

Penilaian Risiko *Total Suspended Particulate (TSP)* pada Pekerja Produksi di PT Wijaya Karya Beton Tbk Pasuruan

Risk Assessment of Total Suspended Particulate (TSP) Exposure on Production Workers at PT Wijaya Karya Beton Tbk Pasuruan

Azmiy Ihsany Bahri*, Endang Dwiyantri, Faisal Al Farisi

Departemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga

***Corresponding Author: Azmiy Ihsany Bahri**

Email: azmiy.ihsany.bahri-2022@fkm.unair.ac.id

ABSTRAK

Industri konstruksi merupakan sektor padat karya dengan potensi paparan debu tinggi yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan pernapasan pada pekerja. Data pengukuran lingkungan kerja di PT Wijaya Karya Beton Tbk Pasuruan menunjukkan adanya variasi konsentrasi debu total (*Total Suspended Particulate/TSP*) pada beberapa jalur produksi, dengan nilai tertinggi mencapai 1 mg/m³ di ruang produksi. Kondisi ini berpotensi melampaui nilai referensi risiko kesehatan dan memerlukan kajian kuantitatif untuk mengetahui tingkat risikonya. Penelitian ini bertujuan menilai risiko paparan TSP terhadap pekerja produksi menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2025 dengan menggunakan data sekunder hasil pengukuran konsentrasi TSP pada beberapa area kerja, yang selanjutnya dihitung nilai *Intake* dan *Risk Quotient (RQ)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada Ruang Produksi Jalur 4 dengan konsentrasi TSP 1 mg/m³, nilai *intake* sebesar 0,0826 mg/kg/hari dengan RQ 4,13 (>1), menandakan potensi gangguan kesehatan. Sedangkan, pada area *Wire Cagging* Jalur 1-2 dan Jalur 6 dengan konsentrasi TSP 0,02 mg/m³, nilai RQ 0,08 (<1), masih dalam kategori aman. Upaya pengendalian risiko meliputi penerapan ventilasi mekanis sesuai SNI 03-6572-2001 pada area tertutup, *housekeeping*, pemantauan berkala, dan penggunaan alat pelindung diri.

Kata Kunci : Penilaian Risiko, Debu, Total Suspended Particulate, ARKL, Industri Beton

ABSTRACT

The construction industry is a labor-intensive sector with a high potential for dust exposure that may cause respiratory health problems among workers. Workplace environmental measurements at PT Wijaya Karya Beton Tbk Pasuruan showed variations in total dust concentration (*Total Suspended Particulate/TSP*) across several production lines, with the highest level reaching 1 mg/m³ in the production area. This condition may exceed health risk reference values and therefore requires a quantitative assessment to determine the level of risk. This study aimed to assess the risk of TSP exposure among production workers using the Environmental Health Risk Assessment (EHRA) method. The research was conducted in 2025 using secondary data from TSP concentration measurements in several work areas. Intake values and Risk Quotient (RQ) were subsequently calculated. The results showed that in Production Room Line 4, with a TSP concentration of 1 mg/m³, the intake value was 0.0826 mg/kg/day with an RQ of 4.13 (>1), indicating a potential health risk. Meanwhile, in the Wire Caging areas of Lines 1–2 and Line 6, with a TSP concentration of 0.02 mg/m³, the RQ value was 0.08 (<1), which is still considered acceptable. Risk control measures include the implementation of mechanical ventilation in accordance with SNI 03-6572-2001 in enclosed areas, improved housekeeping practices, periodic air quality monitoring, and consistent use of personal protective equipment.

Keywords: Risk Assessment, Dust, Total Suspended Particulate, EHRA, Concrete Industry

PENDAHULUAN

Debu total atau *Total Suspended Particulate (TSP)* adalah kumpulan partikel halus di udara yang berukuran kurang dari 100.^{1,2} Debu termasuk salah satu pencemar udara yang berpotensi menimbulkan degradasi kualitas lingkungan kerja. Keberadaan debu tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga dapat menimbulkan efek merugikan bagi pekerja, khususnya gangguan pada sistem pernapasan.³

