risiko (non-karsinogenik dan karsinogenik), subjek penelitian dilakukan pada manusia, serta merupakan penelitian original. Terdapat 353 artikel yang diambil pada seleksi awal, dan di akhir terdapat 7 artikel yang dimasukkan ke dalam tinjauan sistematis. Artikel yang terpilih menunjukkan bahwa berbagai macam polutan yang berasal dari *tailing* pertambangan berpotensi menimbulkan berbagai masalah kesehatan berupa lesi kulit hingga persalinan *obstetric premature*. Selain itu, berbagai artikel yang ditinjau juga menggambarkan bahwa kelompok anak-anak memiliki risiko kesehatan yang lebih rentan dibandingkan dengan orang dewasa.

Kata kunci: *tailing*; pertambangan; dampak kesehatan masyarakat

Abstract

Tailing is one of the pollutant hazards that can trigger environmental damage if not managed properly. Potential health impacts arise if the contaminant has direct or indirect contact with the population around the mining site. This article aims to summarize several scientific articles that are relevant and include the presence of contaminants contained in mining tailings and to describe the existence of some of the health impacts that occur. This article uses a systematic review method. The literature search used three scientific databases, namely PubMed, Sage Journal, and Wiley Online Library which were published in the last 10 years. Inclusion criteria included contamination originating from mining tailings, health impacts in the form of disease manifestations, and risk assessment (non-carcinogenic and carcinogenic), research subjects carried out on humans, as well as original research. There were 353 articles taken in the initial selection, and at the end, there were 7 articles included in the systematic review. Selected articles show that various kinds of pollutants originating from mining tailings have the potential to cause various health problems in the form of skin lesions to premature obstetric deliveries. The various articles reviewed also illustrate that groups of children have health risks that are more vulnerable than adults.

Keywords: *tailing*; mining; public health impacts

1. Pendahuluan

Tailing merupakan residu atau sisa bahan dari proses pertambangan, yang terdiri atas butiran halus berupa endapan dengan ukuran sekitar 0,001 hingga 0,6 mm yang diperoleh setelah

terjadi proses ekstraksi bijih logam mulia dan mineral beserta dengan air ⁽¹⁾⁽²⁾. Kandungan yang terdapat dalam *tailing* tergantung pada variasi karakteristik fisik dan kimiawi yang terdapat dalam sifat bijih dan juga metode pengolahannya

Corresponding Author* : Ayudhia Rachmawati
Email : rachmawatiayudhia@fkm.unmul.ac.id

(2). Terdapat potensi pencemaran lingkungan yang dapat terjadi akibat dari bahan sisa dari proses pertambangan, utamanya akibat dari tata cara pengelolaan dan pengolahan limbah tambang yang tidak tepat. Terdapat kandungan merkuri (Hg) (organik dan anorganik) yang berasal dari *tailing* akibat proses amalgamasi bijih emas yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Selain kandungan Hg, beberapa logam berat yang mungkin terkandung dalam *tailing* di antaranya arsen (As), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) (3).

Penelitian terhadap konsentrasi logam berat yang terkandung dalam kolam *tailing* di Daerah Jilin, China, menunjukkan adanya kandungan tembaga (Cu), Pb, seng (Zn), dan mangan (Mn) dengan kadar masing-masing 342,83 mg/kg, 571,09 mg/kg, 610,15 mg/kg, dan 796,63 mg/kg (4). Selain itu, terdapat penelitian tentang akumulasi pencemaran kandungan logam berat pada tanah akibat dari *tailing* bekas pertambangan emas memberikan dampak negatif, seperti terjadinya penurunan kualitas kesuburan tanah yang mempengaruhi produktivitas pertanian masyarakat yang ada di Pulau Buru, Maluku (5). Penelitian serupa juga pernah dilakukan terhadap cemaran *tailing* dari pertambangan emas di Mesir, yang menunjukkan adanya kandungan logam beracun (Hg, Cd, Pb, dan As) dan logam berat (kromium [Cr], perak [Ag], nikel [Ni], emas [Au], molibdenum [Mo], Zn, Mn, dan Cu) pada tanah dan beberapa tanaman liar yang ada disekitarnya (6).

Selain dampak lingkungan, terdapat potensi dampak kesehatan yang dapat dialami oleh masyarakat akibat dari pajanan polutan yang berasal dari *tailing* pertambangan. Terdapat risiko kesehatan (baik non-karsinogenik maupun karsinogenik) pada warga yang berada disekitar kolam *tailing*, karena adanya konsentrasi logam berat di dalam air, tanah persawahan, hingga sayuran dengan nilai di atas standar yang telah dipersyaratkan (7). Pada dosis tertentu beberapa

