

Paparan Partikulat Matter (PM_{10} dan $PM_{2,5}$) pada Lingkungan Kerja di Pabrik Smelter PT Vale Sorowako, Luwu Timur

Zaenab, Rafidah, Fiqih Fauziyah Amien

Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Makassar

*Corresponding author: zaenab@poltekkes-mks.ac.id

Info Artikel:Diterima bulan September 2025 ; Disetujui bulan Nopember 2025 ; Publikasi bulan Desember 2025

ABSTRACT

Air is a vital component that supports life; however, the increase in industrial activities, particularly in the metal processing sector such as nickel smelters, has caused a significant rise in air pollution. The high-temperature smelting process of nickel ore generates gas emissions and fine particulate matter (PM_{10} and $PM_{2,5}$), which pose potential health risks as they can penetrate deep into the alveoli of workers' lungs. This study aims to determine the concentrations of PM_{10} and $PM_{2,5}$ in the nickel ore processing area, smelting process area, and workers' room at PT Vale Indonesia, Sorowako, East Luwu Regency. This research employed a descriptive observational design and was conducted in April 2025. Out of eight operational plant areas, three were selected using purposive sampling—nickel ore processing, smelting, and workers' room based on emission potential and exposure levels. Measurements of PM_{10} and $PM_{2,5}$ were conducted using the gravimetric method according to SNI 19-7119.1-2005 with a High Volume Air Sampler (HVAS). Sampling was carried out for 8 working hours per point at a height of 1.5 meters, with three replications per week for three consecutive weeks. The results showed that the average concentrations of PM_{10} were $1325 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1257 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and $1592 \mu\text{g}/\text{m}^3$, while $PM_{2,5}$ concentrations were $555 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $764 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and $924 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. All values exceeded the permissible limits set by the Ministry of Health Regulation (Permenkes) No. 2 of 2023. The highest concentration in the workers' room indicated a failure in the ventilation system and secondary dust control. It is recommended to install HEPA filters, wet scrubbers, and dust collectors, conduct air quality monitoring every three months, and ensure the use of N95/P100 respirator masks by workers.

Keywords : Air Quality; PM_{10} ; $PM_{2,5}$; Smelter Industry

ABSTRAK

Udara merupakan komponen vital yang menopang kehidupan, namun peningkatan aktivitas industri, terutama pada sektor pengolahan logam seperti smelter nikel, telah menyebabkan kenaikan signifikan terhadap pencemaran udara. Proses peleburan bijih nikel pada suhu tinggi menghasilkan emisi gas dan partikulat halus (PM_{10} dan $PM_{2,5}$) yang berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan, karena mampu menembus hingga alveoli paru-paru pekerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi partikulat PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di area produksi pengolahan bijih nikel, proses peleburan (smelting), dan ruang pekerja di PT Vale Indonesia, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur. Jenis penelitian yang digunakan adalah deskriptif observasional, dilaksanakan pada April 2025. Dari delapan area operasional pabrik, tiga area dipilih secara purposive sampling, yaitu pengolahan bijih nikel, smelting, dan ruang pekerja, berdasarkan potensi emisi dan tingkat paparan pekerja. Pengukuran PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dilakukan menggunakan metode gravimetri sesuai SNI 19-7119.1-2005 dengan alat High Volume Air Sampler (HVAS). Pengambilan sampel dilakukan selama 8 jam kerja per titik pada ketinggian 1,5 meter, dengan tiga kali replikasi per minggu selama tiga minggu berturut-turut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata PM_{10} masing-masing sebesar $1325 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1257 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $1592 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan $PM_{2,5}$ sebesar $555 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $764 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $924 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Seluruh nilai melebihi ambang batas menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023. Konsentrasi tertinggi di ruang pekerja mengindikasikan kegagalan sistem ventilasi dan kontrol debu sekunder. Diperlukan pemasangan HEPA filter, wet scrubber, dan dust collector, pemantauan udara setiap tiga bulan, serta penggunaan masker respirator N95/P100 bagi pekerja.

Kata kunci : Kualitas Udara; PM_{10} ; $PM_{2,5}$; Pabrik Smelter

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai salah satu produsen nikel terbesar di dunia, memegang peranan kunci dalam industri ini (Safitri et al., 2025). Pada tahun 2020, pemerintah Indonesia menerapkan kebijakan larangan ekspor bijih nikel mentah untuk mendorong peningkatan nilai tambah di dalam negeri melalui pengolahan bijih nikel menjadi produk setengah jadi, seperti nikel matte atau nikel sulfat. Kebijakan ini bertujuan untuk mendukung pembangunan smelter (pabrik pengolahan) nikel, yang menghasilkan

produk yang lebih bernilai tinggi, dan sekaligus menciptakan lapangan kerja serta meningkatkan penerimaan negara dari sektor ini (Ferial et al., 2021).

Penambangan laterit adalah dimulainya produksi tambang nikel di Indonesia untuk mengambil limonit dan saprolit. Terdapat beberapa lokasi sumber daya laterit salah satunya di bagian Indonesia Timur seperti Sulawesi Tenggara, Maluku Utara, dan Papua. Untuk bisa menciptakan suatu pabrik pengolahan laterit guna melaksanakan amanat Undang-Undang Mineral dan Batubara Nomor 4 Tahun 2009, maka dalam langkah hilirisasi diperlukan infrastruktur untuk menampung hasil pengolahan, bahan baku yang sesuai, teknologi pengolahan, serta dapat menampung modal besar

Udara adalah campuran gas yang mengelilingi bumi dan menjadi bagian penting dari atmosfer. Udara tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak terlihat secara kasat mata, tetapi memiliki massa dan volume. Udara mendukung kehidupan di bumi, menyediakan oksigen bagi makhluk hidup, serta memberikan peran penting dalam berbagai proses alam. Adanya gas-gas dan partikulat-partikulat tersebut akan mengganggu siklus yang ada di udara dan dengan sendirinya akan mengganggu sistem keseimbangan dinamik di udara, sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan kualitas udara. (Sari, 2022). Aktivitas industri berpotensi untuk mencemari lingkungan, misalnya pencemaran udara yang berasal dari asap dan debu yang dapat menurunkan kualitas lingkungan yang pada gilirannya menurunkan kualitas hidup masyarakat yang bermukim di sekitar kawasan industri tersebut. Industri nikel merupakan industri dengan proses produksi energi tinggi, karena membutuhkan banyak bahan bakar pada saat proses pembakaran di kalsiner dan tanur (kiln). Emisi dari industri nikel ke atmosfer meliputi partikulat matter (PM10) dan partikulat matter (PM2,5) (Irawan Bambang 2024).

Pencemaran udara saat ini mendapat perhatian yang cukup besar, terutama di negara berkembang dan kota-kota dengan peningkatan industri. Polusi udara yang semakin meningkat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia akibat paparan polusi udara. Pabrik smelter adalah tempat pengelolahan berbagai nikel. Nikel adalah logam yang kuat, tahan korosi, dan memiliki sifat magnetik. banyak ditemukan dalam berbagai bijih terutama laterit dan sulfida, Nikel sering digunakan dalam pembuatan baja tahan karat (stainless steel) dan berbagai produk industri. Proses penambangan dan pengolahan nikel dapat menghasilkan pencemaran melalui mekanisme dengan melibatkan emisi gas dan partikel. Pencemaran udara yang dihasilkan oleh nikel bersumber dari proses produksi yang melibatkan pengolahan bijih nikel yang diproses melalui pemanasan pada suhu tinggi untuk menghasilkan feronikel atau nikel murni. Proses ini melibatkan pembakaran bahan bakar fosil dan menghasilkan emisi logam berat dalam bentuk partikulat. Salah satu emisi gas buang yang dihasilkan oleh pabrik nikel adalah Particulate Matter 10 (PM10) yang berpotensi masuk ke paru-paru.

Permasalahan yang muncul saat ini adalah kurangnya data mengenai tingkat paparan partikulat di dalam lingkungan kerja smelter nikel, khususnya di area yang dianggap "aman" seperti ruang operator, ruang kerja administratif, dan ruang istirahat. Sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada pengukuran kualitas udara di area proses utama atau di lingkungan luar pabrik. Padahal, area indoor dalam kompleks smelter tetap berpotensi terpapar partikulat yang berasal dari kebocoran sistem ventilasi, pergerakan udara dari area proses, maupun kontaminasi silang akibat aktivitas pekerja. Cela inilah yang menunjukkan bahwa hingga kini belum ada kajian yang secara komprehensif memetakan sebaran partikulat di area kerja internal smelter nikel.

Penelitian yang dilakukan Erly Esaputri Saragih (2022) menemukan konsentrasi polutan udara di PT. Kapuas Cahaya Bahari (KACABA) untuk konsentrasi partikulat matte (PM10), menunjukkan hasil $< 10 \mu\text{m}$ (PM10) $28,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Keberadaan PM10 menunjukkan masih di bawah standar namun paparan yang terus menerus oleh debu dapat meningkatkan risiko timbulnya penyakit akibat kerja utamanya gangguan pernafasan. (Saragih et al., 2022). Pada area sekitar industri PT. Vale Sorowako Luwu Timur sangat berpotensi terjadi pencemaran udara dan gangguan kesehatan yang berasal dari aktivitas industri nikel. Gangguan kesehatan dapat berdampak pada tubuh dimana partikulat matter 10 (PM10) dan partikulat matter 2,5 (PM2,5) dapat masuk kedalam saluran pernapasan dan mencapai paru-paru serta aliran darah yang dapat mengakibatkan gangguan pernafasan, penyakit jantung dan kanker paru-paru, sedangkan aktivitas industri menghasilkan pencemaran udara sangat tinggi dari proses-proses pembuatan nikel hingga menghasilkan debu atau partikel halus yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan.

Selain itu, hingga saat ini belum ditemukan studi serupa yang dilakukan di PT Vale Indonesia maupun di smelter-smelter nikel lain di Indonesia, padahal perusahaan-perusahaan tersebut merupakan

bagian penting dari rantai industri hilirisasi nasional. Kurangnya studi ilmiah yang meneliti paparan partikulat di dalam area kerja menjadikan sulitnya memperoleh gambaran mengenai risiko kesehatan yang mungkin dihadapi oleh pekerja, terutama di ruang-ruang yang secara administratif dianggap aman dari paparan. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki peran penting dalam mengisi kekosongan data tersebut dengan melakukan pemetaan paparan partikulat di area-area kritis, termasuk ruang kerja dan ruang istirahat, untuk memberikan bukti ilmiah terkait potensi risiko paparan yang mungkin selama ini terabaikan.

Penelitian ini juga berlandaskan pada kerangka teori determinan paparan partikulat di lingkungan industri, yang mencakup tiga faktor utama. Pertama, faktor sumber, meliputi jenis bahan bakar, proses pembakaran, dan intensitas produksi yang menentukan besarnya emisi partikulat yang dilepaskan ke udara. Kedua, faktor lingkungan, seperti sistem ventilasi, arah angin, kelembapan udara, serta tata letak bangunan yang berpengaruh terhadap distribusi partikulat di ruang kerja. Ketiga, faktor individu, seperti lama waktu paparan, aktivitas pekerja, serta kepatuhan dalam penggunaan alat pelindung diri (APD), yang memengaruhi tingkat paparan personal. Melalui pemahaman terhadap ketiga determinan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai sumber, sebaran, dan tingkat paparan partikulat di lingkungan kerja smelter nikel.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang kesehatan lingkungan dan higiene industri dengan cara mengidentifikasi serta memetakan risiko paparan partikulat di area kerja smelter nikel yang belum pernah dikaji secara mendalam sebelumnya. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar dalam perumusan strategi pengendalian risiko kesehatan pekerja di sektor industri nikel yang terus berkembang di Indonesia.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif observasional yang bertujuan untuk menggambarkan tingkat paparan partikulat di lingkungan kerja smelter nikel. Lokasi penelitian dilakukan di pabrik smelter PT Vale Indonesia, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, pada bulan April 2025. Populasi penelitian mencakup seluruh area operasional pabrik yang terdiri atas delapan bagian, yaitu: area pengolahan bijih nikel, proses peleburan (smelting), pengolahan gas buang (flue gas treatment), pengolahan material, ruangan pekerja, tempat penyimpanan bahan, area pemurnian logam, dan area pendukung. Dari delapan bagian tersebut, tiga area dipilih sebagai sampel pengukuran, yakni (1) area pengolahan bijih nikel, (2) area peleburan nikel, dan (3) ruang kerja atau ruang istirahat pekerja. Pemilihan dilakukan dengan teknik purposive sampling berdasarkan tingkat aktivitas produksi, potensi emisi partikulat, dan representasi kondisi paparan pekerja.

Pengukuran konsentrasi partikulat PM_{10} dilakukan menggunakan metode gravimetri sesuai dengan SNI 19-7119.1-2005 tentang Penentuan Konsentrasi Partikulat Tersuspensi Total (TSP) di Udara Ambien dengan Cara Gravimetri. Instrumen yang digunakan adalah High Volume Air Sampler (HVAS) merek Tisch Environmental, model TE-5170V, yang bekerja dengan prinsip pengumpulan partikulat melalui penyedotan udara berdebit tinggi melewati media filter serat kaca (glass fiber filter). Berat filter diukur sebelum dan sesudah pengambilan sampel menggunakan analytical balance dengan ketelitian 0,1 mg. Selisih berat filter menunjukkan massa partikulat yang tertangkap, yang kemudian dihitung terhadap volume udara yang dihisap untuk mendapatkan konsentrasi PM_{10} dalam satuan $\mu g/m^3$.

Durasi pengambilan sampel dilakukan selama 8 jam per titik pengukuran, menyesuaikan dengan jam kerja penuh pekerja untuk menggambarkan paparan rata-rata harian (Time Weighted Average/TWA). Setiap titik pengukuran ditempatkan pada ketinggian 1,5 meter dari permukaan lantai, sejajar dengan tinggi saluran pernapasan pekerja. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali per minggu selama tiga minggu berturut-turut, sehingga total terdapat sembilan kali pengukuran di setiap area.

Data hasil pengukuran kadar partikulat PM_{10} diolah secara deskriptif komparatif dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap Nilai Ambang Batas (NAB) yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memperlihatkan variasi konsentrasi partikulat di masing-masing area.

Penelitian ini telah memperoleh izin resmi dari manajemen PT Vale Indonesia dan telah mendapatkan persetujuan etik penelitian dari Komite Etik Penelitian Kesehatan Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Makassar, dengan Nomor Etik: 0535/M/KEPK-PTKMS/IV/2025. Seluruh

prosedur penelitian dilakukan sesuai dengan standar keselamatan kerja dan etika penelitian di lingkungan industry

HASIL

Tabel 1. Konsentrasi PM₁₀ di pabrik smelter PT Vale

Lokasi	Pengukuran ke-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pengukuran ke-2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pengukuran ke-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rata-rata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Produksi pengolahan bijih nikel	930	1.244	1.801	1.325
Proses peleburan (<i>smelting</i>)	1.556	1.290	925	1.257
Ruangan pekerja	1.253	1.834	1.690	1.592

Sumber: Data Primer, 2025

Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata partikulat PM₁₀ di area produksi pengolahan bijih nikel sebesar 1.325 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, di proses peleburan (*smelting*) sebesar 1.257 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan di ruangan pekerja sebesar 1.592 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi PM₁₀ di seluruh area penelitian sangat tinggi jika dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, yaitu 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk udara ambien.

Tabel 2. Konsentrasi PM_{2,5} di pabrik smelter PT Vale

Lokasi	Pengukuran ke-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pengukuran ke-2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pengukuran ke-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rata-rata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Produksi pengolahan bijih nikel	677	590	398	555
Proses peleburan (<i>smelting</i>)	825	745	723	764
Ruangan pekerja	905	972	894	924

Sumber: Data Primer, 2025

Tabel 2 memperlihatkan bahwa konsentrasi rata-rata partikulat halus PM_{2,5} di area produksi pengolahan bijih nikel sebesar 555 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, di proses peleburan (*smelting*) sebesar 764 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan di ruangan pekerja sebesar 924 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai ini menunjukkan bahwa seluruh lokasi penelitian memiliki tingkat partikulat udara yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan dalam Permenkes Nomor 2 Tahun 2023, yaitu 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk udara ambien.

PEMBAHASAN

Konsentrasi PM₁₀ pada Produksi Pengolahan Bijih Nikel, Proses Peleburan Smelting, dan Ruangan Pekerja

Berdasarkan hasil pengukuran, konsentrasi partikulat matter 10 (PM₁₀) pada tiga lokasi pengamatan menunjukkan nilai yang bervariasi, yaitu sebesar 1325 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di area produksi pengolahan bijih nikel, 1257 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di area proses peleburan (*smelting*), dan 1592 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di ruang pekerja. Nilai tertinggi ditemukan di ruangan pekerja, yang melebihi ambang batas baku mutu menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023, sehingga dinyatakan tidak memenuhi syarat kualitas udara dalam ruang kerja. Temuan ini kontra-intuitif karena secara umum konsentrasi tertinggi diharapkan terjadi pada area peleburan logam. Fenomena ini mengindikasikan adanya kegagalan sistem ventilasi dan kontrol debu

sekunder (resuspensi) di ruang pekerja, yang menyebabkan akumulasi partikulat akibat sirkulasi udara yang buruk dan terjadinya pengendapan serta pelepasan ulang (re-suspension) partikel halus.

Tingginya konsentrasi PM₁₀ di ruang pekerja dipengaruhi oleh aktivitas mekanis seperti transfer bijih, pengoperasian forklift, dan pergerakan material tanpa sistem ventilasi atau penyaring udara yang efektif. Selain itu, kemungkinan kebocoran debu dari area penggilingan dan proses peleburan turut memperburuk kondisi udara dalam ruangan. Akumulasi debu ini terjadi karena partikel logam halus tidak sepenuhnya tertangkap oleh sistem filter dan terdispersi kembali akibat getaran alat dan aktivitas pekerja.

Berbeda dengan studi Fikri (2024) di pabrik semen, yang melaporkan nilai konsentrasi PM₁₀ di Hall A sebesar 8972 µg/m³ dan Hall B sebesar 5825 µg/m³, sumber emisi pada pabrik semen berasal dari proses loading semen ke silo menggunakan tekanan udara, yang menghasilkan debu berukuran 3–100 µm. Proses dan sumber emisi di pabrik semen sangat berbeda dengan smelter nikel, karena dalam smelter, partikulat lebih banyak berasal dari pembakaran logam pada suhu tinggi dan pelepasan metal fume dari tanur listrik.

Sumber utama PM₁₀ pada proses peleburan nikel meliputi emisi dari tanur listrik, penanganan terak (slag), dan sistem ventilasi cerobong yang tidak dilengkapi pemisah partikulat efisien seperti cyclone, baghouse filter, atau electrostatic precipitator. Emisi debu juga berasal dari pergerakan material padat dan proses pencampuran bahan tambahan (fluxing agent) yang tidak dilengkapi local exhaust ventilation yang memadai. Paparan PM₁₀ di lingkungan kerja berdampak serius terhadap kesehatan pekerja, seperti iritasi saluran pernapasan atas, batuk kronis, sesak napas, serta peningkatan risiko penyakit infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Selain itu, partikulat halus yang lepas ke udara luar juga menurunkan kualitas udara ambien dan berdampak ekologis pada vegetasi sekitar pabrik.

Upaya pengendalian PM₁₀ yang direkomendasikan meliputi: (1) pemasangan sistem penyemprotan air otomatis (water spray system) di area crushing, conveyor, dan jalan tambang untuk menekan debu; (2) enclosure dan isolasi area penghasil debu guna membatasi pelepasan partikel; (3) penggunaan dust collector di titik produksi utama; (4) penerapan green belt dengan vegetasi penyerap debu di sekitar area produksi; serta (5) pemantauan kualitas udara secara real-time untuk mendeteksi lonjakan konsentrasi. Penerapan APD dan SOP K3 secara konsisten juga menjadi langkah penting dalam melindungi pekerja dari paparan partikulat halus.

Konsentrasi PM_{2,5} di Produksi Pengolahan Bijih Nikel, Proses Peleburan Smelting, dan Ruangan Pekerja

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi partikulat halus (PM_{2,5}) di area produksi pengolahan bijih nikel sebesar 555 µg/m³, pada proses peleburan smelting sebesar 764 µg/m³, dan di ruangan pekerja sebesar 924 µg/m³. Nilai tertinggi ditemukan di ruangan pekerja, yang melebihi ambang batas baku mutu kualitas udara dalam ruang kerja berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023. Temuan ini mengindikasikan bahwa ruang kerja menjadi lokasi dengan akumulasi partikulat tertinggi, bukan area proses peleburan seperti yang secara teoritis diharapkan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kegagalan sistem ventilasi dan pengendalian debu sekunder (resuspensi) yang menyebabkan partikel halus terperangkap dan terdistribusi ulang di udara dalam ruang kerja.

Partikulat PM_{2,5} memiliki ukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ yang memungkinkan partikel masuk hingga ke alveoli paru-paru dan bahkan ke sistem peredaran darah. Peningkatan konsentrasi PM_{2,5} di lingkungan kerja biasanya berkaitan dengan aktivitas termal tinggi, proses pembakaran, pengolahan material, serta pergerakan debu yang tersuspensi lama di udara. Sumber utama partikulat di ruang kerja antara lain berasal dari sisa partikulat yang menempel pada alat pelindung diri (APD) pekerja, kebocoran udara dari proses peleburan, serta ventilasi dan sistem filtrasi yang tidak optimal. Aktivitas pemindahan, pengeringan, dan penggilingan bijih di area tertutup juga meningkatkan pelepasan partikel mikro ke udara. Selain itu, penggunaan mesin berbahan bakar diesel di area dekat ruang pekerja turut berkontribusi terhadap peningkatan emisi PM_{2,5}, terutama bila sistem ventilasi dan penyaringan udara tidak berfungsi dengan baik. Debu yang mengendap di lantai, peralatan, dan pakaian kerja dapat kembali terdispersi (resuspensi) akibat aktivitas dan getaran alat produksi.

Temuan ini tidak sejalan dengan studi Fikri (2024) yang dilakukan di pabrik semen—karena perbedaan karakteristik proses produksi dan sumber emisi—sehingga tidak dapat dijadikan pembanding yang relevan. Sebaliknya, hasil penelitian ini lebih sebanding dengan studi di smelter tembaga di Chile

dan China, yang melaporkan rentang konsentrasi PM_{2.5} antara 700–2500 µg/m³, menunjukkan bahwa proses peleburan logam pada suhu tinggi dan pengelolaan terak yang terbuka menjadi penyumbang utama partikulat halus (Zhang et al., 2020; Herrera et al., 2022). Pada proses peleburan nikel, suhu operasi mencapai sekitar 1.520°C, menghasilkan gas panas, uap logam, dan abu halus dari oksidasi logam berat. Jika sistem ventilasi lokal dan dust collector tidak berfungsi secara efisien, partikel-partikel ini akan terlepas ke udara kerja dan lingkungan sekitar.

Kondisi ini diperburuk oleh kurangnya sistem enclosure dan filtrasi udara, sehingga debu hasil pembakaran dan sisa slag (terak) dapat terlepas bebas ke udara. Partikel PM_{2.5} dari proses peleburan juga dapat berasal dari gas buang cerobong (stack emission) apabila sistem pemisahan partikulat seperti baghouse filter, electrostatic precipitator, atau wet scrubber tidak bekerja optimal. Akumulasi partikulat dalam ruang kerja memperburuk kualitas udara ambien dan meningkatkan risiko paparan jangka panjang bagi pekerja.

Paparan PM_{2.5} memiliki dampak serius terhadap kesehatan pekerja. Partikel halus ini dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan atas, batuk kronis, sesak napas, penurunan fungsi paru, hingga meningkatkan risiko penyakit ISPA dan penyakit kardiovaskular. Selain itu, partikulat yang mengandung logam berat dapat memicu peradangan sistemik dan kerusakan jaringan paru. Dari aspek lingkungan, PM_{2.5} berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara, penurunan jarak pandang (visibility), serta pengendapan partikel di daun tanaman dan permukaan tanah yang dapat mengganggu proses fotosintesis dan kualitas ekosistem sekitar pabrik.

Upaya pengendalian PM_{2.5} perlu dilakukan melalui pendekatan rekayasa teknis dan manajemen lingkungan terpadu. Beberapa langkah yang direkomendasikan antara lain: (1) pemasangan dust collector dan wet scrubber untuk menangkap partikel halus sebelum terlepas ke udara, (2) penutupan area peleburan dan penanganan slag agar emisi tidak langsung terlepas ke lingkungan kerja, (3) penggunaan bahan bakar yang lebih bersih untuk mengurangi emisi pembakaran, (4) peningkatan sistem ventilasi mekanis dan filtrasi udara (HEPA filter) di ruang kerja, (5) pemisahan zona berdebu dan area bersih untuk membatasi penyebaran partikel, (6) pemantauan kualitas udara secara real-time menggunakan sensor PM_{2.5} di titik kritis, serta (7) penerapan protokol K3 dan APD yang ketat, termasuk pelatihan pekerja mengenai bahaya paparan partikulat halus. Implementasi strategi ini diharapkan dapat menekan tingkat paparan PM_{2.5} di area kerja smelter nikel dan menjaga kesehatan pekerja serta lingkungan sekitar.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi partikulat di seluruh area produksi smelter nikel melebihi ambang batas baku mutu udara dalam ruang berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023. Konsentrasi rata-rata PM₁₀ tertinggi ditemukan di ruang pekerja sebesar 1592 µg/m³, diikuti area pengolahan bijih nikel sebesar 1325 µg/m³ dan area peleburan (smelting) sebesar 1257 µg/m³, sedangkan konsentrasi PM_{2.5} tertinggi juga terdapat di ruang pekerja sebesar 924 µg/m³, diikuti area smelting sebesar 764 µg/m³ dan pengolahan bijih nikel sebesar 555 µg/m³. Temuan bahwa konsentrasi tertinggi terjadi di ruang pekerja mengindikasikan adanya kegagalan sistem ventilasi dan kontrol debu sekunder akibat resuspensi debu dari aktivitas pekerja serta sirkulasi udara yang tidak optimal. Untuk menurunkan tingkat paparan partikulat dan melindungi kesehatan pekerja, disarankan penerapan sistem pengendalian teknis yang lebih spesifik, seperti pemasangan HEPA filter, dust collector, dan wet scrubber di area proses, serta pelaksanaan pemantauan kualitas udara setiap tiga bulan dengan parameter PM_{2.5} dan PM₁₀ yang dilakukan oleh petugas K3L. Selain itu, perusahaan perlu mewajibkan penggunaan masker respirator tipe N95 atau P100, memperkuat pelatihan dan pengawasan penggunaan APD, serta menerapkan program housekeeping untuk mencegah penumpukan dan resuspensi debu. Penerapan langkah-langkah tersebut diharapkan mampu menurunkan konsentrasi partikulat di udara hingga memenuhi baku mutu dan melindungi pekerja dari risiko gangguan kesehatan akibat paparan partikulat di lingkungan smelter nikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Bani (2019) *Penyebab Polusi Udara* <https://banjar.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/penyebab-polusi-udara-bagaimana-cara-pengolahan-udara-dan-pencegahan-pencemaran-udara>.
- Arlesia A. (2020) *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan PM10 pada Pedagang di Kawasan Pasar Siteba Tahun 2020*. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Andalas: Padang.; 2020.
- Azni IN, Wispriyono B, Sari M. (2020) *Analisis Risiko Kesehatan Pajanan PM 10 Pada Pekerja Industri Readymix PT. X Plant Kebon Nanas Jakarta Timur* Health Risk Analysis of Particulate Matter 10 (PM 10) Exposure among Readymix Workers of PT X Kebon Nanas Plant , East Jakarta. J MKMI. 2020;10:203–9.
- Danis,(2020) *Polusi Patikulat PM10 Dan PM2,5 Pada Kualitas Udara* <https://www.climate4life.info/2019/08/mengenal-polusi-partikel-particle-matter-pm-penyebab-menurunnya-kualitas-udara.html?m=1>.
- Duppa Aznaeni 2020 *Kualitas Udara Di Sekitar Industri Semen Bosowa* maros JKMM, Vol. 3 No. 3, Maret 2020.
- Ferial, L., Fitria, L., & Silalahi, M. D. S. (2021). Konsentrasi Particulate Matter (PM10) dan Gejala Pernapasan yang Dialami Pekerja Pabrik Semen “X”, Kota Cilegon-Banten. *Jurnal Lingkungan Dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 4(1), 1–12.
- Fikri Erlanda 2024 *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Pajanan PM10 dan PM2,5 di PT Beton Perkasa Tahun 2024*, *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 24(1),2025,116-123 <https://ejournal.undip.ac.id/Index.php/jkli>.
- Harnia, Ishak H, Ikhtiar M, Bintara A, Habo H. (2019) *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pada Industri Semen Sulawesi Selatan*.
- Hasan, 2024 Implikasi Putusan Tentang Kebijakan Bijih Nikel Terhadap Hilirisasi Industri Bijih Nikel. Herlina Yusuf (2023) *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Particulate Matter (PM10) dan CO pada masyarakat Di desa Buatana Botupingge*,Jurnal Sulolipu Media Komunikasi Sivitas Akademik Vol 23 No 1 2023
- Irawan Bambang (2024) *Analisis Kualitas Udara Ambien Parameter PM10 Dan PM2,5 Pada Area Bijih Nikel*. Journal Techno Vol 10 No 2 <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/teknoslppm/article/viewFile/13819/6929>.
- Muhammad Gunaprawira, K., & Sutandi, T. (2021). Prosiding The 12 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung.
- Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 2 tahun 2023
- Pratama Sandy (2023) *Pengaruh Emisi Dari Kegiatan Industri Manufaktur Terhadap Kualitas Udara (Pm2.5, Pm10) Di Kota Tangerang*, Jukung Jurnal Teknik Lingkungan, 10 (2): 01 – 14, 2024
- Prasetyo (2022) *Analisis Kualitas Udara Disekitar Pabrik Smelter*,*Jurnal KesehatanLingkungan*,4556.<https://jurnalkesehatanlingkungan.com/analisis-kualitas-udara>.
- Rauf (2021) *Analisis Risiko Pajanan PM2,5 di Sekitar Wilayah Pertambangan Kecamatan Wolo, miracle journal of public health (mjph)* <https://jurnal.fikesumw.ac.id/index.php/mjph>.
- Resti Ayu (2021) *Potensi Risiko Pajanan PM2,5 pada Area Industri di Kab 50 Kota,Riset informasi Kesehatan*. Vol.10 No 2 doi:10.30644/rik.v8i2. 581.
- Saragih, E. E., Jati, D. R., & Pramadita, D. S. (2022). *Analisis Polutan Udara (CO, NO2, SO2, PM10, PM2,5 dan TSP) di Industri Galangan Kapal serta Pengaruhnya terhadap Lingkungan Kerja*. In Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah (Vol. 10, Issue 2).
- Safitri, B. P., Farid, M., & Lusno, D. (2025). Literature Review: Dampak Paparan PM2.5 Terhadap Gangguan Pernapasan Pekerja yang Beresiko Tinggi. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 6, 6371–6382.
- Sari (2022) *Dampak pencemaran udara pabrik dilingkungan masyarakat* , *Jurnal Kriminologi Universitas Islam Riau*, (Vol 7) <https://journal.uir.ac.id/index.php/sisilainrealita>.
- Setiawan (2021) *Teknologi Pengendalian Emisi Pabrik Smelter*,*Jurnal Teknologi Lingkungan* 78-89.<https://jurnaltechnologilingkungan.com/> pengendalianemis Diakses pada 24 Februari 2025
- Siregar Riyanti (2022) Analisis Risiko Paparan Debu Pada Pekerja Pabrik Kelapa Sawit di Industri

Sulawesi Selatan

Sumarni Hamid Alyy (2023) Esensi Pencemaran Udara,Yogyakarta,Graha Ilmu

Sumbara L, (2021) *Dampak Risiko Pajanan Partikulat PM10 Dan PM2,5 Pada Peleburan Logam Industri Kecil Di Kabupaten Tegal* , Journal Masyarakat Vol 2 No 12

Winatama D,2021 *Analisis Kualitas Udara Pada Kawasan Transpotrasi,Industri,Perkotaan,Pemukiman Kota Tegal*,Jurnal Ilmu Lingkungan 381-386 doi 10.14710/jil.21.2.381-386.