Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia
24 (1), 2025, 115 – 122
DOI : 10.14710/jkli.67628
Available at https://ejournal.undip.ac.id/index.php/jkli



Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Pajanan PM2.5 dan PM10 Pada Pekerja PT. Beton Elemenindo Perkasa Tahun 2024

Elanda Fikri[1*], Davina Rheina Dewi[2], Lela Juariah[2]

[1] Program Studi Sanitasi Lingkungan, Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Bandung. Jalan Babakan Loa 10A, Cimahi Utara, Kota Cimahi, Indonesia
[2] Fakultas Ilmu dan Teknologi Kesehatan, Universitas Jenderal Achmad Yani, Jln Terusan Jenderal Sudirman Cimahi, Indonesia
*Corresponding author: elandafikri@staff.poltekkesbandung.ac.id

Info Artikel: Diterima 22 Oktober 2024; Direvisi 14 Januari 2025; Disetujui 14 Januari 2025
Tersedia online: 24 Januari 2025; Diterbitkan secara teratur: Februari 2025

Cara sitasi: Fikri E, Dewi DR, Juariah L. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Pajanan PM2.5 dan PM10 Pada Pekerja PT. Beton Elemenindo Perkasa Tahun 2024. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2025 Feb;24(1):115-122. https://doi.org/10.14710/jkli.67628.

ABSTRAK

Latar Belakang: *Particulate matter* memiliki sifat yang berbahaya karena dapat menembus hingga bagian paru paling dalam dan mengalir di dalam darah. Kematian akibat pekerjaan disebabkan 24% oleh penyakit paru obstruktif. PT. Beton Elemenindo Perkasa pada tahun 2024 melakukan pemeriksaan kepada 175 orang pekerja, didapatkan hasil bahwa terdapat 3 (1,7%) pekerja dengan kapasitas vital paru normal, 164 (93,7%) pekerja dengan kapasitas vital paru restriksi, dan 8 (4,6%) pekerja dengan kapasitas vital paru kombinasi. Tujuan penelitian ini menghitung atau memprediksi risiko kesehatan yang ditimbulkan dari pencemar.

Metode: Penelitian ini merupakan studi cross-sectional yang bersifat deskriptif, menggunakan pendekatan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), yang dilaksanakan pada bulan Juni hingga Juli 2024 dengan melibatkan 89 responden yang tersebar di 4 lokasi berbeda. Estimasi risiko kesehatan lingkungan dihitung menggunakan nilai Risk Quotient (RQ).

Hasil: Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata PM 2.5 sebesar 71,25 µg/m^3 dan rata-rata konsentrasi PM 10 sebesar 217,25 µg/m^3. Nilai intake dan RQ tertinggi terdapat pada pekerja Hall B dengan nilai 0,01870 mg/kg/hari dan 2,07779.

Simpulan: Pajanan PM 2.5 konsentrasi maksimal dinilai berisiko terhadap 39 (43,3%) pekerja, meliputi 14 (46,7%) pekerja Hall A dan 25 (69,4%) pekerja Hall B. Dibutuhkan manajemen risiko untuk mengendalikan konsentrasi pajanan PM 2.5 hingga batas konsentrasi aman dengan menggunakan *dust net* dan *dust suspression system*.

Kata kunci: ARKL; PM2.5; PM10

ABSTRACT

Title: Environmental Health Risk Analysis (EHRA)) of PM2.5 and PM10 Exposure to Workers of PT. Concrete Element Perkasa in 2024

Background: *Particulate matter has dangerous properties because it can penetrate to the deepest part of the lungs and flow in the blood. Occupational deaths are caused by 24% of obstructive pulmonary disease. PT. Beton Elemenindo Perkasa in 2024 conducted an examination of 175 workers, the results showed that there were 3 (1.7%) workers with normal lung vital capacity, 164 (93.7%) workers with restricted lung vital capacity, and 8*

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

(4.6%) workers with combined lung vital capacity. The purpose of this study is to calculate or predict the health risks caused by pollutants.
Method: *This research is a cross-sectional study with a descriptive design, employing the Environmental Health Risk Analysis (ARKL) approach. It was conducted between June and July 2024, involving 89 respondents across 4 different locations. The estimated environmental health risk is represented by the Risk Quotient (RQ) value.*
Result: *The results showed that the average concentration of PM 2.5 was 71.25 µg/m3 and the average concentration of PM 10 was 217.25 µg/m^3. The highest intake and RQ values were found in Hall B workers with values of 0.01870 mg/kg/day and 2.07779.*
Conclusion: *Exposure to maximum concentrations of PM 2.5 was considered risky for 39 (43.3%) workers, including 14 (46.7%) Hall A workers and 25 (69.4%) Hall B workers. Risk management is needed to control the concentration of PM 2.5 exposure to safe concentration limits using dust nets and dust suspension systems.*

Keywords: Environmental Risk; PM2.5; PM10

PENDAHULUAN

Kegiatan produksi beton seperti pencampuran agrerat kasar dan halus dengan semen, air dan bahan tambahan lainnya, pengeboran, pemotongan beton berpotensi menghasilkan partikel debu yang terbawa di udara.(1)(2) Produksi beton secara global menghasilkan sekitar 7,8 % emisi nitrogen oksida, 4,8% emisi sulfur oksida, 5,2% emisi *particulate matter* berukuran kurang dari 10 µm dan 6,4% emisi *particulate matter* yang berukuran kurang dari 2.5 µm.(3)