logam berat, seperti Cd, Hg, Pb, Cr, Ag, dan As, dapat menyebabkan toksisitas akut dan kronis pada manusia. Pada kasus keracunan logam berat, akan menyebabkan neurotoksisitas, menghasilkan radikal bebas, hingga memicu stres oksidatif yang dapat merangsang kerusakan lipid, protein, dan molekul DNA (8). Pajanan Pb dapat berdampak pada sistem syaraf pusat dan syaraf tepi, perkembangan kognitif, perilaku, pendengaran, penglihatan, aktivitas otot (gerakan), gangguan pencernaan, gangguan sistem kardiovaskular hingga kematian (9). Selain itu, arsenik anorganik dikonfirmasi bersifat karsinogenik yang dapat menyebabkan kanker kulit, paru-paru, dan kandung kemih (10). Penelitian yang dilakukan pada dua distrik pertambangan di Peru, menggambarkan bahwa manifestasi klinis pada responden yang paling sering terjadi pada kulit akibat dari pajanan arsenik *tailing* pertambangan adalah keratosis plantar (23,5%), palmar (11,8%), palmoplantar (11,8%) dan keratosis toraks (5,9%) dengan rata-rata kandungan arsenik dalam urin sebesar 55 µg/L/24 jam (11). Adapun penelitian terkait dengan pajanan timbal pada komunitas di sekitar area tempat pembuangan *tailing* pertambangan di Johannesburg, menyebutkan bahwa sebanyak 52% responden lansia mengalami penurunan kognitif ringan dalam penilaian demensia awal (EDQ) yang dihubungkan dengan kadar timbal dalam tulang (12).

Telah banyak penelitian yang membahas adanya dampak buruk yang disebabkan oleh kontaminasi *tailing* pertambangan terhadap organisme lain, tetapi belum banyak yang membahas manifestasi dampak kesehatan pada manusia. Melalui pertimbangan tersebut, maka tinjauan sistematis ini merangkum dampak kesehatan akibat cemaran *tailing* pertambangan, sehingga dapat dipergunakan sebagai upaya penanggulangan, pencegahan, dan pengelolaan dampak kesehatan yang ditimbulkan.

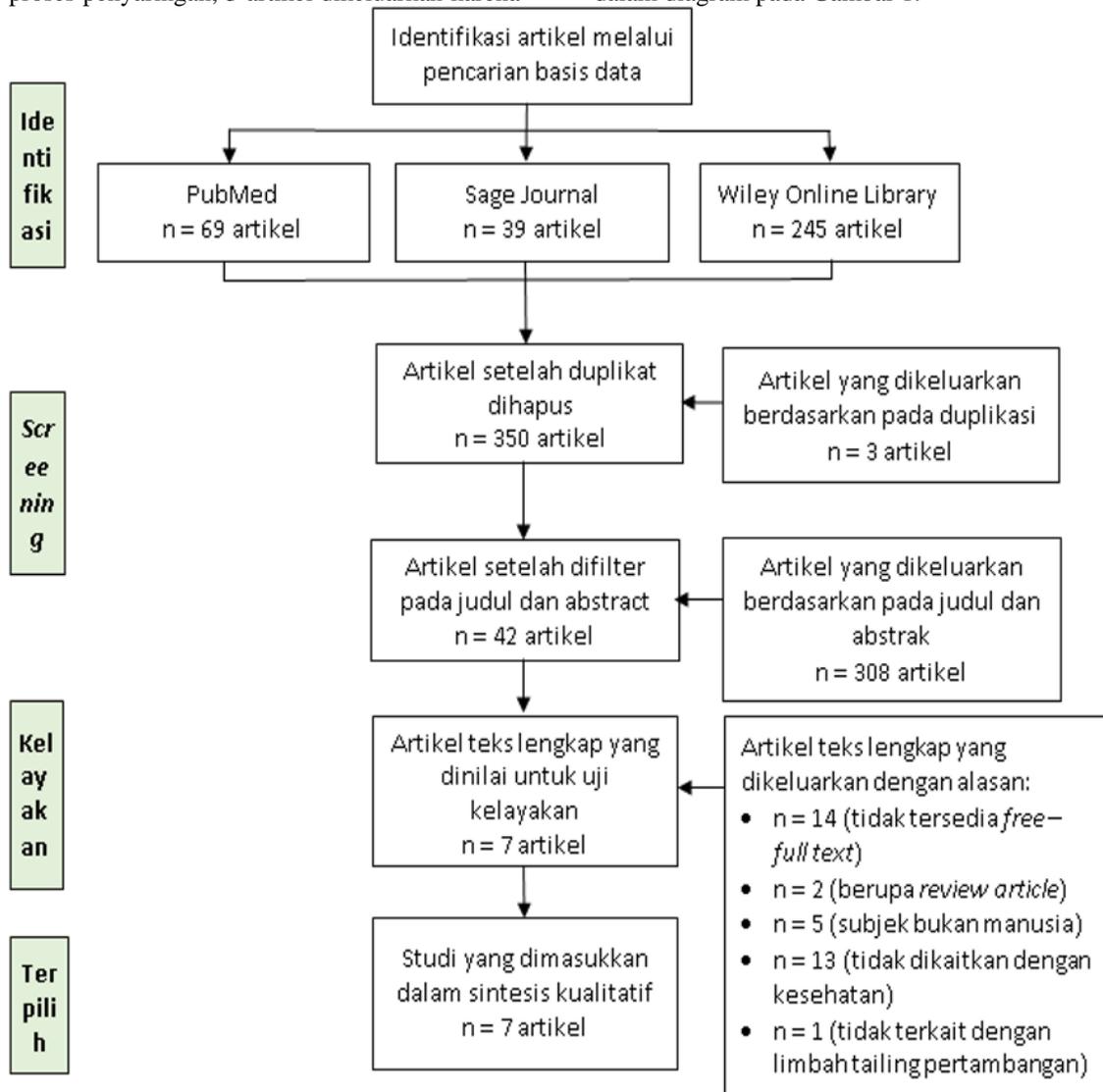
pencarian basis data Sage Journal, digunakan kata kunci yang sama, rentang jurnal penelitian 10 tahun, jenis sumber *original research*, dan termasuk dalam akses terbuka secara penuh. Adapun pada basis data Wiley Online Library digunakan kata kunci dan filter pencarian yang sama dengan kedua basis data sebelumnya. Tinjauan sistematis ini dilakukan dengan menggunakan protokol yang telah ditentukan berdasarkan pada *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (13). Tinjauan ini meliputi penelitian akademis original (*original research article*) dengan studi epidemiologi yang membahas