Penghirupan partikel-partikel debu yang tersebar di udara dapat menyebabkan berbagai penyakit pernapasan jangka panjang dan kematian dini.⁴ Oleh karena itu, kesadaran masyarakat terhadap masalah polusi udara semakin meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Industri konstruksi merupakan salah satu sumber utama polusi udara di banyak negara.⁵ Selain itu, industri konstruksi adalah sektor yang padat karya, di mana banyak pekerja harus bekerja sangat dekat dengan berbagai sumber debu. Dampak negatif debu konstruksi terhadap kesehatan pekerja telah menjadi perhatian serius baik di kalangan industri konstruksi maupun dunia akademis. Oleh sebab itu, diperlukan langkah-langkah perlindungan yang efektif untuk menjaga kesehatan para pekerja konstruksi.⁶

Sumber utama polusi debu di lokasi konstruksi meliputi kegiatan penggalian dan pengerjaan tanah; proses penggerindaan, pemotongan, dan pengeboran; lalu lintas di jalan yang belum diaspal; tumpukan tanah; penyapuan jalan; pembongkaran; kegiatan bongkar muat; stabilisasi dengan semen dan kapur; pengangkutan asbes; dan pengangkutan tanah. Polusi debu di lokasi tersebut semakin parah akibat pengaruh angin, cuaca kering, pelepasan partikel lumpur, dan gangguan mekanis.^{7,8,9}

Studi yang dilakukan di Amerika Serikat menunjukkan bahwa proses penuaan tenaga kerja di industri konstruksi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan sektor lainnya. Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan tren cedera, penyakit, dan angka fatalitas dalam industri ini.¹⁰ Penelitian yang dilakukan di Denmark juga menemukan bahwa pekerja semen, beton, dan pekerja pembongkaran bangunan memiliki risiko lebih tinggi untuk dirawat di rumah sakit akibat PPOK.^{11,12}

PT Wijaya Karya Beton Tbk Pasuruan merupakan perusahaan yang bergerak dalam produksi beton pracetak dengan penggunaan semen sebagai bahan baku utama. Berdasarkan hasil pengukuran lingkungan kerja perusahaan tahun 2025, ditemukan variasi konsentrasi TSP

pada beberapa jalur produksi, dengan nilai tertinggi mencapai 1 mg/m³ pada ruang produksi tertentu. Selain itu, observasi lapangan menunjukkan adanya aktivitas pengadukan, pengecoran, dan mobilisasi material yang berpotensi meningkatkan dispersi debu di area kerja tertutup (Farisi, 2025).¹³ Kondisi ini mengindikasikan adanya potensi paparan yang perlu dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui tingkat risiko kesehatannya. Dengan demikian, diperlukan kajian penelitian dengan judul “Penilaian Risiko *Total Suspended Particulate (TSP)* Pada Pekerja Produksi di PT Wijaya Karya Beton Tbk Pasuruan” untuk memperkirakan potensi dampak kesehatan yang dapat ditimbulkan akibat paparan debu berlebih, khususnya melalui pendekatan analisis risiko kesehatan pada pekerja.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif, di mana desain studi yang diterapkan mengacu pada metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2025 di PT Wijaya Karya Beton Tbk, Plant Pasuruan, yang berlokasi di Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Sampel penelitian tidak berupa individu pekerja, melainkan titik atau area pengukuran konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) yang tercantum dalam laporan hasil pengukuran lingkungan kerja perusahaan tahun 2025. Penelitian ini menggunakan pendekatan ARKL “di atas meja” karena seluruh data yang dianalisis merupakan data sekunder berupa hasil pengukuran konsentrasi TSP yang telah dilakukan sebelumnya oleh perusahaan. [Click or tap here to enter text.](#)¹⁴ Proses penelitian meliputi: (1) identifikasi bahaya berupa paparan TSP di area produksi; (2) analisis dosis-respon menggunakan nilai *Reference Concentration (RfC)*; (3) analisis pajanan dengan menghitung estimasi asupan (*intake*) melalui jalur inhalasi menggunakan parameter *default* (laju inhalasi 0,83 m³/jam; waktu pajanan 8 jam/hari; frekuensi 250 hari/tahun; durasi 30 tahun; berat badan 55 kg); dan (4) karakterisasi risiko dengan menghitung *Risk Quotient (RQ)* menggunakan perbandingan antara *intake* dan *RfC*. Perhitungan risiko dilakukan melalui estimasi asupan debu lewat jalur inhalasi (*intake*) dan penentuan *Risk Quotient (RQ)* sesuai rumus berikut:

$$I_{nk} = \frac{C \cdot R \cdot t_e \cdot f_e \cdot D_t}{W_b \cdot t_{avg}}$$

I_{nk} : Nilai *intake* asupan, jumlah *risk agent* yang diterima individu per berat badan per hari

