



Masa Kerja sebagai Faktor Risiko Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja yang Terpapar PM10: Tinjauan Literatur

Fitri Maharani^{1*}, Winda Trijayanti Utama², M. Yogie Fadli³, Sutarto⁴

¹⁻⁴ Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung, