

DAMPAK PAJANAN DEBU BATUBARA BAGI KESEHATAN PEKERJA TAMBANG BATUBARA : TINJAUAN LITERATUR SISTEMATIS

Gloria Cassandra Pasaribu^{1*}, Arif Susanto²

Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga¹, Departemen *Health Safety Environmental*, Divisi Concentrating, PT Freeport Indonesia²

*Corresponding Author : gloriacassandra03@gmail.com

ABSTRAK

Pertambangan batubara memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan pekerja dan masyarakat sekitar, namun tinjauan komprehensif mengenai dampak pajanan debu batubara masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis dampak pajanan debu batubara terhadap kesehatan pekerja tambang. Penelitian menggunakan desain *Systematic Literature Review* dengan pendekatan PRISMA pada artikel yang dipublikasikan tahun 2021-2025. Pencarian dilakukan di basis data Google Scholar menggunakan kata kunci "dampak", "debu", "pekerja", dan "tambang batubara" dengan kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Dari 257 artikel yang teridentifikasi, 5 artikel final dianalisis menggunakan kerangka PICO untuk mengekstraksi data secara sistematis. Faktor risiko utama teridentifikasi meliputi durasi kerja >5 tahun, intensitas pajanan tinggi (4,5 mg/m³ pada area pengeboran), penggunaan APD tidak konsisten, dan jarak tempat tinggal <500 meter dari lokasi tambang. Dampak kesehatan yang ditemukan berupa gangguan fungsi paru, *Coal Worker's Pneumoconiosis* dengan tingkat kematian 19,19%, PPOK dengan risiko kematian 93% lebih tinggi pada pekerja terparap, serta peningkatan jumlah eosinofil pada 13,4% penduduk sekitar tambang yang mengindikasikan respons inflamasi sistemik. Pajanan debu batubara memiliki dampak kesehatan yang signifikan dan multidimensional, tidak hanya pada pekerja tambang tetapi juga masyarakat sekitar, sehingga diperlukan strategi pencegahan komprehensif yang meliputi pengendalian teknis, administratif, penggunaan APD, monitoring lingkungan rutin, dan mitigasi dampak lingkungan untuk melindungi kesehatan pekerja dan masyarakat sekitar area pertambangan batubara.

Kata kunci : dampak kesehatan, debu batubara, pajanan, pekerja tambang, tambang batubara

ABSTRACT

This study aims to identify and analyze the health impacts of coal dust exposure on mine workers. The research employed a Systematic Literature Review method with a PRISMA approach on articles published from 2021-2025. The search was conducted on the Google Scholar database using the keywords "impact", "dust", "workers", and "coal mine" with established inclusion criteria. From 257 identified articles, 5 final articles were analyzed using the PICO framework for systematic data extraction. Key risk factors identified include work duration >5 years, high exposure intensity (4.5 mg/m³ in drilling areas), inconsistent use of PPE, and residence <500 meters from mining sites. Health impacts found include impaired lung function, Coal Worker's Pneumoconiosis with a 19.19% mortality rate, COPD with 93% higher mortality risk in exposed workers, and increased eosinophil counts in 13.4% of residents near mines indicating systemic inflammatory response. Coal dust exposure has significant and multidimensional health impacts, not only on mine workers but also on surrounding communities, necessitating comprehensive prevention strategies including technical controls, administrative measures, PPE use, regular environmental monitoring, and environmental impact mitigation to protect the health of workers and communities around coal mining areas.

Keywords : coal dust, coal mining, exposure, health impact, mining workers

PENDAHULUAN

Batubara merupakan bahan galian strategis yang menjadi sumber daya energi yang sangat besar dan hanya dapat dimanfaatkan melalui kegiatan pertambangan untuk kesejahteraan

manusia (Amam & Rusdiana, 2022) Namun, industri pertambangan batubara memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan pekerja dan masyarakat sekitar (Datuan, Risal & Silvah, 2024). Berdasarkan data *International Labour Organization* (ILO) pada tahun 2018 sebanyak 2,78 juta pekerja meninggal setiap tahun akibat kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK) (Fahrandis, Yenni & Entianopha, 2024). Dari total kematian tersebut sebesar 86,3% atau sekitar 2,4 juta kematian disebabkan oleh PAK, dengan distribusi penyebab kematian meliputi penyakit kanker (34%), kecelakaan kerja (25%), penyakit saluran pernapasan (21%), penyakit kardiovaskular (15%), dan faktor lain (5%). Kementerian Kesehatan RI (2017) memperkuat temuan ini, mencatat 533.187 kasus ISPA pada 2016, dengan 18 provinsi memiliki prevalensi di atas rata-rata nasional (Julitra et al., 2022).

Data WHO menunjukkan sebanyak 4,2 juta orang meninggal setiap tahun karena paparan polusi udara ambien (luar biasa), sementara Indonesia memiliki banyak pertambangan batubara yang menjadi salah satu industri utama dalam tatanan ekonomi negara (Maizara & Pelawi, 2024).. Negara dengan bisnis tambang batubara yang termasuk salah satu sektor menjanjikan ini menempatkan batubara sebagai primadona sumber energi primer yang mencakup serangkaian kegiatan dari penyelidikan hingga pasca tambang (Sinaga & Susilawati, 2024).. Tambang batubara yang melibatkan berbagai aktivitas dan penggunaan alat-alat berat seperti *excavator*, *wheel loader*, dan *crusher* di *stockpile* dapat meningkatkan penyebaran debu di lingkungan kerja. Kerja di lingkungan berdebu menciptakan risiko kesehatan yang signifikan bagi para pekerja yang terpapar debu batubara secara terus-menerus, mirip dengan kondisi di India yang mendominasi daftar kota dengan polusi terburuk dunia. Dunia juga mencatat bahwa India, meskipun memiliki masalah polusi serius dengan 10 kotanya masuk dalam kategori wilayah dengan kualitas udara terburuk, justru merupakan salah satu negara dengan pertumbuhan ekonomi terpesat di dunia (Marlina & Furqan, 2024).