	(mg/kg/hr)
C	: Konsentrasi risk agent (mg/m ³)
R	: Laju inhalasi udara dewasa (0.83 m ³ /jam)
t_e	: Waktu pajanan harian di tempat kerja (8 jam/hari untuk tempat kerja)
f_e	: Jumlah hari terjadinya pajanan (250 hari/tahun)
D_t	: Jumlah tahun terjadinya pajanan (30 tahun untuk dewasa)
W_b	: Berat badan (dewasa 55 kg untuk orang Asia)
t_{avg}	: Periode waktu rata-rata untuk efek non-karsinogenik (30 tahun x 365 hari/tahun)

Selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat risiko untuk efek non-karsinogenik yang dinyatakan dengan notasi *Risk Quotient* (RQ) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfC}$$

RQ : *Risk Quotien* atau tingkat risiko

I_{nk} : *Intake* yang telah dihitung

RfC : *Reference Consentration*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Risiko merupakan suatu nilai yang berada di antara kemungkinan tidak terjadinya dan pasti terjadinya suatu kejadian, dengan rentang nilai antara 0 dan 1 ($0 < \text{risiko} < 1$).¹⁸ Proses ARKL atau penilaian risiko terdiri dari empat tahapan utama (1) yaitu identifikasi bahaya (*hazard identification*), (2) penilaian hubungan dosis-respons (*dose-response assessment*), (3) penilaian tingkat pajanan (*exposure assessment*), dan (4) karakterisasi risiko (*risk characterization*).¹⁵

1. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Salah satu jenis debu yang sering dijumpai di industri debu adalah debu semen. Semen Portland merupakan bahan utama dalam pembuatan beton dan terdiri dari beberapa komponen utama seperti kalsium oksida, silikon oksida, dan aluminium trioksida. Walaupun debu semen tidak berbahaya jika terpapar dalam jumlah kecil, paparan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata, dan saluran pernapasan. Selain itu, debu semen dapat menumpuk di paru-paru dan menimbulkan masalah kesehatan jangka panjang, terutama gangguan fungsi paru-paru yang berpotensi berkembang menjadi penyakit serius seperti pneumokoniosis.¹³

Dalam penelitian ini, parameter debu yang

diukur adalah *Total Suspended Particulate* (*TSP*). Adapun standar Nilai Ambang Batas (*NAB*) yang tercantum dalam Permenaker No. 5 Tahun 2018 umumnya dinyatakan dalam bentuk partikel *inhalable* atau *respirable* karena kedua fraksi tersebut lebih relevan terhadap risiko kesehatan pekerja.¹⁶ Berdasarkan nilai acuan Permenaker No. 5 Tahun 2018, *NAB* sebesar 3 mg/m³ untuk debu respirabel dan 10 mg/m³ untuk debu inhalabel, hasil pengukuran *TSP* pada penelitian ini masih berada di bawah batas ambang tersebut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi Debu

Ruang Kerja	Konsentrasi Debu (mg/m ³)	NAB (mg/m ³)
Produksi Jalur 4	1	10
Wire Cagging Jalur 1-2	0.02	10
Jalur 6	0.02	10

Sumber: Data Sekunder

Berdasarkan Tabel 1. di atas, konsentrasi debu tertinggi terdapat di area Produksi Jalur 4 dengan nilai 1 mg/m³, sedangkan area *Wire Cagging* Jalur 1-2 dan Jalur 6 menunjukkan konsentrasi jauh lebih rendah yaitu 0,02 mg/m³. Perbedaan konsentrasi ini menunjukkan adanya variasi tingkat paparan antar-ruang kerja yang dipengaruhi oleh jenis aktivitas produksi yang berlangsung.

2. Analisis Dosis Respon (*Dose-Response Assessment*)

Dosis-respons untuk debu *Total Suspended Particulate* (*TSP*) sebagai *risk agent* dengan efek nonkarsinogenik melalui inhalasi dinyatakan dalam bentuk *Reference Concentration* (*RfC*). Apabila paparan yang diterima populasi manusia melebihi nilai *RfC*, maka potensi terjadinya gangguan kesehatan akan semakin besar. Nilai *RfC* debu (*TSP*) pada penelitian ini mengacu pada studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan yang dilakukan sebelumnya yaitu sebesar 0,020 mg/kg/hari.³ *Reference Concentration* (*RfC*) merupakan konsentrasi acuan yang ditetapkan berdasarkan hasil kajian toksikologi atau penelitian eksperimental. Nilai ini bersifat tetap dan tidak dapat diubah karena telah ditentukan oleh lembaga resmi. Namun, untuk *TSP*, nilai *RfC* yang bersumber dari basis data resmi, seperti EPA IRIS (*Environmental Protection Agency*

Integrated Risk Information System) atau ATSDR MRL (Agency for Toxic Substances and Disease Registry Minimal Risk Level), belum tersedia. Oleh karena itu, nilai RfC diperoleh dari studi atau literatur sebelumnya sebagai dasar perhitungan.¹⁷

3. Analisis Paparan (*Exposure Assessment*)

Exposure Assessment dalam hal ini Adalah menentukan *intake* atau asupan *TSP* masuk ke dalam tubuh setelah diketahui konsentrasi *TSP* di lingkungan kerja, laju asupan atau laju respirasi, masa kerja, berat badan pekerja dan waktu rata-rata paparan *TSP* sebagai toksin non karsinogen.¹⁸

I_{nk} Produksi Jalur 4

$$= \frac{1 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 0,83 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 8 \text{ jam} \cdot 250 \text{ hari} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \cdot 365 \text{ hari} \cdot 30 \text{ tahun}} \\ = \frac{49.800}{602.250} \approx 0,0826$$

I_{nk} Wire Cagging Jalur 1-2

$$= \frac{0,02 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 0,83 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 8 \text{ jam} \cdot 250 \text{ hr} \cdot 30 \text{ thn}}{55 \cdot 365 \text{ hari} \cdot 30 \text{ tahun}} \\ = \frac{996}{602.250} \approx 0,0016$$

I_{nk} Jalur 6

$$= \frac{0,02 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 0,83 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 8 \text{ jam} \cdot 250 \text{ hr} \cdot 30 \text{ thn}}{55 \cdot 365 \text{ hari} \cdot 30 \text{ tahun}} \\ = \frac{996}{602.250} \approx 0,0016$$

Dari hasil *intake TSP* di Ruang Produksi Jalur 4 di atas, untuk pekerja dengan berat badan 55 kg yang telah bekerja selama 30 tahun dengan konsentrasi *TSP* di lingkungan kerja sebesar 1 mg/m^3 , maka *intake* atau asupan *TSP* adalah 0,0826 mg/kg berat badan pekerja tersebut setiap hari. Sedangkan, hasil *intake TSP* di Ruang Wire Cagging Jalur 1-2 dan jalur 6, untuk pekerja dengan berat badan 55 kg yang telah bekerja selama 30 tahun dengan konsentrasi *TSP* di lingkungan kerja sebesar 0,02 mg/m^3 , maka *intake* atau asupan *TSP* adalah 0,0016 mg/kg berat badan pekerja tersebut setiap hari.

4. Karakteristik Risiko (Risk Characterization)

Risiko adalah probabilitas atau kemungkinan efek samping yang disebabkan oleh suatu agen. Karakteristik risiko dilambangkan dengan RQ . Apabila nilai *Risk Quotient* (RQ) ≤ 1 , maka *risk agent* tersebut dianggap masih berada dalam batas aman sehingga tidak menimbulkan efek kesehatan yang signifikan. Namun, apabila

nilai $RQ > 1$, hal tersebut menunjukkan adanya potensi risiko kesehatan akibat *risk agent*, di mana semakin besar nilai RQ yang diperoleh, semakin tinggi pula kemungkinan dampak kesehatan yang dapat terjadi.¹⁸

RQ Produksi Jalur 4

$$= \frac{0,0826 \text{ mg/kg/hari}}{0,020 \text{ mg/kg/hari}} \approx 4,13 (> 1)$$

RQ Wire Cagging Jalur 1-2

$$= \frac{0,0016 \text{ mg/kg/hari}}{0,020 \text{ mg/kg/hari}} \approx 0,08 (< 1)$$

RQ Jalur 6

$$= \frac{0,0016 \text{ mg/kg/hari}}{0,020 \text{ mg/kg/hari}} \approx 0,08 (< 1)$$

Pekerja di Ruang Produksi Jalur 4 dengan berat badan 55 kg yang bekerja 8 jam/hari, 250 hari selama 30 tahun tidak aman bekerja dengan konsentrasi lingkungan *TSP* 1 mg/m^3 . Sedangkan, pekerja di Ruang Wire Cagging Jalur 1-2 dan jalur 6 dengan berat badan 55 kg yang bekerja 8 jam/hari, 250 hari selama 30 tahun masih aman untuk bekerja dengan konsentrasi lingkungan *TSP* 1 mg/m^3 . Hal ini menunjukkan bahwa Ruang Produksi Jalur 4 merupakan area yang paling berisiko dibandingkan jalur lainnya.

Karena nilai RQ yang aman adalah ≤ 1 , maka melalui perhitungan ini dapat ditentukan konsentrasi *risk agent* yang masih dapat ditoleransi di lingkungan kerja (C_{aman}).¹⁸ Dalam hal ini, Ruang Produksi Jalur 4 memiliki tingkat risiko paling tinggi karena nilai RQ yang melebihi batas aman. Kondisi ini menandakan bahwa konsentrasi *TSP* di jalur tersebut perlu dianalisis lebih lanjut untuk menentukan batas paparan yang tidak menimbulkan dampak kesehatan pada pekerja.

C_{aman} Produksi Jalur 4

$$= \frac{RfC \cdot W_b \cdot t_{avg}}{R \cdot t_e \cdot f_e \cdot D_t} \\ = \frac{0,020 \text{ mg/kg/hr} \cdot 55 \text{ kg} \cdot 365 \text{ hr} \cdot 30 \text{ thn}}{0,83 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 8 \text{ jam} \cdot 250 \text{ hari} \cdot 30 \text{ tahun}} \\ = \frac{12.045}{49.800} \approx 0,242 \text{ mg}/\text{m}^3$$

Konsentrasi aman (C_{aman}) merupakan kadar maksimum zat pencemar di udara yang masih dapat ditoleransi tubuh tanpa menimbulkan efek kesehatan. Konsentrasi aman *TSP* Adalah 0,242 mg/m^3 yang artinya paparan *TSP* lebih tinggi dari nilai ini berpotensi menimbulkan gangguan

kesehatan. Angka ini mirip dengan standar baku mutu *TSP* menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 yakni $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau $0,230 \text{ mg}/\text{m}^3$.¹⁹ Dengan demikian, paparan *TSP* di jalur produksi 4 memang perlu diwaspadai, karena batas aman pekerja ternyata tidak jauh berbeda dengan baku mutu udara ambien.

t_e aman Produksi Jalur 4

$$\begin{aligned} &= \frac{RfC \cdot W_b \cdot t_{avg}}{C \cdot R \cdot f_e \cdot D_t} \\ &= \frac{0,020 \text{ mg/kg/hr} \cdot 55 \text{ kg} \cdot 365 \text{ hr} \cdot 30 \text{ thn}}{1 \frac{\text{m}}{\text{m}^3} \cdot 0,83 \frac{\text{m}}{\text{m}^3} \cdot 250 \text{ hari} \cdot 30 \text{ tahun}} \\ &= \frac{12.045}{6.225} \approx 1,934 \text{ jam/hari} \end{aligned}$$

Dengan konsentrasi toksin $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ selama 250 hari/tahun selama 30 tahun, maka bagi pekerja dengan berat badan 55 kg agar sehat dan aman, dibutuhkan waktu bekerja 1.934 jam/hari atau ± 2 jam/hari. Jika bekerja penuh 8 jam/hari, maka dosis paparan yang diterima pekerja akan melampaui ambang batas aman, sehingga meningkatkan risiko gangguan kesehatan jangka panjang.

D_t aman Produksi Jalur 4

$$\begin{aligned} &= \frac{RfC \cdot W_b \cdot t_{avg}}{C \cdot R \cdot t_e \cdot f_e} \\ &= \frac{0,020 \text{ mg/kg/hr} \cdot 55 \text{ kg} \cdot 365 \text{ hr} \cdot 30 \text{ thn}}{1 \frac{\text{m}}{\text{m}^3} \cdot 0,83 \frac{\text{m}}{\text{m}^3} \cdot 8 \text{ jam} \cdot 250 \text{ hari}} \\ &= \frac{12.045}{1.660} \approx 7,256 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Apabila seorang pekerja dengan berat badan 55 kg terpapar *TSP* pada konsentrasi $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ selama 8 jam/hari dan 250 hari/tahun, maka waktu kerja yang masih tergolong aman (tidak menimbulkan efek kesehatan signifikan) hanya sekitar 7,3 tahun. Dengan kata lain, bila paparan terus berlanjut melewati durasi tersebut, maka akumulasi dosis yang diterima pekerja akan melebihi nilai referensi (R/C) sehingga meningkatkan risiko gangguan kesehatan. Oleh karena itu, pekerja yang berada di lingkungan dengan konsentrasi *TSP* $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ sebaiknya tidak bekerja lebih dari 7 tahun dalam kondisi eksposur tersebut tanpa adanya pengendalian risiko tambahan.

f_e aman Produksi Jalur 4

$$\begin{aligned} &= \frac{RfC \cdot W_b \cdot t_{avg}}{C \cdot R \cdot t_e \cdot f_e} \\ &= \frac{0,020 \text{ mg/kg/hr} \cdot 55 \text{ kg} \cdot 365 \text{ hr} \cdot 30 \text{ thn}}{1 \frac{\text{m}}{\text{m}^3} \cdot 0,83 \frac{\text{m}}{\text{m}^3} \cdot 8 \text{ jam} \cdot 30 \text{ tahun}} \\ &= \frac{12.045}{199,2} \approx 60,46 \text{ hari/tahun} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa f_e aman 60,466 hari/tahun. Artinya, pada konsentrasi $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ dan durasi kerja 8 jam/hari selama 30 tahun, maka jumlah hari aman pekerja untuk terpapar hanya sekitar 60 hari dalam satu tahun. Jika pekerja tetap bekerja 250 hari/tahun (seperti kondisi standar), maka jumlah paparan jauh melebihi batas aman, sehingga risiko kesehatan meningkat secara signifikan. Maka, diperlukan pembatasan hari kerja atau penerapan rotasi kerja agar total paparan per tahun tidak melampaui 60 hari.

Jika ditinjau dari aspek kepraktisan, penerapan f_e aman yang hanya membolehkan pekerja terpapar selama 60 hari dalam satu tahun dinilai tidak realistis, karena jadwal kerja standar industri umumnya mencapai 250 hari per tahun. Begitu pula dengan D_t aman yang membatasi paparan maksimal selama 7,3 tahun, sulit diterapkan karena akan membatasi masa kerja pekerja dalam jangka menengah. Sementara itu, menurunkan konsentrasi lingkungan hingga mencapai $C_{\text{aman}} 0,242 \text{ mg}/\text{m}^3$ merupakan solusi paling ideal, meskipun membutuhkan intervensi teknis dan investasi biaya, langkah ini justru penting untuk diarahkan sebagai solusi jangka panjang karena mampu memberikan perlindungan menyeluruh bagi seluruh pekerja.

Oleh karena itu, opsi yang paling memungkinkan untuk segera dilakukan adalah penerapan t_e aman yaitu membatasi paparan pekerja hanya sekitar 2 jam per hari. Pendekatan ini dapat diwujudkan melalui sistem rotasi kerja, pengaturan *shift*, atau redistribusi beban kerja agar paparan setiap individu tidak melebihi ambang batas yang ditetapkan. Angka 2 jam/hari ini tidak berarti pekerja hanya boleh bekerja selama 2 jam total dalam sehari, melainkan pekerja tidak boleh terpapar lebih dari 2 jam pada area dengan konsentrasi *TSP* sebesar $1 \text{ mg}/\text{m}^3$. Dengan demikian, pekerja tetap dapat menjalankan waktu kerja penuh selama 8 jam, tetapi alokasi kerjanya perlu diatur sedemikian rupa. Misalnya, pekerja hanya ditempatkan maksimal 2 jam di area Produksi Jalur 4 yang memiliki konsentrasi tinggi,