2. Metode

Tinjauan sistematis ini diambil melalui tiga basis data, yaitu PubMed, Sage Journal, dan Wiley Online Library untuk artikel yang relevan. Proses pencarian mengandung tiga kata kunci, yaitu "kontaminasi *tailing*" dan "efek kesehatan" dan "pertambangan". Dalam PubMed, digunakan "*tailing contamination*" AND "*health effect*" AND "*mining*" sebagai kata kunci dengan jenis sumber jurnal ilmiah, teks lengkap, tanggal publikasi 10 tahun terakhir, artikel dalam bahasa Inggris, serta *original research* yang seluruhnya dimasukkan dalam filter pencarian. Pada filter

hubungan antara kontaminasi yang berasal dari *tailing* dengan berbagai dampak kesehatan yang terjadi pada masyarakat di sekitar lokasi pertambangan. Artikel terkait dengan studi pajanan *agent* yang berasal dari proses produksi tambang, selain dari *tailing* yang berhubungan dengan dampak kesehatan, akan dikeluarkan. Pencarian literatur dilakukan pada tiga basis data ilmiah menghasilkan 353 artikel temuan. Dalam proses penyaringan, 3 artikel dikeluarkan karena

duplikasi, menyisakan 350 artikel. Selanjutnya 308 artikel dikeluarkan berdasarkan ketidaksesuaian judul dan abstrak dengan kriteria inklusi sehingga menghasilkan 42 artikel untuk ulasan teks lengkap. Kemudian, 35 artikel dikeluarkan berdasarkan ketidaksesuaian konten dengan kriteria inklusi, sehingga menghasilkan 7 artikel dianggap layak untuk dimasukkan dalam ulasan. Proses penyaringan artikel digambarkan dalam diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Seleksi Artikel Ilmiah Metode PRISMA

Sumber: Dokumentasi Penulis

3. Hasil dan Pembahasan

Paparan yang disebabkan oleh berbagai senyawa logam yang berasal dari *tailing* pertambangan memberikan dampak kesehatan baik yang bersifat non-karsinogenik maupun karsinogenik (gejala pra-kanker, seperti melanosis dan

keratosis). Tinjauan artikel juga menyatakan adanya dampak terkait dengan tingkat Learning Disability (LD) dan IQ. Selain itu, hasil temuan juga menunjukkan adanya keterkaitan pajanan dengan kejadian bayi lahir prematur.

Pada studi yang dilakukan di 4 daerah di Amerika Serikat menunjukkan adanya hubungan antara paparan partikel yang tersebar di permukaan sekitar lokasi pertambangan terhadap kejadian persalinan *obstetric premature*, yang juga menjelaskan bahwa semakin tinggi distribusi kumulatif bahan pencemar maka akan berdampak pada penurunan berat bayi lahir⁽¹⁴⁾. Penelitian lainnya yang mengamati tingkat arsenik anorganik yang terkandung pada urin anak-anak sekolah di lokasi bekas tambang, tidak menunjukkan hubungan yang signifikan terhadap

ketidakmampuan belajar dan IQ anak⁽¹⁵⁾. Pada ulasan studi lainnya, ditemukan adanya risiko kesehatan non-karsinogenik yang lebih tinggi pada anak-anak dibandingkan dengan orang dewasa akibat berbagai paparan pencemar *tailing* (Mn, As, Pb, Cr, Cd, dan sebagainya)⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾. Selain itu, ditemukan juga dampak kontaminasi arsenik yang berasal dari *tailing* pertambangan emas terhadap kejadian lesi kulit, hingga gejala pra-kanker (keratosis dan melanosis)⁽²⁰⁾. Temuan dari artikel yang terpilih dijabarkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Artikel Temuan