Pertambangan batubara merupakan sektor industri dengan risiko bahaya kerja yang tinggi, terutama terkait paparan debu yang dapat menyebabkan berbagai dampak kesehatan pada pekerja (Rahma et al., 2022). Debu merupakan zat kimia padat yang dihasilkan dari kekuatan alam atau mekanis pada pemrosesan, peleburan, pelunakan, pengepakan cepat, dan peledakan benda, baik anorganik maupun organik, yang berukuran antara 0,1 mikron hingga 500 mikron. Pajanan debu di lingkungan kerja dapat berdampak pada gangguan pernapasan akut atau kronis pada pekerja yang terpapar. Lingkungan kerja yang berdebu menyebabkan peningkatan konsentrasi pajanan 10-100 kali lebih besar dibandingkan di luar lingkungan berdebu. Kondisi ini mengharuskan adanya tindakan pencegahan dan perlindungan yang memadai bagi para pekerja di sektor pertambangan batubara (Pujiono, 2023).

Paparan debu batubara menyebabkan naiknya risiko gangguan fungsi paru dan pernapasan pada pekerja tambang. Tambang yang memiliki lingkungan berdebu tidak hanya menimbulkan ketidaknyamanan bagi pekerja, tetapi juga menurunkan produktivitas dan menyebabkan diskontinuitas proses produksi. Produksi yang terganggu sering dikaitkan dengan butiran debu di lingkungan kerja yang berasal dari berbagai sumber industri seperti debu semen, batubara, asbes, kapas, debu kayu, dan debu organik lainnya yang dapat mengakibatkan gangguan pernapasan akut. Akut dan kronis, pneumokoniosis yang merupakan penyakit paru akibat kerja menjadi salah satu risiko utama yang disebabkan oleh paparan debu di lingkungan kerja pertambangan batubara (Sunuh & Subagyo, 2022). Batubara yang mengandung bahan kimia dapat menyebabkan penyakit paru-paru. Paru-paru yang terpapar terus-menerus dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya penyakit pernafasan atau keluhan yang berhubungan dengan debu. (Amini & Susilawati, 2023).

Inhalasi dari debu batubara dikenal sebagai penyebab dari beberapa jenis penyakit pada saluran pernapasan. Paparan kronik terhadap debu batubara dapat mengakibatkan beberapa penyakit paru, termasuk *Coal Worker's Pneumokoniosis* (CWP), bronkitis kronik, kehilangan fungsi paru, emfisema, dan *Progressive Massive Fibrosis* (PMF) (Fahrandis, Yenni &

Entianopa, 2024). CWP merupakan salah satu jenis pneumokoniosis yang sering ditemukan pada pekerja tambang batubara dan bersifat kronis serta ireversibel sehingga menjadi masalah kesehatan publik yang serius. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis dampak dari pajanan debu bagi kesehatan pekerja tambang batubara. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi pencegahan dan pengendalian risiko kesehatan di sektor pertambangan batubara.

METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kualitatif dengan desain *Systematic Literature Review* (SLR) menggunakan metode *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses* (PRISMA) untuk pengumpulan data sistematis. Lokasi penelitian berfokus pada studi-studi di wilayah Indonesia dengan pengambilan data dilakukan melalui basis data elektronik Google Scholar (GS). Waktu penelitian mencakup periode lima tahun terakhir (2021-2025) dengan instrumen penelitian berupa kata kunci pencarian "dampak" DAN "debu" DAN "pekerja" DAN "tambang batubara" untuk memfilter jurnal yang relevan. Analisis data dilakukan dengan menggunakan kerangka PICO (*Population, Intervention, Comparison, Outcome*) untuk memastikan pendekatan yang sistematis dan komprehensif. Kriteria inklusi dan eksklusi diterapkan untuk memastikan kesesuaian jurnal dengan tujuan penelitian, dengan penekanan pada publikasi terkini.