sementara sisa waktu kerja (6 jam) dapat dialihkan pada area lain dengan paparan lebih rendah atau pada tugas berbeda yang tidak menimbulkan risiko serupa. Pembatasan waktu kerja per hari secara langsung menurunkan *intake* (I_{nk}) yang menjadi faktor utama dalam perhitungan risiko sehingga nilai *Risk Quotient* (RQ) dapat ditekan mendekati ≤ 1 . Strategi ini dinilai paling *feasible* sekaligus efektif dalam mengurangi risiko kesehatan pada pekerja di jalur produksi 4, setidaknya hingga intervensi teknis permanen untuk menurunkan konsentrasi *TSP* dapat direalisasikan.

Untuk menurunkan konsentrasi debu, rekayasa teknis perlu dilakukan. Berdasarkan SNI 03-6572-2001, apabila ventilasi alami tidak memadai, maka ruangan wajib dilengkapi dengan sistem ventilasi mekanis. Sistem ventilasi mekanis yang dipasang harus memenuhi persyaratan teknis, di antaranya mampu bekerja terus menerus selama ruang dihuni dan ditempatkan sedemikian rupa sehingga dapat melepaskan udara tercemar secara maksimal dan memungkinkan masuknya udara segar.²⁰

Selain itu, elemen-elemen dalam pengelolaan debu perlu dilakukan secara keseluruhan yang mencakup pengendalian sumber debu, pengukuran dan pemantauan tingkat debu, pemeriksaan kesehatan secara berkala, perawatan alat pengumpul debu dan peralatan pendukung lainnya, kegiatan kebersihan lingkungan kerja (*housekeeping*), pelatihan bagi pekerja, penerapan prosedur kerja yang tepat, dan penyediaan alat pelindung diri.²¹ Sebagai pengendalian terakhir, pekerja harus menggunakan alat pelindung pernapasan yang sesuai standar, sambil menunggu perbaikan sistem ventilasi mencapai hasil optimal.

KESIMPULAN

Paparan *Total Suspended Particulate (TSP)* pada pekerja produksi di PT Wijaya Karya Beton Tbk Pasuruan, khususnya di area Produksi Jalur 4, menunjukkan adanya potensi risiko kesehatan yang signifikan karena nilai *Risk Quotient* (RQ) > 1 . Temuan ini memperlihatkan bahwa meskipun konsentrasi debu terlihat relatif rendah, akumulasi paparan jangka panjang dengan pola kerja yang berkesinambungan dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius pada sistem pernapasan pekerja. Hal ini memperkuat hipotesis bahwa faktor paparan debu di lingkungan kerja berkontribusi langsung terhadap peningkatan risiko penyakit akibat kerja.

Strategi pengendalian harus diarahkan pada upaya menurunkan konsentrasi debu di udara melalui intervensi teknis seperti penerapan

ventilasi mekanis. Selain itu, pengendalian administratif berupa pembatasan waktu paparan pekerja melalui rotasi kerja, pengaturan *shift*, dan redistribusi beban kerja juga penting untuk diterapkan guna menekan akumulasi dosis paparan. Upaya tersebut perlu dilengkapi dengan penerapan prosedur kerja yang aman, peningkatan kesadaran pekerja melalui pelatihan, dan penggunaan alat pelindung diri sebagai lapisan perlindungan terakhir sehingga kesehatan pekerja terjaga dan keberlanjutan produktivitas perusahaan terjamin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Wijaya Karya Beton Tbk Pasuruan yang telah memberikan akses data hasil pengukuran debu sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Apresiasi juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung terlaksananya penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arbi Y, Nofriya N, Fitrianti R, Putri W. Total suspended particulate TSP simulation using the Gaussian dispersion model. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*. 2023;6(2):163 to 169. doi:10.24036/jptk.v6i2.33823.
2. Wijaya DS, Sunarto S, Rachmawati S. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan dengan Total Suspended Particulate Sebagai Risk Agent di Area Produksi Industri Manufaktur (Studi Kasus PT X Sukoharjo Jawa Tengah). *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 28 Maret 2024;22(3):678–86. doi.org/10.14710/jil.22.3.678-686
3. Abidin EA, Mallongi A, Amqam H, Birawida AB, Moedjiono AI, Kasim S. Risk analysis to street vendors due to exposure of nitrogen dioxide NO₂, carbon monoxide CO, and total suspended particles TSP. *Universal Journal of Public Health*. 2024;12(3):460 to 470. doi:10.13189/ujph.2024.120304.
4. Hamanaka RB, Mutlu GM. Particulate matter air pollution effects on the respiratory system. *The Journal of Clinical Investigation*. 2025;135(17):e194312. doi:10.1172/JCI194312.
5. Reynaldy AZK, Anggriyani FCW. Persepsi masyarakat tentang strategi lokal pada polusi udara di Indonesia. *Scientica Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*. 2024;2(8):318 to 323.
6. Tao G, Feng J, Feng H, Feng H, Zhang K. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout. *Buildings*.