PT. Beton Elemenindo Perkasa merupakan salah satu industri beton yang dalam proses produksinya menggunakan bahan baku seperti semen, pasir beton, *splite, pc wire*, dan *fly ash* yang mana akan menimbulkan limbah salah satunya adalah debu. Lingkungan kerja yang kurang baik dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi pekerjanya yang diakibatkan karena adanya suatu proses kerja.(4)(5) Berdasarkan hasil pemeriksaan kapasitas vital paru yang dilakukan oleh PT. Beton Elemenindo Perkasa pada tahun 2024 kepada 175 orang pekerja didapatkan hasil bahwa terdapat 3 (1,7%) pekerja dengan kapasitas vital parunormal, 164 (93,7%) pekerja dengan kapasitas vital paru restriksi, dan 8 (4,6%) pekerja dengan kapasitas vital paru kombinasi.

Pertumbuhan industri dan peningkatan pemanfaatan teknologi memberikan dampak besar terhadap penurunan kualitas lingkungan, yang ditandai dengan terjadinya pencemaran udara, baik di dalam ruangan (indoor) maupun di luar ruangan (outdoor).(6) *Particulate matter* merujuk pada campuran partikel padat dan tetesan cairan yang terdapat di udara, seperti debu, kotoran, jelaga, atau asap. *Particulate matter* terbagi dalam dua ukuran, yaitu PM 10 dan PM 2.5. PM 10 adalah partikel dengan diameter 10 µm atau lebih kecil yang dapat terhirup, sedangkan PM 2.5 terdiri dari partikel dengan ukuran lebih kecil atau sama dengan 2.5 µm. *Particulate matter* berbahaya karena dapat menembus bagian terdalam paru-paru dan masuk ke dalam aliran darah..(7)

Hasil analisis risiko kesehatan lingkungan yang dilakukan Pitaloka pada tahun 2016 menunjukkan bahwa terdapat 7 pegawai (43,75%) pekerja di bagian operator produksi dan 8 pegawai (50%) di bagian *plant* menunjukkan nilai RQ>1. Hal ini disertai dengan keluhan kesehatan seperti batuk, sesak napas, mengi, dan iritasi mata.(8) Diperkirakan bahwa terdapat sebanyak 12.000 kematian pekerja di Inggris akibat penyakit paru-paru. 34% kematian disebabkan oleh penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), 24% akibat kanker paru non-asbestos, 20% akibat kanker paru akibat *abestos*, 20% *mesothelioma*, dan 3% lainnya akibat penyakit lain.(9) Internasional Labour Organisation menyatakan bahwa kematian akibat pekerjaan disebabkan 24% oleh penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), 21,2% oleh stroke, 18,4% oleh penyakit jantung iskemik.(10)

Analisis risiko kesehatan lingkungan merupakan sebuah metode untuk mengidentifikasi bahaya dengan mengidentifikasi hubungan dosis pajanan dengan agen risiko dan respon tubuh, sehingga dapat dilakukannya manajemen risiko dan komunikasi risiko.(11) Mengingat keberadaan *particulate matter* di PT. Beton Elemenindo Perkasa tidak bisa dihilangkan dan belum diketahui potensi risiko akibat pajanan polutan tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Pajanan PM 2.5 dan PM 10 pada Pekerja PT. Beton Elemenindo Perkasa Tahun 2024.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Beton Elemenindo Perkasa pada unit Hall A-D, dengan total sampel sebanyak 89 pekerja dan empat titik pengambilan sampel. Jenis penelitian ini adalah studi cross-sectional yang menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Metode ARKL diterapkan untuk mengestimasi besarnya risiko baik pada kondisi saat ini maupun di masa yang akan datang. Penelitian ini mencakup dua populasi, yaitu sampel manusia dan sampel pajanan. Sampel pajanan mencakup konsentrasi PM 2.5 dan PM 10 yang ada di lingkungan PT. Beton Elemenindo Perkasa, meliputi Hall A, Hall B, Hall C, dan Hall D.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kuisioner, timbangan, dan *microtoise* untuk mengumpulkan data tentang karakteristik responden (seperti berat badan, tinggi badan, masa kerja, usia, IMT, dan kebiasaan merokok), serta pola aktivitas (termasuk frekuensi, durasi, dan lama pajanan). Selain

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

itu, digunakan juga *particulate counter* merek HTI HT-9600 yang telah dikalibrasi, yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi PM 2.5, PM 10, menghitung partikel debu, serta mengukur suhu dan kelembaban. Penelitian ini dilakukan dengan mendapatkan izin etik No. 108/KEPK/FITKes-Unjani/VI/2024 dari Komisi Etik Penelitian Fakultas Ilmu dan Teknologi Kesehatan (FITKes) Universitas Jenderal Achmad Yani Cimahi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), yang bertujuan untuk mengenali potensi bahaya yang dapat terjadi pada individu atau masyarakat di suatu lingkungan, yang dapat menjadi penyebab kerusakan lingkungan, cedera, atau penyakit.[11] Paparan PM 2.5 dan PM 10 dapat berpotensi membahayakan kesehatan pekerja. Partikel PM 2.5 dan PM 10 yang terpapar dihasilkan dari aktivitas produksi serta mobilisasi produk dan bahan baku di PT. Beton Elemenindo Perkasa.

Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi pajanan PM 2.5 tertinggi tercatat sebesar 1604 µg/m^3 yang ditemukan di Hall B, sementara konsentrasi PM 10 tertinggi mencapai 8972 µg/m^3 di Hall A. Kedua nilai konsentrasi tersebut telah melebihi nilai baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021, yaitu 55 µg/m^3 untuk PM 2.5 dan 40 µg/m^3 untuk PM 10.[12] Pengukuran konsentarsi pajanan PM 2.5 dan PM 10 dilakukan sebanyak tiga sesi yang dilakukan dari pukul 08.00 – 16.42 WIB.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi PM 2.5 dan PM 10 di PT. Beton Elemenindo Perkasa

Lokasi	Konsentrasi Pajanan (µg/m^3)					
	Konsentrasi	N	Min	Max	Mean	Std. Deviasi
Hall A-D	PM 2.5	640	10	1604	71,25	161,60941
	PM 10	640	14	8972	217,47	797,98299
Hall A	PM 2.5	261	10	1531	68,99	147,430
	PM 10	261	15	8972	227,88	874,856
Hall B	PM 2.5	166	12	1604	114,51	251,202
	PM 10	166	16	8823	370,61	1099,210
Hall C	PM 2.5	94	11	110	43,88	29,069
	PM 10	94	15	310	92,37	81,260
Hall D	PM 2.5	119	11	80	37,48	15,748
	PM 10	119	14	301	79,89	48,846

Berdasarkan hasil pengukuran dalam penelitian ini, diperoleh nilai rata-rata konsentrasi PM 2.5 dan PM 10, dengan konsentrasi pajanan PM 2.5 tertinggi sebesar 1604 µg/m^3 yang ditemukan di Hall B, serta konsentrasi PM 10 tertinggi mencapai 8972 µg/m^3 yang terdeteksi di Hall A. Mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021, kedua nilai tersebut telah melebihi batas baku mutu yang ditetapkan. Sesuai dengan peraturan tersebut, nilai baku mutu yang berlaku untuk PM 2.5 adalah 55 µg/m^3 dan untuk PM 10 adalah 75 µg/m^3.[12]

Konsentrasi PM 2.5 yang tinggi di Hall B diakibatkan terdapat perbedaan proses produksi dibandingkan dengan hall lainnya, pada proses produksinya produk di Hall B memerlukan proses pemotongan besi, proses pemotongan *styrofoam*, dan proses penghalusan kayu. Proses pemotongan besi menghasilkan partikulat yang dapat mempengaruhi nilai konsentrasi PM 2.5. Secara umum, partikulat tersebut memiliki diameter kurang dari 1 µm.[13] Proses pemotongan *styrofoam* yang menggunakan *hot wire* sehingga proses tersebut bisa meningkatkan produksi PM 2.5. Proses pemotongan *styrofoam* dapat mencapai suhu 400°C. Suhu tinggi dapat melepaskan produk dekomposisi berbahaya ke udara yang dapat menimbulkan risiko kesehatan saat busa dipotong.[14] Memotong polistirena dengan kawat panas menghasilkan asap styrene yang berukuran 40 µm hingga 175 µm.[15] Paparan akut melalui inhalasi dapat menyebabkan iritasi pada selaput lendir hidung dan tenggorokan, meningkatkan sekresi hidung, serta memicu mengi dan batuk. Proses penghalusan kayu dengan ketam menghasilkan limbah berupa serpihan, serbuk, dan debu kayu. Ukuran debu yang dihasilkan dari proses tersebut berkisar antara 10-30 µm.[16]

Selain itu dalam proses produksi, ukuran alat dan bahan baku, posisi penempatan bahan baku, cetakkan, dan produk di Hall B berbeda dengan hall lainnya. Posisi penempatan bahan baku, cetakkan, dan produk sedikit menghalangi laju angin sehingga mengakibatkan sirkulasi udara berkurang. Kecepatan angin di Hall B juga memiliki nilai terendah dibandingkan dengan hall lainnya. Kecepatan angin di Hall B berkisar 0,6 – 0,8 m/s. Sirkulasi udara yang tidak maksimal dapat mengakibatkan terjadinya akumulasi debu lebih tinggi.[17]

Konsentrasi PM 10 yang tinggi di Hall A dikarenakan pada proses loading semen ke dalam silo yang berada di samping Hall A menyebabkan konsentrasi PM 10 cukup tinggi di Hall . Hal ini dikarenakan proses loading semen yang dimasukkan ke dalam silo menggunakan tekanan angin sehingga bahan baku tersebut bisa berhamburan ke udara. Hal ini ditambah arah angin yang berhembus mengarah ke arah utara yang mengakibatkan debu tersebut terbawa

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

dari Hall A sampai dengan Hall B. Ukuran debu yang dihasilkan oleh semen tersebut berukuran sekitar 3 µm hingga 100 µm.[18] Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi PM 10 lebih besar di Hall A dibandingkan dengan Hall lainnya.

Penelitian ini dilakukan selama musim kemarau, dengan kondisi lingkungan kerja yang tergolong panas. Suhu saat penelitian berlangsung tercatat cukup tinggi, berkisar antara 25,49 °C hingga 31,14 °C. Suhu yang tinggi dapat mempercepat penyebaran debu di area kerja.[16] Suhu ideal di tempat kerja berkisar antara 23°C - 26°C dan kelembaban berkisar antara 40%- 6-%.[19] Kelembaban pada penelitian ini berkisar antara 65% - 82,4%. Kelembaban yang tinggi dapat mengurangi jumlah debu di udara, hal ini disebabkan partikel debu akan terikat dan menjadi berat sehingga akan sulit untuk bergerak di udara.[20] Meskipun kelembaban di lokasi penelitian ini tergolong cukup tinggi, konsentrasi debu yang juga tinggi menyebabkan kadar PM 2.5 dan PM 10 tidak mengalami penurunan yang signifikan.