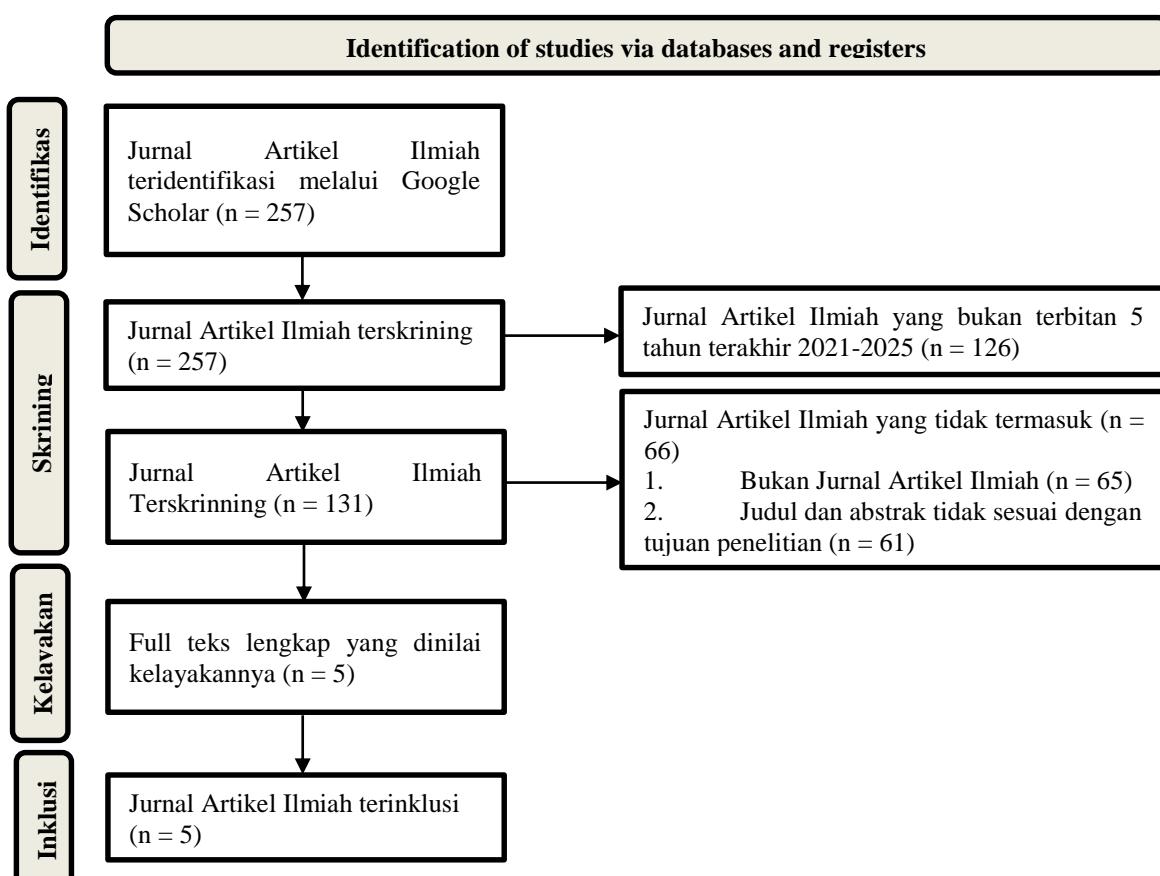
Proses penelitian dimulai dengan pencarian jurnal ilmiah melalui GS, diikuti dengan penelaahan abstrak dan isi jurnal untuk menilai relevansinya dengan fokus penelitian tentang dampak debu pada pekerja tambang batubara. Instrumen utama adalah peneliti sendiri yang melakukan seleksi dan evaluasi secara sistematis terhadap literatur yang ditemukan. Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan mengidentifikasi temuan-temuan penting dari jurnal terpilih dan mensintesiskannya untuk menjawab pertanyaan penelitian. Penelitian ini tidak melakukan intervensi langsung pada subjek manusia, sehingga tidak secara eksplisit menyebutkan prosedur uji etik, namun tetap menjunjung prinsip etika penelitian dalam penggunaan dan sitasi sumber literatur secara benar.

HASIL

Setelah penelusuran literatur dilakukan proses penyaringan manual untuk mengidentifikasi subjek yang memenuhi syarat sesuai dengan kata kunci yang telah ditetapkan. Kata kunci penelitian dibuat sebelumnya untuk membatasi cakupan pencarian agar lebih terarah pada topik yang diteliti. Penelitian lain mengungkapkan bahwa faktor manusia berkontribusi signifikan terhadap kecelakaan kerja di sektor pertambangan, dengan perilaku dan kesalahan individu menjadi penyumbang utama insiden di lingkungan kerja berisiko tinggi. Tindakan tidak aman (*unsafe actions*) menjadi fokus utama dalam menganalisis penyebab kecelakaan pada banyak penelitian terkait keselamatan kerja di pertambangan. Hal ini menunjukkan pentingnya menganalisis tidak hanya aspek lingkungan kerja tetapi juga faktor perilaku dalam menilai risiko kesehatan pada pekerja tambang batubara (Fauziah, Budiyono & Raharjo, 2020).

Dalam proses skrining awal, sebanyak 126 artikel dieliminasi karena berada di luar periode publikasi 2021 sampai 2025 yang telah ditetapkan sebagai kriteria inklusi. Dari 131 artikel yang tersisa, dilakukan evaluasi lanjutan yang menghasilkan eliminasi 126 artikel lainnya, terdiri dari 65 artikel yang bukan merupakan jurnal ilmiah dan 61 artikel dengan judul serta abstrak yang tidak relevan dengan tujuan penelitian. Setelah proses penyaringan tersebut, diperoleh 5 artikel yang lolos untuk kemudian menjalani analisis *full-text* secara menyeluruh. Kelima artikel final yang memenuhi kriteria inklusi selanjutnya dikumpulkan datanya untuk

dianalisis dan dibandingkan secara komprehensif mengikuti metodologi tinjauan literatur sistematis. Proses seleksi artikel ini diilustrasikan pada **Gambar 1** untuk memberikan gambaran visual alur penyaringan data yang dilakukan dalam penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir PRISMA Dampak Pajanan Debu Batubara bagi Kesehatan Pekerja Tambang Batubara

Tabel 1. Hasil Tinjauan Literatur Sistematis

No	Penulis	Populasi (P)	Intervensi (I)	Perbandingan (C)	Hasil (O)
1.	N. E. Sinaga and S. Susilawati, "Literatur Review: Analisis Faktor-faktor Resiko Bahaya Pada Pekerja Di Pertambangan," Jurnal Ventilator, vol. 2, no. 2, pp. 45-53, 2024.	<ul style="list-style-type: none"> Pekerja industri pertambangan batu bara Fokus pada pekerja yang terpapar debu tambang secara langsung 	<ul style="list-style-type: none"> Paparan debu tambang batu bara Durasi paparan dalam jam kerja Intensitas paparan (kadar debu yang terhirup) 	<ul style="list-style-type: none"> Pekerja dengan tingkat paparan debu yang berbeda Pekerja dengan dan tanpa penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Pekerja tambang vs. populasi umum di sekitar area tambang Pekerja dengan durasi kerja berbeda 	<ul style="list-style-type: none"> Gangguan fungsi paru (pneumokoniosis , ISPA) Perubahan parameter kesehatan (jumlah eosinofil) Kondisi kulit yang buruk Dampak kesehatan jangka panjang lainnya
2.	P. Pujiono, "Hubungan penggunaan APD, kebiasaan merokok,	<ul style="list-style-type: none"> Pekerja industri yang terpapar debu di udara 90 sampel pekerja yang 	<ul style="list-style-type: none"> Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) 	<ul style="list-style-type: none"> Pekerja yang menggunakan APD vs. pekerja yang tidak 	<ul style="list-style-type: none"> Gangguan fungsi paru pada pekerja Parameter fungsi paru seperti FVC (Forced Vital

	<p>:[kebiasaan olahraga, dan kadar debu yang terhirup terhadap terjadinya gangguan fungsi paru pada pekerja," Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung, vol. 15, no. 1, pp. 22-29, 2023.</p>	<p>dipilih secara acak (<i>random sampling</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kriteria inklusi: pekerja dengan masa kerja min. 1 tahun, bersedia berpartisipasi & memiliki riwayat paparan debu • Kriteria eksklusi: pekerja yang sedang sakit/ memiliki gangguan pernapasan 	<ul style="list-style-type: none"> • Paparan debu di lingkungan kerja • Kebiasaan merokok • Kebiasaan olahraga 	<p>menggunakan APD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pekerja dengan kadar debu terhirup tinggi vs. rendah • Pekerja dengan kebiasaan merokok vs. tidak merokok • Pekerja dengan kebiasaan olahraga vs. tidak berolahraga 	<p><i>Capacity) dan FEV1 (Forced Expiratory Volume in 1 second)</i></p>
3.	<p>A. H. Risamasu, I. Kabiran, I. T. Damayanti, and T. Febrianti, "Kajian Pustaka: Hubungan Durasi Kerja dengan Pneumokoniosis pada Pekerja Tambang Batubara," CoMPHI Journal: Community Medicine and Public Health of Indonesia Journal, vol. 1, no. 3, pp. 155-161, 2021.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pekerja tambang batubara yang terpapar debu • Pekerja industri pertambangan batubara baik tambang terbuka maupun tambang bawah tanah • Kriteria inklusi: pekerja dengan masa kerja min. 1 tahun dan memiliki riwayat paparan debu batubara • Kriteria eksklusi: pekerja dengan penyakit paru sebelumnya yang tidak berhubungan dengan paparan debu 	<ul style="list-style-type: none"> • Durasi kerja (masa kerja) di tambang batubara • Paparan debu batubara di lingkungan kerja • Paparan debu silika • Shift kerja (pagi, siang, sore, dan malam) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pekerja dengan durasi kerja pendek vs. durasi kerja panjang (>10 tahun) • Pekerja dengan kadar paparan debu tinggi vs. rendah • Pekerja dengan shift kerja berbeda (shift malam vs. shift siang) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kejadian pneumokoniosis pekerja tambang batubara (CWP) • Tingkat keparahan CWP berdasarkan gambaran radiologi • Komplikasi penyakit (PPOK, emfisema) • Angka kesakitan dan kematian akibat CWP
4.	<p>D. Kurniasih, M. Muslina, and A. Latifah, "Gambaran Hasil Pemeriksaan Jumlah Eosinofil pada Penduduk di Sekitar Stockpile Batu Bara Kabupaten Muaro Jambi," Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi, vol. 23, no. 3, pp. 3046-3049, 2023.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Penduduk yang tinggal di sekitar <i>stockpile</i> batubara PT. KBBC di Desa Talang Duku, Kecamatan Taman Rajo, Kabupaten Muaro Jambi • 30 responden yang dipilih dengan teknik purposive sampling • Melibatkan penduduk dari kawasan RT. 2 dan RT. 10 	<ul style="list-style-type: none"> • Paparan debu dan polutan dari stockpile batubara • Karakteristik responden: jenis kelamin, jarak rumah ke lokasi stockpile, dan lama domisili 	<ul style="list-style-type: none"> • Perbandingan jumlah eosinofil berdasarkan jenis kelamin (laki-laki vs perempuan) • Perbandingan jumlah eosinofil berdasarkan jarak rumah ke lokasi stockpile (≤ 500 meter vs >500 meter) • Perbandingan jumlah eosinofil berdasarkan lama domisili (≤ 10 tahun vs >10 tahun) 	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah eosinofil dalam darah penduduk sekitar stockpile batubara • Kategori jumlah eosinofil: rendah (<2%), normal (2-5%), dan tinggi (>5%) • Rata-rata jumlah eosinofil berdasarkan karakteristik responden

5.	N. Rahma, "Dampak Pertambangan Batu Bara Pada Kesehatan Lingkungan: A Systematic Review," <i>Health Safety Environment Journal</i> , vol. 2, no. 2, 2021.	<ul style="list-style-type: none"> • Masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi pertambangan batu bara • Pekerja di industri pertambangan batu bara • Kriteria inklusi: individu yang terpapar langsung/ tidak langsung terhadap dampak pertambangan batu bara • Kriteria eksklusi: individu yang tidak memiliki riwayat paparan/ tinggal jauh dari lokasi pertambangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivitas pertambangan batu bara • Pencemaran air, tanah, dan udara akibat kegiatan pertambangan • Pengelolaan limbah hasil penambangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Masyarakat yang tinggal di dekat lokasi pertambangan vs. masyarakat yang tinggal jauh dari lokasi pertambangan • Pekerja yang terpapar debu batu bara vs. pekerja di industri lain yang tidak terpapar • Kualitas lingkungan di area pertambangan vs. area non-pertambangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Pencemaran air • Penurunan kualitas tanah • Pencemaran udara • Gangguan kesehatan, seperti penyakit infeksi saluran pernapasan akut (ISPA)
----	---	--	---	---	---

Tabel 1 menyajikan hasil tinjauan sistematis dari 5 artikel ilmiah yang diteliti menggunakan kerangka PICO. Analisis komprehensif pada studi-studi ini mengungkapkan pola konsisten mengenai dampak pajanan debu batubara terhadap kesehatan pekerja tambang dan masyarakat sekitar. Tinjauan sistematis ini mengungkapkan bahwa industri pertambangan batubara memiliki risiko kesehatan yang signifikan. Hal ini selaras dengan data yang dilaporkan oleh ILO pada tahun 2018 bahwa terdapat 2,78 juta pekerja meninggal setiap tahunnya akibat kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Dari jumlah tersebut, 86,3% kematian disebabkan oleh penyakit akibat kerja. Peraturan Menteri Tenaga Kerja (Permenaker) Nomor 5 Tahun 2018 mengatur nilai ambang batas (NAB) debu batubara adalah 0,4 mg/m³ (Fauziah, Budiyono & Raharjo, 2020). Kondisi ini menegaskan bahwa sektor pertambangan batubara merupakan industri dengan risiko bahaya kerja yang tinggi, khususnya terkait pajanan debu. Studi tersebut di atas secara konsisten mengidentifikasi faktor-faktor risiko utama yang berkaitan dengan pajanan debu batubara. Faktor-faktor tersebut meliputi durasi kerja, intensitas paparan, penggunaan alat pelindung diri (APD), dan jarak lokasi tempat tinggal dari area pertambangan. Keragaman metodologi dan fokus penelitian dari kelima artikel tersebut memberikan pemahaman komprehensif tentang kompleksitas dampak kesehatan dari industri pertambangan batubara.

PEMBAHASAN

Karakteristik dan Mekanisme Pajanan Debu Batubara

Debu batubara teridentifikasi sebagai zat kimia padat berukuran 0,1-500 mikron yang terdispersi di lingkungan kerja pertambangan, dengan partikel yang dapat dihirup berkisar 0,1- $<10 \mu\text{m}$ (Pujiono, 2023). Partikel berukuran 1-3 μm yang disebut debu respirabel merupakan yang paling berbahaya karena dapat tertahan dan mengendap dari bronkiolus terminalis hingga alveoli, menyebabkan ISPA bahkan paru-paru menjadi hitam (Rahma, 2021). Kondisi ini diperparah oleh intensitas pajanan tertinggi pada area penggalian dan pengeboran yang mencapai 4,5 mg/m³, jauh melebihi NAB debu batubara sebesar 0,4 mg/m³ menurut Permenaker No. 5 Tahun 2018 (Fauziah, Budiyono & Raharjo, 2020). Sifat aerodinamik

partikel debu batubara, terutama PM_{2.5} dan PM₁₀, memungkinkannya mencapai bagian dalam saluran pernapasan hingga alveoli sehingga mengakibatkan ISPA (Arba, 2019). Penyebaran partikel ini semakin meningkat melalui aktivitas penambangan seperti penggalian, pengeboran, dan penggunaan alat-alat berat yang menghasilkan turbulensi udara. Karakteristik fisikokimia debu batubara inilah yang menjadi faktor penentu tingkat penetrasi ke dalam saluran pernapasan dan besarnya dampak kesehatan yang ditimbulkan pada pekerja tambang.

Faktor Risiko Terjadinya Gangguan Kesehatan

Hasil tinjauan sistematis mengidentifikasi empat faktor risiko utama yang berkaitan dengan pajanan debu batubara dan dampak kesehatannya, dimulai dari durasi kerja yang merupakan faktor risiko signifikan dengan peningkatan gangguan kesehatan pada pekerja dengan masa kerja lebih dari 5 tahun (Risamasu et al., 2021). Intensitas pajanan debu yang tinggi menjadi faktor risiko kedua dengan konsentrasi tertinggi di area penggalian dan pengeboran yang berkorelasi kuat dengan gangguan fungsi paru (Sinaga, 2023). Sementara penggunaan APD yang tidak konsisten meningkatkan risiko gangguan kesehatan pernapasan dengan nilai signifikansi 0,024 (Pujiono, 2023). Jarak tempat tinggal dari lokasi tambang menjadi faktor risiko keempat, dengan penduduk yang bermukim dalam radius ≤500 meter menunjukkan rata-rata jumlah eosinofil lebih tinggi (3,47%) dibandingkan yang tinggal >500 meter (2,69%), yang mengindikasikan adanya respons inflamasi lebih besar akibat pajanan kronis debu batubara (Kurniasih, 2023). Keempat faktor risiko tersebut saling berinteraksi dan memperkuat dampak pajanan debu batubara, dengan efek paling signifikan terjadi pada pekerja yang memiliki durasi kerja panjang dan terpapar intensitas debu tinggi tanpa perlindungan APD yang memadai.

Mekanisme Patofisiologi Gangguan Kesehatan

Mekanisme patofisiologi gangguan kesehatan akibat pajanan debu batubara dimulai dari inhalasi partikel debu yang memicu serangkaian respons inflamasi, dimana berbagai komponen bioaktif seperti silika, *carbon centered radical*, dan terutama besi (Fe²⁺ dan Fe³⁺) mengkatalisis pembentukan senyawa oksigen reaktif yang berperan penting dalam kerusakan jaringan paru (Maryuningsih, 2015). Kerusakan ini terjadi saat makrofag alveolar melakukan fagositosis terhadap partikel debu di unit respirasi, yang kemudian berdasarkan sifat toksitas partikel tersebut dapat mengakibatkan inflamasi kronis dan pengerasan jaringan alveoli (fibrosis) (Sinaga, Hutagalung & Andriana, 2020). Fibrosis yang terjadi pada alveoli menurunkan elastisitas paru dalam menampung volume udara, sehingga daya ikat oksigen menurun dan fungsi pernapasan terganggu akibat kandungan debu batubara yang merupakan campuran berbagai mineral, trace metal, dan mineral anorganik yang bersifat sitotoksik dan karsinogenik. Elemen-elemen trace seperti *copper*, *nickel*, *cadmium*, besi, timbal dan zinc yang terkandung dalam debu batubara memperberat kerusakan paru melalui mekanisme yang serupa dengan *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) yang menyebabkan kerusakan epitel bronkial (Fauziah, Budiyono & Raharjo, 2020). Temuan hubungan kausal antara pajanan debu batubara dengan perubahan patologis pada jaringan paru oleh (Sinaga & Susilawati, 2024) semakin memperkuat pemahaman tentang bahaya pajanan debu batubara terhadap sistem pernapasan, terutama terkait risiko pneumokoniosis yang patogenesismnya sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia, sifat fisis, dosis dan lama pajanan.

Dampak Kesehatan pada Pekerja Tambang

Pajanan debu batubara menyebabkan spektrum gangguan kesehatan pada pekerja tambang, mulai dari penurunan fungsi paru hingga *Coal Worker's Pneumoconiosis* (CWP) yang merupakan pneumokoniosis akibat inhalasi partikel karbon dari batubara yang umum terjadi pada penambang dan pekerja industri karbon. Penyakit ini berdampak terutama pada

saluran pernapasan yang mengalami penumpukan debu tinggi di paru sehingga menyebabkan kelainan dan kerusakan paru (Sinaga & Susilawati, 2024). serta dapat berkembang menjadi komplikasi serius berupa Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) dengan tingkat kematian mencapai 19,19%. Tingkat kematian yang tinggi ini berkaitan dengan temuan penelitian yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar debu, semakin banyak pekerja mengalami kapasitas fungsi paru tidak normal, terbukti dari penurunan signifikan parameter fungsi paru seperti FVC, FEV1, dan rasio FEV1/FVC pada pekerja terpapar (Wahyuni, 2019). Parameter yang menurun tersebut berhubungan dengan peningkatan risiko kematian hingga 93% dibandingkan kelompok kontrol, disertai perubahan parameter darah berupa peningkatan jumlah eosinofil yang mengindikasikan respons inflamasi sistemik konsisten dengan reaksi imunologis terhadap pajanan debu batubara (Risamasu et al., 2021).

Dampak Kesehatan pada Masyarakat Sekitar

Tinjauan sistematis ini mengungkapkan bahwa dampak kesehatan pertambangan batubara tidak terbatas pada pekerja saja, tetapi juga mempengaruhi masyarakat sekitar tambang. Kurniasih et al. (2023) melaporkan 13,4% masyarakat yang tinggal di sekitar *stockpile* batubara menunjukkan jumlah eosinofil tinggi ($>5\%$), mengindikasikan respons inflamasi sistemik. Jarak tempat tinggal dari lokasi tambang menjadi faktor signifikan, dengan penduduk yang bermukim dalam radius ≤ 500 meter menunjukkan parameter kesehatan yang lebih buruk (Arifandi et al., 2022). Peningkatan kasus infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) dilaporkan pada masyarakat yang tinggal di sekitar area pertambangan batubara. Pencemaran udara akibat debu tambang, terutama PM₁₀ dan PM_{2.5} mengakibatkan gangguan pernapasan dan peradangan saluran napas yang mempengaruhi kualitas hidup masyarakat. Temuan ini memperkuat bukti bahwa dampak kesehatan industri pertambangan batubara bersifat multidimensional dengan implikasi pada kesehatan publik yang lebih luas.

Dampak Lingkungan dan Implikasi Kesehatan

Pertambangan batubara mengakibatkan dampak lingkungan yang berimplikasi pada kesehatan masyarakat secara lebih luas, termasuk memicu deforestasi dan memperburuk perubahan iklim yang menimbulkan bahaya besar bagi penduduk dan alam dunia. Bahaya kesehatan ini juga dirasakan di tempat-tempat bekas tambang karena paparan limbah dan bahan kimia yang masih melekat di tanah dan air, yang sebagian termasuk kategori limbah bahan beracun dan berbahaya (B3) dan memerlukan penanganan khusus sebagaimana dilaporkan (Wahyuni et al., 2019). Penanganan khusus tersebut menjadi krusial mengingat terjadinya pencemaran air dengan peningkatan kadar logam berat seperti arsenik dan merkuri yang berkontribusi pada penurunan kualitas tanah dan udara, sehingga meningkatkan prevalensi penyakit pernapasan di kalangan pekerja dan masyarakat sekitar. Masyarakat sekitar juga terdampak oleh puing batu dan tanah hasil peledakan gunung (*overburden*) yang biasanya dibuang ke sisi lembah dan menghambat aliran hulu sungai, mengakibatkan air yang mengalir dari lokasi pertambangan menjadi terkontaminasi oleh sulfat, logam, dan kotoran lainnya. Kontaminasi air tersebut diperparah dengan polusi udara yang ditimbulkan dari peledakan gunung yang menyebabkan debu-debu halus dengan partikulat sangat kecil tercampur dengan udara bebas di sekitar lokasi tambang (Rahma et al., 2022).

Strategi Pencegahan dan Pengendalian

Berdasarkan kompleksitas dampak kesehatan pajanan debu batubara, diperlukan pendekatan komprehensif dalam strategi pencegahan dan pengendalian melalui pengendalian teknis seperti sistem ventilasi, penyemprot air, dan penggunaan conveyor belt tertutup yang dapat mengurangi dispersi debu ke udara secara signifikan (Fauziah, Budiyono & Raharjo, 2020). Dispersi debu yang terkendali harus didukung dengan pengendalian administratif

meliputi pengaturan shift kerja, rotasi pekerja, dan pemeriksaan kesehatan berkala sekurang-kurangnya setahun sekali yang mencakup pemeriksaan fisik lengkap, kesegaran jasmani, rontgen paru-paru, dan pemeriksaan laboratorium untuk mendeteksi gangguan kesehatan secara dini (Arba, 2019). Deteksi dini ini perlu dibarengi dengan perhatian khusus terhadap pekerja yang berlokasi di area dengan paparan debu langsung, terutama pekerja berusia lanjut yang diharapkan menjaga kondisi kesehatannya dengan mengurangi kebiasaan merokok dan disiplin menggunakan alat pelindung diri secara lengkap. Kedisiplinan penggunaan APD, khususnya masker respirator yang memenuhi syarat secara kualitas dan kuantitas, harus ditingkatkan melalui program edukasi dan pengawasan ketat dengan aturan penggunaan yang jelas selama jam kerja (Wahyuni et al., 2019). Pengawasan ketat tersebut harus disertai monitoring lingkungan secara rutin terhadap kadar debu di udara dan program mitigasi dampak lingkungan seperti pengelolaan limbah pertambangan dan reklamasi area tambang pasca operasi yang dapat melindungi kesehatan ekosistem dan masyarakat sekitar secara berkelanjutan (Rahma, 2021).

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan literatur sistematis yang telah dilakukan, pajanan debu batubara memiliki dampak kesehatan yang signifikan dan multidimensional terhadap pekerja tambang dan masyarakat sekitar, dengan empat faktor risiko utama yang teridentifikasi yaitu durasi kerja lebih dari 5 tahun, intensitas pajanan tinggi ($4,5 \text{ mg/m}^3$) yang melebihi nilai ambang batas ($0,4 \text{ mg/m}^3$), penggunaan APD yang tidak konsisten, dan jarak tempat tinggal kurang dari 500 meter dari lokasi tambang. Dampak kesehatan yang teridentifikasi mencakup gangguan fungsi paru, *Coal Worker's Pneumoconiosis* (CWP) dengan tingkat kematian mencapai 19,19%, Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) dengan peningkatan risiko kematian 93% pada pekerja terpapar, serta peningkatan jumlah eosinofil pada 13,4% penduduk sekitar tambang yang mengindikasikan respons inflamasi sistemik. Mekanisme patofisiologi yang mendasari melibatkan aktivasi makrofag alveolar yang memicu rangkaian reaksi inflamasi, stres oksidatif, dan kerusakan jaringan paru progresif, yang menegaskan kompleksitas dampak kesehatan bersifat multisistematik dan jangka panjang.

Berdasarkan temuan tersebut, diperlukan pendekatan komprehensif dalam strategi pengendalian risiko melalui hirarki pengendalian yang meliputi pengendalian teknis (sistem ventilasi, penyemprot air), administratif (pengaturan shift kerja, pemeriksaan kesehatan berkala), penggunaan APD yang disiplin, monitoring lingkungan rutin, dan mitigasi dampak lingkungan untuk mencegah progresivitas penyakit akibat pajanan debu batubara. Implementasi strategi ini membutuhkan kolaborasi multipihak yang melibatkan perusahaan tambang, pemerintah, tenaga kesehatan, dan masyarakat untuk melindungi kesehatan pekerja dan populasi yang bermukim di sekitar area pertambangan batubara secara berkelanjutan. Upaya perlindungan ini menjadi krusial mengingat tingginya risiko penyakit pernapasan kronis yang dapat memengaruhi kualitas hidup dan produktivitas pekerja tambang serta kesejahteraan masyarakat sekitar. Dengan penerapan strategi pencegahan yang tepat, dampak kesehatan akibat pajanan debu batubara dapat diminimalisir untuk menciptakan lingkungan kerja dan pemukiman yang lebih sehat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Arif Susanto selaku pembimbing saya yang telah memberikan petunjuk, koreksi serta saran hingga terwujudnya jurnal ini. Penulis juga sampaikan terimakasih kepada semua pihak yang