- 1 Mei 2022;12(5).
basdoi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.027
7. Yang X, Yu Q, Zhang Y, Ma W. Occupational health risk assessment of construction workers caused by particulate matter exposure on construction sites. *Heliyon*. 2023 Oct;9(10):e20433.
doi:10.1016/j.heliyon.2023.e20433.
PMID:37822615; PMCID:PMC10562764.
8. M, Yao G, Sun Y, Yang Y, Deng R. Exposure to construction dust and health impacts A review. *Chemosphere*. 2023 Jan;311(Pt 1):136990.
doi:10.1016/j.chemosphere.2022.136990.
PMID:36309055.
9. Kaluarachchi M, Waidyasekara A, Rameezdeen R, Chileshe N. Mitigating dust pollution from construction activities: A behavioural control perspective. *Sustainability (Switzerland)*. 2 Agustus 2021;13(16).
doi.org/10.3390/su13169005
10. Kaur H, Wurzelbacher SJ, Bushnell PT, Bertke S, Meyers AR, Grosch JW, Naber SJ, Lampl M. Occupational injuries among construction workers by age and related economic loss findings from Ohio workers' compensation, USA 2007 to 2017. *Safety and Health at Work*. 2023 Dec;14(4):406 to 414.
doi:10.1016/j.shaw.2023.10.003.
PMID:38187211; PMCID: PMC10770107.
11. Syamlal G, Clark KA, Kurth L, Mazurek JM. COPD mortality among workers in the construction industry by occupation, USA 2021 to 2022. *Occupational and Environmental Medicine*. 2025;82(6):301 to 304.
doi:10.1136/oemed-2024-110010.
PMID:40803827.
12. Kumi L, Jeong J, Jeong J, Lee J. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types. *Buildings*. 1 August 2022;12(8).
doi:10.3390/buildings12081137
13. Faisal Al Farisi. Paparan Debu Total Pada Pekerja Produksi Terhadap Penyakit Akibat Kerja di PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pasuruan. *Jurnal Ilmiah Kedokteran dan Kesehatan*. 30 April 2025;4(2):83–7.
doi.org/10.55606/klinik.v4i2.3894
14. Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Pedoman analisis risiko kesehatan lingkungan. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI; 2012.
15. U.S. Environmental Protection Agency. Guidelines for exposure assessment. *Fed Regist*. 1992;57(104):22888-938.
16. Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 tentang K3 lingkungan kerja. Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan RI; 2018.
17. Broomandi P, Rodríguez-Seijo A, Janatian N, Fathian A, Tleuken A, Mohammadpour K, Morawska L. Health risk assessment of the European inhabitants exposed to contaminated ambient particulate matter by potentially toxic elements. *Environmental Pollution*. 2023;323:121232.
18. Tualeka AR. Toksikologi dan Risk Assessment Logam Berat. Surabaya: CV Bumi Lestari; 2015. ISBN: 978-602-73526-1-2.
19. Pemerintah Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Pemerintah RI; 2021.
20. Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-6572-2001: Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung. Jakarta: BSN; 2001.
21. Thai T, Bernatik A, Kučera P. Air pollution associated with total suspended particulate and particulate matter in a cement grinding plant in Vietnam. *Atmosphere (Basel)*. 1 Desember 2021;12(12). doi.org/10.3390/atmos12121707