Analisis Pajanan

Analisis konsentrasi RfC dilakukan dengan mengacu pada baku mutu NAAQS, yang menetapkan nilai baku mutu untuk PM 2.5 sebesar 9,0 µg/m^3 dan untuk PM 10 sebesar 150 µg/m^3.[21] Konsentrasi pajanan personal (*intake*) merupakan jumlah konsentrasi pajanan yang masuk ke dalam tubuh.[11] Perhitungan *intake* dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu intake minimum, maksimum, dan rata-rata, yang dihitung berdasarkan konsentrasi PM 2.5 dan PM 10.

Tabel 2. Analisis Pajanan

Lokasi	Asupan/ Intake (mg/kg/hari)					
	Konsentrasi	**N**	**Min**	**Max**	**Mean**	**Std. Deviasi**
Hall A-D	**PM 2.5**					
	Minimum	89	0,00005	0,00014	0,0000706	0,0000172
	Maksimum	89	0,00044	0,0187	0,00752	0,00448
	Rata-Rata	89	0,0002	0,00258	0,000539	0,000322
	PM 10					
	Minimum	89	0,00007	0,00096	0,000107	0,0000941
	Maksimum	89	0,00145	0,10286	0,0421	0,0258
	Rata-Rata	89	0,00044	0,00768	0,00243	0,00162

Tabel 2 menunjukkan, asupan PM 2.5 memiliki nilai tertinggi sebesar 0,0187 mg/kg/hari dimana nilai tersebut merupakan nilai asupan konsentrasi maksimum PM 2.5. Nilai asupan PM 10 memiliki nilai tertinggi sebesar 0,10286 mg/kg/hari yang merupakan nilai asupan konsentrasi maksimum PM 10.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan rata-rata berat badan pekerja Hall A-D PT. Beton Elemenindo Perkasa tahun 2024 adalah 58 kg. Nilai rata-rata berat badan ini melebihi nilai *deafult* yang telah ditetapkan oleh (11), dimana nilai *deafult* untuk berat badan dewasa di Indonesia adalah 55 kg.[11] Karena perbedaan demografi, berbagai otoritas di seluruh dunia telah menggunakan nilai *default* yang berbeda untuk berat badan terkait usia dalam persamaan penilaian risiko. Pekerja yang memiliki nilai RQ PM 2.5 konsentrasi maksimum tertinggi (RQ 2,07) memiliki berat badan sebesar 42,30 kg. Terdapat 25 (64,1%) pekerja yang berisiko dengan berat badan lebih dari 55 kg. Grafik hubungan antara intake pekerja dan berat badan pekerja menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik, di mana semakin besar berat badan pekerja, semakin kecil intake yang diterima. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa asupan (intake) memiliki hubungan terbalik dengan berat badan seseorang, sehingga semakin besar berat badan, semakin kecil risiko yang diterima.[22]

Pada hasil penelitian ini, didapatkan rata-rata tinggi badan pekerja Hall A-D PT. Beton Elemenindo perkasa tahun 2024 dengan nilai 162,41 cm. Tinggi badan bukan merupakan faktor yang mempengaruhi secara langsung perhitungan analisis risiko kesehatan lingkungan, walaupun demikian, perbedaan komposisi tubuh seperti kandungan lemak, massa otot dan antropometri seperti berat badan, luas permukaan tubuh, dan termasuk tinggi badan dapat memengaruhi konsentrasi paparan agen dari berbagai jalur pajanan. Perbedaan ini juga dapat memengaruhi penyerapan, distribusi, metabolisme, dan eliminasi xenobiotik dan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap toksisitas. Proporsi bagian tubuh secara keseluruhan dapat berkontribusi terhadap tinggi badan seseorang. Penyerapan pajanan akan meningkat seiring dengan meningkatnya luas permukaan tubuh.[23]

Rata-rata masa kerja pekerja di PT. Beton Elemenindo Perkasa adalah 13 tahun. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa 4 pekerja (33,3%) dengan masa kerja pendek berisiko, sementara 35 pekerja (45,5%) dengan masa kerja panjang berisiko terhadap pajanan PM 2.5 pada konsentrasi maksimum. Uji chi-square menghasilkan p value 0,635, yang lebih besar dari alpha (0,05), dengan *Prevalence Ratio* (PR) sebesar 1,222, yang menunjukkan bahwa tidak ada hubungan signifikan antara masa kerja dan nilai RQ PM 2.5 pada konsentrasi maksimum. Semakin lama seseorang bekerja di lingkungan yang buruk, semakin besar dampak negatifnya terhadap kesehatan tubuh.[24] Pekerja dengan nilai intake tertinggi diketahui telah bekerja selama 20 tahun. Meskipun ada pekerja lain

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

yang memiliki masa kerja lebih lama, pekerja tersebut tetap mencatatkan nilai intake tertinggi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perhitungan nilai intake dipengaruhi oleh lebih dari satu faktor.

Dalam penelitian ini, diperoleh rata-rata usia pekerja adalah 39 tahun. Hasil uji chi-square menunjukkan bahwa terdapat 16 pekerja (42,1%) yang berisiko pada usia dewasa awal, dan 23 pekerja (45,1%) berisiko pada usia dewasa akhir. Setelah seseorang melewati usia 30 tahun, anatomi dan fisiologi organ tubuh akan mengalami penurunan, yang dapat berpengaruh pada penurunan fungsi paru.[25] Berdasarkan analisis statistik, diperoleh p-value sebesar 0,948, yang lebih besar dari alpha 0,05, dengan nilai *Prevalence Ratio* (PR) sebesar 1,055, yang menunjukkan bahwa tidak ada hubungan signifikan antara usia dan nilai RQ PM 2.5 konsentrasi maksimal. Pekerja dengan nilai intake tertinggi adalah yang berusia 42 tahun. Grafik distribusi menunjukkan bahwa perbedaan usia tidak menghasilkan perbedaan signifikan, hal ini disebabkan oleh adanya faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai intake secara lebih signifikan, seperti konsentrasi pajanan, durasi pajanan, dan faktor lainnya.

Pada penelitian ini, sebanyak 52 pekerja (58,4 %) memiliki nilai IMT dengan kategori berat badan normal. Hasil rata-rata indeks masa tubuh pekerja PT. Beton Elemenindo menunjukkan angka 22,289 yang menunjukkan nilai IMT yang normal. Berdasarkan hasil uji chisquare, terdapat 6 (18,2%) pekerja dengan IMT tidak normal yang berisiko dan 33 (58,9%) pekerja yang berisiko dengan IMT normal. Hasil uji statistik menunjukkan p-value sebesar 0,0001, yang lebih kecil dari 0,05, dengan *Prevalence Ratio* (PR) sebesar 1,992. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara IMT dan RQ PM 2.5 konsentrasi maksimal pada pekerja Hall A-D PT. Beton Elemenindo Perkasa tahun 2024. Selain itu, hubungan antara nilai IMT dengan intake pajanan PM 2.5 menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik, di mana semakin tinggi nilai IMT pekerja, semakin rendah nilai *intake* yang diterima oleh pekerja.

Dalam penelitian ini, tercatat 63 pekerja (67,7%) yang merokok. Hasil uji chi-square menunjukkan bahwa 29 pekerja (46%) yang merokok dan 10 pekerja (38,5%) yang tidak merokok berisiko terhadap pajanan PM 2.5 konsentrasi maksimum. Berdasarkan analisis statistik, diperoleh p-value sebesar 0,675, yang lebih besar dari alpha 0,05, dengan Prevalence Ratio (PR) sebesar 1,197. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat hubungan signifikan antara kebiasaan merokok dengan nilai RQ pajanan PM 2.5 konsentrasi maksimal. Kebiasaan merokok menambah pajanan PM 2.5 dan PM 10 bagi pekerja, karena asap rokok mengandung partikel PM 2.5 dan PM 10 yang berasal dari pembakaran tembakau dan kertas rokok.[26] Merokok diketahui dapat menimbulkan gangguan kesehatan, mempercepat penurunan kapasitas vital paru, meningkatkan konsentrasi hemoglobin, dan menurunkan kadar saturasi oksigen yang terpapar oleh karbon monoksida.[27]

Laju inhalasi adalah jumlah volume udara yang dihirup oleh responden dalam satuan waktu tertentu. Nilai laju inhalasi dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, seperti usia, jenis kelamin, tingkat aktivitas fisik, dan kondisi kesehatan.[28] Menurut Dirjen PP dan PL, nilai *default* laju inhalasi untuk orang dewasa adalah 0,83 m^3/jam. Namun, dalam penelitian ini, laju inhalasi yang digunakan adalah 0,06 m^3/jam, yang disesuaikan dengan kapasitas hisap alat *particulate counter* yang digunakan. Penilaian laju inhalasi per individu tidak dilakukan karena keterbatasan alat yang tersedia. Laju inhalasi dapat diukur menggunakan tes spirometri, yang mengukur indikator *total lung capacity*, yaitu total volume udara yang dapat mengisi paru-paru saat inspirasi maksimal.[13]

Dalam penelitian ini, rata-rata waktu kerja pekerja adalah 9 jam. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa 14 pekerja (26,9%) dengan waktu kerja sesuai dengan NAB berisiko, sementara 25 pekerja (67,6%) dengan waktu kerja melebihi NAB berisiko terhadap pajanan PM 2.5 konsentrasi maksimum. Uji *chi-square* menghasilkan p-value sebesar 0,0001, yang lebih kecil dari alpha (0,05), dengan *Prevalence Ratio* (PR) sebesar 2,253, yang menunjukkan adanya hubungan signifikan antara waktu kerja dan RQ PM 2.5 konsentrasi maksimal pada pekerja Hall A-D PT. Beton Elemenindo Perkasa Tahun 2024. Pekerja dengan waktu kerja 12 jam per hari tercatat memiliki nilai intake tertinggi. Meskipun ada pekerja dengan waktu kerja lebih tinggi, nilai intake mereka cenderung lebih rendah, hal ini disebabkan oleh masa kerja yang lebih pendek. Secara umum, semakin lama waktu kerja, semakin tinggi pula nilai intake yang diterima pekerja. Pekerja yang terpapar debu secara terus-menerus setiap hari selama 8 jam kerja berisiko mengalami gangguan kesehatan pernapasan akibat penumpukan debu dalam saluran inhalasi, yang pada akhirnya dapat mengganggu produktivitas mereka.[29]

Dalam penelitian ini, nilai frekuensi pajanan ditetapkan sebesar 250 hari per tahun, sesuai dengan nilai default yang ditentukan oleh Dirjen PP dan PL [11]. erhitungan frekuensi ini didasarkan pada 5 hari kerja setiap minggu selama 52 minggu dalam setahun, yang kemudian dikurangi dengan jumlah hari pekerja tidak berada di lokasi kerja, seperti libur nasional atau cuti, sehingga menghasilkan total 250 hari kerja per tahun. Frekuensi pajanan mengacu pada jumlah hari atau durasi di mana pekerja terpapar PM 2.5 dan PM 10 sepanjang tahun. Dosis paparan yang diterima seseorang dipengaruhi tidak hanya oleh konsentrasi kontaminan di lingkungan, tetapi juga oleh seberapa sering dan berapa lama seseorang terpapar terhadap kontaminan tersebut.[11]

Dalam penelitian ini, periode rata-rata tercatat sebesar 4.900 hari. Sebanyak 34 pekerja (87,2%) yang memiliki periode rata-rata di bawah nilai default dianggap berisiko terhadap pajanan PM 2.5 dengan

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

konsentrasi maksimum. Risiko ini tidak hanya dipengaruhi oleh faktor periode rata-rata, namun juga oleh faktor lain seperti tingkat konsentrasi, durasi pajanan, waktu pajanan, serta berat badan, yang dapat memengaruhi tingkat risiko yang dialami oleh individu tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata *intake* pajanan PM 2.5 adalah 0,0005394 µg/m³ dan untuk PM 10 adalah 0,0024349 µg/m³. Nilai rata-rata *intake* untuk kedua jenis pajanan tersebut masih berada di bawah nilai dosis referensi aman (RfC) yang ditetapkan oleh *National Ambient Air Quality Standard* (NAAQS), yaitu 9,0 µg/m³ untuk PM 2.5 dan 150 µg/m³ untuk PM 10. Nilai *intake* ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti konsentrasi pajanan, pola aktivitas, dan karakteristik individu. Oleh karena itu, setiap individu menerima nilai *intake* yang berbeda, yang dihitung menggunakan persamaan $I = (C \times R \times t_E \times f_E \times Dt)/W_b \times t_{avg}$).[11]

Karakterisasi Risiko

Risk Quotients (RQ) erupakan tahap terakhir dalam penilaian risiko kesehatan lingkungan (ARKL). Proses perhitungan karakterisasi risiko dilakukan dengan membandingkan dosis paparan atau intake dengan RfC atau nilai konsentrasi yang dianggap aman. Dalam penelitian ini, nilai RQ dihitung dengan rumus RQ = I/RfC, di mana RfC yang digunakan adalah 0,014 mg/kg/hari. Risiko dianggap aman jika nilai RQ ≤ 1, dan dianggap tidak aman jika nilai RQ ≥ 1.[11] Karakterisasi risiko atau RQ adalah metode untuk menentukan sejauh mana risiko yang ditimbulkan oleh agen berbahaya yang masuk ke dalam tubuh manusia. Tahap karakterisasi risiko sangat penting dalam analisis risiko kesehatan lingkungan, karena ini menggabungkan hasil dari berbagai tahap sebelumnya, seperti identifikasi bahaya, penilaian dosis-respons, dan penilaian pajanan, untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang risiko yang dihadapi pekerja. Penentuan risiko dihitung dengan membandingkan *intake* masing-masing pekerja dengan nilai dosis referensi (RfC). Jika nilai RQ > 1, maka pajanan PM 2.5 dan PM 10 dapat berisiko terhadap kesehatan, sementara jika nilai RQ ≤ 1, pajanan tersebut tidak berisiko.[11]

Tabel 3. Nilai *Risk Quotient* (RQ)

Lokasi	Nilai RQ					
	Konsentrasi	**N**	**Minimum**	**Maksimum**	**Mean**	**Std.Deviasi**
Hall A-D	**PM 2.5**					
	Minimum	89	0,00513	0,0155	0,00785	0,00191
	Maksimum	89	0,0487	2,07779	0,836	0,498
	Rata-Rata	89	0,0228	0,286	0,0599	0,0358
	PM 10					
	Minimum	89	0,00046	0,00641	0,00071	0,00063
	Maksimum	89	0,00965	0,686	0,281	0,172
	Rata-Rata	89	0,00292	0,0512	0,0162	0,0108

Tabel 4. Gambaran Frekuensi RQ Pajanan PM 2.5 dan PM 10 Pekerja PT. Beton Elemenindo Perkasa 2024

Lokasi Hall	**Pajanan**	**Berisiko (RQ > 1)**		**Tidak Berisiko (RQ≤1)**		**Total**	
		N	**%**	**N**	**%**	**N**	**%**
Hall A-D	**PM 2.5**						
	Minimum	0	0%	89	100%	89	100%
	Maksimum	39	43,8%	50	56,2%	89	100%
	Rata-Rata	0	0%	89	100%	89	100%
	PM 10						
	Minimum	0	0%	89	100%	89	100%
	Maksimum	0	0%	89	80%	89	100%
	Rata-Rata	0	0%	89	100%	89	100%