mendukung terselesaikannya jurnal ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu dalam kesempatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amam, A., & Rusdiana, S. (2022). Peranan Kelembagaan Peternakan, Sebuah Eksistensi Bukan Hanya Mimpi: Ulasan dengan Metode Systematic Literature Review (SLR). *Jurnal Peternakan*, 19(1), 9–21. <https://doi.org/10.24014/jupet.v19i1.14244>
- Amini, A., & Susilawati, S. (2023). Analisis Resiko Terkait Kecelakaan Kerja Di Tambang Batubara Dan Faktor Risiko Terkait. SEHATMAS: Jurnal Ilmiah Kesehatan Masyarakat, 2(4), 772-779.
- Arba, S. (2019). Kosentrasi Respirable Debu Particulate Matter (Pm2, 5) Dan Gangguan Kesehatan Pada Masyarakat Di Pemukiman Sekitar PLTU. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(2), 178-184.
- Arifandi, A., Simamora, R. N. Z., Janitra, G. A., Yaqin, M. A., & Huda, M. M. (2022). Survei Teknik-Teknik Pengujian Software Menggunakan Metode Systematic Literature Review. *ILKOMNIKA: Journal of Computer Science and Applied Informatics*, 4(3), 297–315. <https://doi.org/10.28926/ilkomnika.v4i1.253>
- Datuan, A. R., Risal, M., & Silvah, S. (2024). Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Infeksi Saluran Pernafasan Akut pada Pekerja Lapangan PT. Vale Luwu Timur di Klinik Plant Site Sorowako. *Media Publikasi Penelitian Kebidanan*, 7(2), 123–130.
- Fahrändis, A. D., Yenni, M., & Entianopa, E. (2024). Analisis Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja di Area Stockpile Pelabuhan Talang Duku Jambi Tahun 2024. *National Journal of Occupational Health and Safety*, 5(2), 2. <https://doi.org/10.59230/njohs.v5i2.1054>
- Fauziah, A., Budiyono, & Raharjo, M. (2020). Keluhan Subyektif Gangguan Pernafasan pada Pekerja di Area Stockpile Batubara Jambi. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, 10(3), 61–69.
- Julitra, Y., Siregar, R. L. V., & Afrita, D. (2022). Dampak Pertambangan Batubara terhadap Kehidupan Sosial Ekonomi Masyarakat di Kecamatan Merapi Barat Kabupaten Lahat. *Jurnal Intervensi Sosial*, 1(1), 47-56.
- Kurniasih, D., Muslina, M., & Latifah, A. (2023). Gambaran Hasil Pemeriksaan Jumlah Eosinofil pada Penduduk di Sekitar Stockpile Batu Bara Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 23(3), 3046–3049. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v23i3.3982>
- Maizara, R., & Pelawi, C. A. (2024). Intervensi Pengurangan Polusi Udara dari Sumber Bergerak dan Tidak Bergerak Berbagai Negara di Dunia: Systematic Review. *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia (MPPKI)*, 7(5), 1108-1119.
- Marlina, S., & Furqan, M. H. (2024). Dampak Pertambangan Batubara terhadap Lingkungan di Gampong Penaga Cut Ujong, Aceh Barat. *Jurnal Pendidikan Geosfer*, 9(1.1), 267–278. <https://doi.org/10.24815/jpg.v>
- Pujiono, P. (2023). Hubungan Penggunaan APD, Kebiasaan Merokok, Kebiasaan Olahraga, dan Kadar Debu yang Terhirup terhadap Terjadinya Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 15(1), 22–29. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v15i1.2211>
- Rahma, N. (2021). Dampak Pertambangan Batu Bara Pada Kesehatan Lingkungan: A Systematic Review. *Health Safety Environment Journal*, 2(2).
- Rahma, N. D., Rizka, Y., Nufus, W., Saraswati, N. A., & Chairani, S. (2022). Dampak Pertambangan Batu Bara pada Kesehatan Lingkungan: A Systematic Review. *Health Safety Environment Journal*, 2(2), 1–19.
- Risamasu, A. H., Kabiran, I., Damayanti, I. T., Febrianti, T., & N, N. M. A. (2021). Kajian Pustaka: Hubungan Durasi Kerja dengan Pneumokoniosis pada Pekerja Tambang

- Batubara. *CoMPHI Journal: Community Medicine and Public Health of Indonesia Journal*, 1(3), 155–161. <https://doi.org/10.37148/comphijournal.v2i1.29>
- Sinaga, N. E., & Susilawati, S. (2024). Literatur Review: Analisis Faktor-faktor Resiko Bahaya pada Pekerja di Pertambangan. *Jurnal Ventilator*, 2(2), 45–53. <https://doi.org/10.59680/ventilator.v2i2.1167>
- Sinaga, N. N. P., Hutagalung, P., & Andriana, J. (2020). Waspada Pneumokoniosis Pada Pekerja Di Industri Pertambangan. *Jurnal Kedokteran Universitas Palangka Raya*, 8(1), 935–945.
- Sunuh, H., & Subagyo, I. (2022). Gambaran Kadar Debu Respirabel pada Pekerja Bagian Produksi di PT. Bintang Manunggal Persada Kelurahan Buluri Kota Palu. *Banua: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2(1), 1–6. <https://doi.org/10.33860/bjkl.v2i1.1223>
- Wahyuni, A., Rahim, M. R., Sulastri, S., Awaluddin, A., Arsyad, D. S., & Selomo, M. (2019). Hubungan Pajanan Debu Dengan Kapasitas Paru Pada Pekerja Di Area Boiler PT. Makassar Tene. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Maritim*, 2(1).
- World Health Organization. (2024). *Ambient (outdoor) air quality and health*. Retrieved April 26, 2025, from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).