Penulis	Desain Studi; Periode Studi	Subjek	Alat Pengukuran	Hasil Akhir
Kunwittaya, S., et al. ⁽¹⁵⁾	Studi <i>Cross-Sectional</i> ; Periode Penelitian tidak disebutkan.	199 anak usia sekolah; a). 97 laki-laki dan 102 perempuan. b). 6 sekolah dasar dalam radius 10 km dari lokasi pertambangan yang sudah tidak aktif. c). Usia (10-12 tahun). d). Berdomisili setidaknya selama 10 tahun.	a). Status gizi diukur dengan BMI (<i>Body Mass Index</i>) sesuai pedoman WHO. b). Penilaian IQ dengan Tes Kecerdasan Non-Verbal Edisi ke-4 (TONI-4). c). Penilaian ketidakmampuan belajar dengan skor LD (<i>Learning Disability</i>) yang dinilai berdasarkan KUS-RI <i>Rating Scales</i> . d). Penilaian arsenik anorganik pada urin dengan HPLC-ICP-MS (<i>High Perform Liquid Chromatography - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry</i>).	a). Rata-rata kadar arsenik anorganik di urin yakni $17,69 \pm 11,82$ $\mu\text{g As/L}$ (CI : $2,50 - 77,0$ $\mu\text{g As/L}$). Sebanyak 4,5% (9 anak) memiliki kadar arsenik anorganik lebih tinggi dari normal (Standar ATSDR = < 35 $\mu\text{g As/L}$). b). Nilai IQ rata-rata $92,1 \pm 10$ (CI : $64 - 115$). c). Sebanyak 28 anak memiliki ketidakmampuan belajar (LD). Skor IQ rata-rata anak yang mengalami LD adalah $96,2 \pm 6,3$ (CI : $90 - 110$). Adapun 96,4% (27 anak) LD memiliki kadar arsenik anorganik normal, sedangkan 3,6% (1 anak) LD yang memiliki kadar arsenik anorganik di atas normal. d). Kadar arsenik anorganik dalam urin, tidak berhubungan dengan nilai IQ anak ($p > 0,05$).
McKnight, M.X., et al. ⁽¹⁴⁾	Studi Ekologi; Periode studi	193.363 ibu dengan kelahiran bayi tunggal;	a). Data berat bayi lahir (gram) dan PTB (<i>Pre-Term</i>	a). Adanya hubungan signifikan antara matrik

Penulis	Desain Studi; Periode Studi	Subjek	Alat Pengukuran	Hasil Akhir
	Tahun 1990 - 2015	a). Terbagi atas 4 daerah: Kentucky (168.687), Tennessee (11.483), Virginia (4.720), dan Virginia Barat (8.473). b). Semua ras (hitam, putih, dan lainnya) c). Usia Ibu 18 - > 35 tahun.	<i>Birth</i>) atau persalinan obstetrik prematur didapatkan dari catatan kelahiran Departemen Kesehatan Kentucky, Virginia, Virginia Barat (1990-2015) dan Tennessee (2002-2013). b). Garis batas permukaan pertambangan menggunakan citra satelit landsat. c). Permodelan distribusi frekuensi kumulatif udara: - Pengukuran potensi paparan polusi udara yang dihasilkan oleh aktivitas tambang melalui data set <i>North American Mesoscale (NAM) Forecast System</i> dengan jangkauan 12 km. - Perangkat lunak HYSPLIT4 untuk memodelkan partikel yang tersebar pada masing-masing permukaan tambang. - ArcGis Pro dalam penentuan permukaan nilai distribusi frekuensi kumulatif untuk setiap batas udara.	paparan dari nilai distribusi frekuensi kumulatif udara dengan kejadian persalinan <i>obstetric premature</i> (PTB) ($p < 0,001$). b). Hubungan signifikan antara nilai distribusi frekuensi kumulatif udara yang berasal dari permukaan pertambangan dengan berat badan bayi lahir ($p < 0,001$). Terdapat penurunan berat badan bayi lahir sebesar 10,95-13,19 gram untuk setiap peningkatan standar deviasi dari nilai distribusi frekuensi kumulatif udara.
Chakraborti, D., et al. ⁽²⁰⁾	Studi <i>Cross Sectional</i> ; Periode studi pada September 2009	181 responden untuk pengecekan lesi kulit; 170 responden untuk analisa kuku dan rambut (87 laki-laki dan 83 perempuan)	a). Kandungan As dalam air, rambut, kuku, tanah dan makanan diukur dengan FI-HG-AAS (<i>Flow Injection Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry</i>). b). Analisis unsur tanah ditentukan oleh ICP-MS (<i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i>).	a). 59 air sampel air yang berasal dari pompa manual (<i>HTW – Hand Tube Water</i>), sebanyak 79% mengalami konsentrasi As > 10 µg/L (Kadar maksimal di Kiradalli Tanda: 303 µg/L), b). 12 sampel tanah lapisan atas, 6 di antaranya

Penulis	Desain Studi; Periode Studi	Subjek	Alat Pengukuran	Hasil Akhir
				<p>mengandung As > 2000 µg/kg.</p> <p>c). Konsentrasi As dalam biji-biji makanan berkisar 12-112 µg/kg.</p> <p>d). 170 sampel rambut dan kuku (100%) memiliki kadar As melebihi batas.</p> <p>e). 106 dari 181 responden (58,6%) mengalami lesi kulit akibat paparan arsenik.</p> <p>f). Investigasi klinis menyebutkan 12 pasien memiliki gejala pra-kanker (melanosis dan keratosis): penyakit bowen, gangrene dan ulkus yang tidak dapat sembuh. 4 orang yang mengalami arsenikosis bersedia melakukan <i>biopsy</i>, 2 di antaranya mengalami mitosis, <i>nuclear atypia</i>, dsb.</p>
Tian, S., <i>et al.</i> (17)	Studi <i>cross-sectional</i> ; Periode penelitian pada bulan April 2014	Anak-anak dan orang dewasa (jumlah responden tidak disebutkan)	a). Sampel pencemar di uji menggunakan <i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry</i> (ICP-OES) dan <i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i> (ICP-MS). b). Faktor Pengayaan (EF) digunakan dalam menentukan perbedaan logam (Ce, As, Cd, Mo, Pb, Bi, Ag, Ba, Zn, Mn, Cr, Fe, Cu, dan Ni) dari aktivitas antropogenik dan yang berasal dari sumber alami.	<p>a). Ce (EFs > 20) dan As (EFs > 40) menunjukkan tingkat polusi tinggi yang berasal dari debu jalan yang tercemar oleh tambang dan <i>tailing</i>.</p> <p>b). Konsentrasi RD₁₀ disisi jalan adalah 239,15 ± 74,39 µg/m³. Anak-anak terpapar konsentrasi RD₁₀ 10 % lebih tinggi daripada orang dewasa.</p> <p>c). 3 dari 4 lokasi yang diteliti menunjukkan nilai HI > 1 dengan nilai tertinggi yakni 5,3. Nilai HI menggambarkan</p>

Penulis	Desain Studi; Periode Studi	Subjek	Alat Pengukuran	Hasil Akhir
			<p>c). Prediksi konsentrasi PM_{10} yang dipancarkan dari debu jalan di pertambangan menggunakan model CALINE 4.0 yang mengkalkulasikan konsentrasi volume logam.</p> <p>d). Risiko kesehatan akibat menghirup <i>road dust</i> $10\mu m$ menggunakan model penilaian paparan (EC). Pada karakterisasi risiko non-karsinogenik menggunakan perhitungan <i>Hazard Quotient</i> (HQ) hingga didapatkan <i>Hazard Index</i> (HI) Sedangkan risiko karsinogenik yang disebabkan oleh pajanan logam yang berasal dari RD_{10} dengan perhitungan TCR.</p>	<p>adanya risiko non-karsinogenik, yang mana pada anak-anak sedikit lebih tinggi dibandingkan orang dewasa.</p> <p>d). Elemen Mn (61,4%) menjadi senyawa yang paling banyak terkandung di dalam debu di lokasi, diikuti oleh As, Ba, Ce, Ni, Cr, Cd, dan Bi.</p> <p>e). Terdapat 3 lokasi yang melebihi $CR > 1 \times 10^{-4}$, yang menunjukkan risiko karsinogenik yang tinggi.</p>
Xiao, M., et al. (19)	Studi <i>cross-sectional</i> ; Periode penelitian tidak disebutkan.	Dewasa dan anak-anak (jumlah responden tidak disebutkan). Kriteria : a). Dewasa (usia > 18 tahun). b). Anak-anak (usia 0-18 tahun).	<p>a). Sampel <i>tailing</i> tambang dan tanah pertanian (0=20 cm) di reduksi menggunakan metode <i>quartering</i>.</p> <p>b). Analisis kandungan As, Cd, Cr, Cu, Ni dan Zn menggunakan spektrofotometer emisi plasma (ICP-OES, PQ-9000). Kandungan Pb dianalisis dengan spektrofotometri serapan atom (AFS). pH tanah ditentukan dengan metode elektroda kaca.</p> <p>c). Penilaian kontaminasi logam berat dalam tanah menggunakan Indeks Geoakumulasi (IgeO).</p>	<p>a). <i>Tailing</i> tambang masih mengandung logam berat beracun. Konsentrasi rata-rata: Cu (1136,23 mg/kg), Cr (78,92 mg/kg), Zn (43,33 mg/kg), Pb (27,97 mg/kg), Ni (19,01 mg/kg), As (17,45 mg/kg), Cd (0,41 mg/kg). Konsentrasi rata-rata As, Cd, Cr, Cu, dan Ni di atas nilai ambang batas yang dipersyaratkan.</p> <p>b). Adanya hubungan antara kandungan logam berat Cr, Cu, dan Ni pada tanah yang disebabkan dari sumber yang sama, yakni kolam <i>tailing</i></p>