Tabel 3 menunjukkan Nilai RQ PM 2.5 dengan konsentrasi maksimum dinilai berisiko dengan nilai tertinggi yaitu sebesar 2,07779. Nilai RQ PM 10 baik itu konsentrasi minimum, maksimum, atau rata-rata masih berada di ambang batas aman, karena nilai RQ<1. Tabel 4 menunjukkan berdasarkan hasil penelitian ini terdapat sebanyak 39 (43,8%) pekerja berisiko terhadap pajanan PM 2.5 konsentrasi maksimal, diantaranya terdapat 14 (46,7%) pekerja di Hall A dan 25 (69,4%) di Hall B. Konsentrasi maksimum merujuk pada titik di mana paparan terhadap zat tersebut mencapai level tertinggi. Semakin tinggi konsentrasi suatu toksikan, semakin besar pula potensi pajanan terhadap toksikan tersebut. Konsentrasi yang tinggi dapat menimbulkan dampak yang lebih berbahaya bagi tubuh, karena meningkatkan risiko efek toksik dan memberikan tekanan lebih besar pada sistem kekebalan tubuh.[30] Dalam penelitian ini, nilai RQ sebanding dengan nilai *intake*, di mana

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

semakin besar nilai RQ, semakin tinggi pula nilai *intake* yang diterima.

Setelah toksikan bersentuhan dengan pekerja dan terabsorpsi melalui berbagai jalur, pekerja dapat mengalami risiko kesehatan berupa penyakit fibrosis paru. Fibrosis paru adalah kondisi yang menyebabkan terbentuknya jaringan parut pada paru-paru, yang mengakibatkan kesulitan dalam bernapas. Jaringan parut ini membuat paru-paru menjadi tebal dan kaku, sehingga menghambat proses penyerapan oksigen ke dalam aliran darah. Penyakit ini bisa dipicu oleh paparan bahan berbahaya, termasuk yang terkait dengan pekerjaan, seperti asbes atau silika [31]

Silikosis adalah salah satu penyakit paru yang disebabkan oleh paparan debu silika dalam jangka panjang, yang mengarah pada pembentukan jaringan fibrotik di paru-paru dan bersifat ireversibel. Penyakit ini terjadi akibat paparan partikel debu yang memiliki ukuran kurang dari 10 mikrometer. Gejala utama silikosis meliputi demam, batuk, penurunan berat badan, dan sesak napas, yang awalnya hanya muncul saat bekerja, namun semakin parah dan dapat dirasakan saat beristirahat seiring waktu.[32]

Penyakit ini biasanya muncul 10 hingga 30 tahun setelah paparan pertama terjadi. Cedera paru-paru dimulai ketika partikel silika berukuran 1 hingga 2 mikrometer yang terhirup mencapai alveoli dan dicerna oleh makrofag alveolar. [33] Efek sitotoksik langsung dari silika menyebabkan kematian makrofag, yang memicu pelepasan sitokin inflamasi dan zat lainnya, yang kemudian merangsang proliferasi fibroblas. Fibroblas ini akan membentuk nodul hialin yang terdiri dari lapisan konsentris kolagen dan silika, yang dikelilingi oleh kapsul fibrosa. Proses ini dikenal sebagai silikosis sederhana.[34]

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata PM 2.5 sebesar 71,25 µg/m^3, sementara rata-rata konsentrasi PM 10 sebesar 217,25 µg/m^3. Nilai intake dan RQ tertinggi yang dinilai berisiko terdapat pada pekerja Hall B dengan nilai 0,01870 mg/kg/hari dan 2,07779. Pajanan PM 2.5 dengan konsentrasi maksimal dinilai berisiko terhadap 39 (43,3%) pekerja, meliputi 14 (46,7%) pekerja Hall A dan 25 (69,4%) pekerja Hall B. Pajanan PM 10 dalam konsentrasi minimum, maksimum, ataupun rata-rata dinilai tidak berisiko karena nilai RQ<1. Untuk mengendalikan konsentrasi pajanan PM 2.5 agar tetap dalam batas aman, diperlukan manajemen risiko dengan penerapan sistem *dust net* dan dust *suppression*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Holman C. Guidance on the assessment of dust from demolition and construction [Internet]. Vol. 1.1. London: Institute of Air Quality Management; 2014. Available from: www.iaqm.co.uk
2. Kumar P, Morawska L. Recycling concrete: An undiscovered source of ultrafine particles. Atmos Environ [Internet]. 2014;90:51–8. Available from: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.035
3. Miller SA, Moore FC. Climate and health damages from global concrete production. Nat Clim Chang [Internet]. 2020;10(5):439–43. Available from: https://doi.org/10.1038/s41558-020-0733-0
4. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Penyakit Akibat Kerja (PAK) [Internet]. 2022. Available from: https://yankes.kemkes.go.id/view_artikel/787/penyakit-akibat-kerja-pak
5. Norfai, Abdullah. Upaya Peningkatan Penggunaan Masker Terhadap Pekerja Pengolahan Kayu. Pros Hasil-Hasil Pengabdi Kpd Masy Tahun 2018 Dosen-Dosen Univ Islam Kalimantan. 2018;1:482–90.
6. Oktaviani DA, Prasasti CI. The Physical and Chemical Air Quality, Worker's Characteristics, and Respiratory Symptoms Among Printing Workers in Surabaya. J Kesehat Lingkung. 2016;8(2):195. https://doi.org/10.20473/jkl.v8i2.2016.195-205
7. US EPA. Particulate Matter (PM) Basics [Internet]. 2023. Available from: https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics
8. Pitaloka AP. Analisis Risiko Kesehatan Pekerja Bagian Produksi Akibat Pajanan Debu di PT. Varia Usaha Beton, Sidoarjo. Universitas Airlangga; 2016.
9. Health and Safety Executive. Work-related ill health and occupational disease in Great Britain [Internet]. 2022. Available from: https://www.hse.gov.uk/statistics/causdis/
10. International Labour Organisation. Report World Health Organisation, Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury, 2000–2016. 2021.
11. Dirjen PP dan PL. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Guidance on Environmental Health Risk Analysis). Jakarta: Direktorat Jenderal PP dan PL Kementrian Kesehatan; 2012.
12. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. 2021.
13. Cole K. Welding and Thermal Cutting Fume – Potential for Occupational Health Issues. 2022.
14. Health A, Corporation S, Health A, Corporation S. Hot-Wire Foam Cutting Exposure Assessment During Theatrical Staging 1640 Boundary Road. 2017;
15. National Library of Medicine. Styrene [Internet]. 2024. Available from: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Styrene
16. Proto AR, Zimbalatti G, Negri M. The Measurment And Distribution Of Wood Dust. J Agric Eng. 2010;1(41):25–31.