Penulis	Desain Studi; Periode Studi	Subjek	Alat Pengukuran	Hasil Akhir
			d). Evaluasi dampak kesehatan akibat kontaminasi logam berat menggunakan model penilaian risiko kesehatan masyarakat.	pertambahan ($p \leq 0,01$). c). $HQ_{pencernaan}$, HQ_{kulit} , dan $HQ_{pernapasan}$ logam berat pada anak-anak lebih tinggi dibandingkan orang dewasa. d). Tidak adanya risiko karsinogenik yang signifikan pada anak-anak dan dewasa di sekitar kolam <i>tailing</i> . Namun, terdapat risiko non-karsinogenik pada anak-anak.
Galarza, E., <i>et al.</i> ⁽¹⁶⁾	Studi <i>Cross-Sectional</i> ; Periode penelitian tidak disebutkan.	Anak-anak dan orang dewasa pada 11 lokasi (jumlah responden tidak disebutkan).	a). Data Sekunder (Penelitian sebelumnya) terkait dengan konsentrasi logam dan metaloid pada permukaan air serta sedimen (12 senyawa: Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, V, dan Zn). b). Potensi dampak kesehatan di analisis dengan menggunakan <i>Human Health Risk Assessment</i> (HHRA). Risiko non-karsinogenik dihitung dengan HQs (<i>Hazard Quotients</i>) dan tingkat risikonya ditentukan oleh HI (<i>Hazard Index</i>). Sedangkan risiko kanker di hitung dengan TCR (<i>Total Carcinogenic Risk</i>).	a). HI pada anak-anak dan orang dewasa menunjukkan nilai yang melebihi ambang batas yang diizinkan pada semua lokasi ($HI > 1$). Anak-anak memiliki risiko non-karsinogenik 2 kali lipat dibandingkan dengan orang dewasa. b). Semua lokasi masih menunjukkan nilai TCR dibawah ambang batas yang dipersyaratkan (1×10^{-4}). Namun, adanya potensi kanker yang lebih tinggi pada anak-anak dibandingkan orang dewasa. c). Kontribusi terbesar yang mempengaruhi nilai HI, yakni senyawa Mn dan Fe, yang melalui air (ingesti) dan sedimen (dermal). Sedangkan pada nilai TCR, tertinggi dipengaruhi oleh senyawa As dan

Penulis	Desain Studi; Periode Studi	Subjek	Alat Pengukuran	Hasil Akhir
Zanetta-Colombo, N.C., <i>et al.</i> ⁽¹⁸⁾	Studi <i>Cross Sectional</i> ; Periode Studi : Bulan Januari 2021	a). Populasi: 607.504 Jiwa. b). Sampel: Tidak disebutkan. c). Responden anak-anak yang merupakan masyarakat setempat.	a). Analisis debu sampel menggunakan <i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spektrometri</i> (ICP-OES). b). Normalisasi perbedaan indeks air (NDWI) pada bendungan <i>tailing</i> dihitung menggunakan <i>Google Earth Engine</i> dan <i>Lansat 7</i> . c). Faktor Pengayaan (EF) dan Indeks Geoakumulasi (Igeo) digunakan untuk menilai konsentrasi dan distribusi logam dalam debu yang mengendap. d). Penilaian risiko kesehatan dari US-EPA digunakan untuk mengukur potensi non-karsinogenik (HI) dan karsinogenik (CR) pada anak-anak.	Pb yang berasal dari konsumsi air. a). Peringkat konsentrasi rata-rata logam dari total debu yang mengendap (atap dan jendela rumah) adalah Al, Fe, S, Ti, Cu, Zn, As, V, Pb, Mo, Cr, Ni, Co, Sb, Cd, dan Ag. b). Hampir semua sampel yang diteliti menunjukkan nilai Igeo untuk Cu, As, Cr, Pb dan Mo melebihi batas bawah kategori 6 (Igeo > 5) atau sangat terkontaminasi. c). Distribusi spasial HQ menyajikan pola yang sama hampir di semua elemen, yakni adanya potensi risiko non-karsinogenik yang lebih tinggi pada anak-anak. Rata-rata nilai HQ $\geq 7,08$. d). Arsenik menjadi PTE dengan potensi risiko non-karsinogenik tertinggi. e). Semua desa memiliki nilai HI > 1 yang menunjukkan adanya potensi efek non-karsinogenik yang berasal dari debu yang mengendap. Meskipun begitu, seluruh desa (7) memiliki nilai CR pada kisaran yang dapat diterima.

Penelitian ini menjelaskan dampak kesehatan akibat dari paparan bahan pencemar yang terkandung di dalam *tailing*, yang merupakan sisa residu dari proses pertambangan mineral, terhadap masyarakat yang ada di sekitarnya. Berdasarkan pada studi yang terpilih, didapatkan berbagai macam jenis industri yang menghasilkan limbah *tailing*, di antaranya industri tambang emas, tembaga, batu bara, hingga logam tanah jarang (*Rare-Earth Element*). Logam berat dan beracun merupakan kandungan yang terdapat di dalam *tailing*, seperti As, Mn, Ce, Ba, Cr, Cd, Ni, Pb, Cu, Zn, Fe, Ag, dan Mo⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾. Akumulasi dari pelepasan limbah *tailing* di biosfer secara terus-menerus akan menyebabkan penumpukan radionuklida di udara, air, dan tanah⁽²¹⁾. Adapun kontaminasi dari berbagai *Potentially Toxic Element* (PTE) tersebut akan berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat melalui jalur pemajanan inhalasi, pencernaan, dan dermal⁽²²⁾⁽²³⁾.

Pada salah satu studi yang disertakan menyebutkan adanya pengaruh pajanan As terhadap kejadian lesi kulit, tetapi tidak berhubungan dengan tingkat kecerdasan (IQ) dan juga kesulitan belajar pada anak sekolah⁽¹⁵⁾⁽²⁰⁾. Pada dasarnya menelan dan menghirup As anorganik pada konsentrasi yang rendah dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan kutil kecil pada telapak tangan dan kaki hingga terjadinya penggelapan kulit. Sedangkan kontak As anorganik pada kulit dapat menyebabkan kemerahan dan bengkak. Pada beberapa penelitian juga menunjukkan adanya peningkatan risiko kanker kulit, hati, kandung kemih, dan paru-paru akibat dari konsumsi arsenik anorganik. Selain itu, beberapa bukti menyebutkan bahwa pajanan jangka panjang As dapat menyebabkan skor IQ yang lebih rendah pada anak-anak⁽²⁴⁾.

Keterkaitan antara pajanan logam berat dalam *tailing* dengan kejadian persalinan prematur dan

berat bayi lahir rendah juga muncul pada salah satu studi yang disertakan⁽¹⁴⁾. Pada studi tersebut tidak dijelaskan secara spesifik jenis logam penyebab kejadian, tetapi berdasarkan pada penelitian kohort di Myanmar, disebutkan bahwa ibu hamil yang terpapar oleh Cd akan menyebabkan kejadian berat badan bayi lahir rendah (nilai $p=0,020$)⁽²⁵⁾. Selain itu, logam berat beracun, seperti Pb, Cd, As, dan Hg, dapat menginduksi stres oksidatif pada jaringan trofoblastik plasenta dengan memproduksi oksigen reaktif yang mampu mengubah mekanisme antioksidan yang memungkinkan menyebabkan kelahiran prematur⁽²⁶⁾.

Kajian yang dimuat dalam tinjauan ini juga menunjukkan bahwa anak-anak memiliki kerentanan lebih tinggi dibandingkan dengan orang dewasa. Terdapat keterkaitan antara berbagai macam jenis logam berat yang terkandung dalam *tailing* pertambangan dengan kejadian gangguan kesehatan. Manifestasi gangguan kesehatan ini akan bergantung pada lama pajanan, dosis, hingga jenis dan karakteristik senyawa polutan, serta individu itu sendiri. Meskipun begitu, beberapa studi belum menjelaskan secara spesifik jenis gangguan kesehatan yang terjadi dan terdapat ketidakkonsistenan dalam setiap studi yang disertakan. Oleh sebab itu, ulasan ini belum layak untuk dijadikan meta-analisis. Adapun beberapa keterbatasan dalam tinjauan ini, di antaranya jenis senyawa pada *tailing* yang bervariasi yang membuat sulit untuk mengidentifikasi penyebab tunggal dalam suatu kejadian gangguan kesehatan. Selain itu, tipe pertambangan yang berbeda juga menyebabkan kandungan yang terdapat dalam *tailing* akan menjadi berbeda. Terakhir, tata kelola dalam pengelolaan *tailing* tidak dijelaskan secara spesifik, sehingga proses bagaimana logam berat dapat mencemari lingkungan dan akhirnya menyebabkan pajanan pada masyarakat sekitar pertambangan tidak dapat dijelaskan secara runtut.

lebih lanjut dan variatif terkait dengan manifestasi dampak kesehatan baik yang termasuk ke dalam kategori non-karsinogenik maupun karsinogenik akibat dari pencemaran limbah *tailing* pertambangan. Selain itu, diperlukan peran serta masyarakat dalam membangun strategi mitigasi risiko dalam upaya penanggulangan dan pengendalian potensi pajanan *tailing* terhadap kesehatan. Langkah ini dapat diambil melalui komunikasi dan pengelolaan program pemberdayaan yang efektif dengan partisipasi para pemangku kepentingan, terutama instansi pemerintah yang menaungi

4. Simpulan dan Saran

Dampak kesehatan akibat dari pajanan *tailing* pertambangan sangat tergantung pada sifat dan karakteristik senyawa dominan yang terkandung di dalamnya. Bahkan hanya dari satu bahan pencemar saja sudah dapat menyebabkan berbagai dampak kesehatan. Tingkat keparahan seseorang akan bergantung pada konsentrasi pencemar, lama, dan durasi pajanan, serta karakteristik tiap individu. Anak-anak menjadi kelompok paling rentan terkait dampak kesehatan dari *tailing* pertambangan dibandingkan dengan orang dewasa. Masih diperlukannya penelitian

bidang kesehatan, pengelolaan lingkungan hidup, dan manajemen bencana, serta dari industri pertambangan itu sendiri.