Copyright © 2025 The Author. JKLI, ISSN: 1412-4939 – e-ISSN: 2502-7085.

https://doi.org/10.4081/jae.2010.1.25
17. Mushidah M, Muliawati R. Hubungan Antara Ventilasi Dan Luas Ruangan Dengan Keluhan Gangguan Saluran Pernapasan Pada Pekerja Penggilingan Padi Di Kecamatan Kaliwungu. Jumantik. 2022;8(2):51. https://doi.org/10.29406/jjum.v8i2.3321
18. Industrial Specialities Mfg. Mesh and Micron Sizes [Internet]. Englewood; 2020. p. 1–7. Available from: https://www.industrialspec.com/images/files/mesh-micron-sizes-chart-ebook-ism.pdf
19. Kementerian Ketenagakerjaaan. Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja. 2018
20. Nuryanto N, Melinda S. Identifikasi Sumber Particulate Matter (PM) 2.5 di Sorong Berdasarkan READY Hysplit Backward Trajectory. Bul GAW Bariri. 2023;4(1):11–20. https://doi.org/10.31172/bgb.v4i1.80
21. US EPA. NAAQS Table [Internet]. 2024. Available from: https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table
22. Wijaya DS, 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). J Ilmu Lingkung. 2024;22(3):678–86. https://doi.org/10.14710/jil.22.3.678-686
23. Bowman J, Buckett K, Marco P Di, Hana L, Langley A. Environmental Health Risk Management: Guidelines for assessing human health risks from environmental hazards. Australia; 2012.
24. Antari IGAD, Permadi AW, Darmawijaya IP. Hubungan Masa Kerja terhadap Daya Tahan Kardiorespirasi (VO2Max) pada Pekerja Penyapu Jalan. J Kesehatan, Sains dan Teknol. 2022;1(2):185–94. https://doi.org/10.36002/js.v1i2.2327
25. Pratiwi AF, Jatmiko SW, Nursanto D, Basuki SW. Hubungan Usia Dan Merokok Terhadap Nilai Kapasitas Vital Paksa (KVP) pada Pasien PPOK Stabil Di BBKPM Surakarta. Proceeding Book National Symposium and Workshop Continuing Medical Education XIV.
26. Pitten L, Brüggmann D, Dröge J, Braun M, Groneberg DA. TAPaC—tobacco-associated particulate matter emissions inside a car cabin: establishment of a new measuring platform. J Occup Med Toxicol [Internet]. 2022;17(1):1–9. Available from: https://doi.org/10.1186/s12995-022-00359-x
27. Ariyanto A. Analisis Kapasitas Vital Paru, Kadar Hemoglobin, dan Saturasi Oksigen Perkokok Konvensional dan Perokok Elektrik pada Warga Desa Srobyong Kecamatan Mlongo Kabupaten Jepara [Internet]. Universitas Negeri Semarang. 2019. Available from: http://lib.unnes.ac.id/40223/1/UPLOAD TESIS ANDHIKA.pdf
28. US EPA. Exposure Assessment Tools by Routes - Inhalation [Internet]. 2024. Available from: https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation#:~:text=For example%2C inhalation rates will,%2C behavior%2C and activity levels.
29. Abidin AU, Henita N, Rahmawati S, Maziya FB. Analisis Risiko Kesehatan Paparan Debu Terhadap Fungsi Paru Pada Pekerja Di Home Industry C-Max. J Sains &Teknologi Lingkung. 2021;13(1):34–9. https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss1.art3
30. Kurniawidjaja LM, Lestari F, Tejamaya M, Ramdhan DH. Konsep Dasar Toksikologi Industri. 1st ed. Mochtar I, Pujiriani I, Kadir A, editors. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia. Depok: Fakultas Kesehatan Masyarakat Indonesia; 2021. 1–181 p.
31. American Lung Association. Pulmonary Fibrosis Types and Causes [Internet]. 2024. Available from: https://www.lung.org/lung-health-diseases/lung-disease-lookup/pulmonary-fibrosis/introduction/types-causes-and-risk-factors
32. Kurniawidjaja LM, Ramadhan DH. Buku Ajar Penyakit Akibat Kerja Dan Surveilans. Jakarta: UI Publishing; 2019.
33. American Lung Association. Learn About Silicosis [Internet]. 2024. Available from: https://www.lung.org/lung-health-diseases/lung-disease-lookup/silicosis/learn-about-silicosis
34. Desdiani. Penyakit Paru Akibat Kerja. Bandung: CV. Media Sains Indonesia; 2023. 161 p.

©2025. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.