5. Daftar Pustaka

1. Lesmanawati IR. Respon Pertumbuhan Tanaman *Gmelina Arborea Roxb* Dan *Paraserianthes Falcataria L. Nielsen* Dengan Penggunaan *Thiobacillus Thioparus* Dan Kompos Dalam Upaya Biodegradasi Sianida Yang Terkandung Dalam Tailing Emas. *Sci Educ.* 2019;1(April).
2. Australian Government. Pengelolaan Tailing: Praktik Kerja Unggulan Program Pembangunan Berkesinambungan untuk Industri Pertambangan [Internet]. Canberra; 2016. Available from: www.ag.gov.au/cca.
3. Herman DZ. Tinjauan terhadap tailing mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam. *J Geol Indones.* 2006;1(1):31–6.
4. Li Z, Zhao Q, Yang H, Liu Q, Zhang Y, Wang Y, et al. Vertical Distribution of Cyanide and Heavy Metals in a Tailings Pond in Jilin, China. *Minerals.* 2022;12(11):1–10.
5. Hindersah R, Risamasu R, Kalay AM, Dewi T, Makatita I. Mercury contamination in soil, tailing and plants on agricultural fields near closed gold mine in Buru Island, Maluku. *J Degrad Min Lands Manag.* 2018;5(2):1027–34.
6. Rashed MN. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *J Hazard Mater.* 2010;178(1–3):739–46.
7. Liang Y, Yi X, Dang Z, Wang Q, Luo H, Tang J. Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of a tailing pond in Guangdong, China. *Int J Environ Res Public Health.* 2017;14(12):1–17.
8. Azeh Engwa G, Udoka Ferdinand P, Nweke Nwalo F, N. Unachukwu M. Mechanism and Health Effects of Heavy Metal Toxicity in Humans. *IntechOpen.* 2019;(June).
9. Seema T, Tiwari HL, Tripathi IP. Lead Effects on Health. *Int Reserach J Environ Sciencs.* 2013;2(8):83–7.
10. Hong YS, Song KH, Chung JY. Health effects of chronic arsenic exposure. *J Prev Med Public Heal.* 2014;47(5):245–52.
11. Ramos W, Ortega-Loayza AG, Díaz J, De La Cruz-Vargas JA, Tello M, Ronceros G, et al. Arsenicism by Chronic Exposure to Mine Tailings in Peru: An Analysis of 17 Cases with Lesions on Skin and/or Annexes. *Clin Cosmet Investig Dermatol.* 2022;15(September):2407–
- 14.
12. Naicker N, Nkosi V, Todd A, Schneider K, Mathee A. Lead exposure and cognitive impairment in older people living in communities located near mine tailing dumps in Johannesburg. *ISEE Conf Abstr.* 2020 Oct 26.
13. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ [Internet].* 2009;339:1–8. Available from: <http://dx.doi.org/doi:10.1136/bmj.b2535>.
14. McKnight MX, Kolivras KN, Buttlng LG, Gohlke JM, Marr LC, Pingel TJ, et al. Associations Between Surface Mining Airsheds and Birth Outcomes in Central Appalachia at Multiple Spatial Scales. *GeoHealth.* 2022 Oct 1;6(10):1–15. Available from: <https://doi.org/10.1029/2022GH000696>.
15. Kunwittaya S, Ruksee N, Khamnong T, Jiawiwatkul A, Kleebpung N, Chumchua V, et al. Inorganic arsenic contamination and the health of children living near an inactive mining site: northern Thailand. *EXCLI J.* 2022;21:1007–14.
16. Galarza E, Moulatlet GM, Rico A, Cabrera M, Pinos-Velez V, Pérez-González A, et al. Human health risk assessment of metals and metalloids in mining areas of the Northeast Andean foothills of the Ecuadorian Amazon. *Integr Environ Assess Manag [Internet].* 2022 Oct 14;00(00):1–11. Available from: <https://doi.org/10.1002/ieam.4698>.
17. Tian S, Liang T, Li K. Fine road dust contamination in a mining area presents a likely air pollution hotspot and threat to human health. *Environ Int.* 2019 Jul;128(April):201–9.
18. Zanetta-Colombo NC, Fleming ZL, Gayo EM, Manzano CA, Panagi M, Valdés J, et al. Impact of mining on the metal content of dust in indigenous villages of northern Chile. *Environ Int.* 2022 Nov;169:1–14.
19. Xiao M, Xu S, Yang B, Zeng G, Qian L, Huang H, et al. Contamination, Source Apportionment, and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soils Surrounding a Typical Copper Tailings Pond. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Nov;19(21).
20. Chakraborti D, Rahman MM, Murrill M, Das R, Siddayya, Patil SG, et al. Environmental arsenic contamination and its health effects in a historic gold mining area of

the Mangalur greenstone belt of Northeastern Karnataka, India. *J Hazard Mater.* 2013 Nov;262:1048–55.

21. Aliyu AS, Ibrahim U, Akpa CT, Garba NN, Ramli AT. Health and ecological hazards due to natural radioactivity in soil from mining areas of Nasarawa State, Nigeria. *Isotopes Environ Health Stud.* 2015;51(3):1–21.

22. Manjón I, Ramírez-Andreotta MD, Sáez AE, Root RA, Hild J, Janes MK, et al. Ingestion and inhalation of metal(loid)s through preschool gardening: An exposure and risk assessment in legacy mining communities. *Sci Total Environ.* 2020;718(May).

23. Guo G, Song B, Xia D, Yang Z, Wang F. Metals and metalloids in PM10 in Nandan County, Guangxi, China, and the health risks posed. *Environ Geochem Health* [Internet]. 2018;40(5):2071–86. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0083-2>.

24. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). *ToxGuide for Arsenic (As)* [Internet]. Atlanta, Georgia; 2007. Available from: www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html.

25. Wai KM, Mar O, Kosaka S, Umemura M, Watanabe C. Prenatal heavy metal exposure and adverse birth outcomes in Myanmar: A birth-cohort study. *Int J Environ Res Public Health.* 2017;14(11):1–13.

26. Singh L, Anand M, Singh S, Taneja A. Environmental toxic metals in placenta and their effects on preterm delivery-current opinion. *Drug Chem Toxicol.* 2018 Sep 27;43:1–8.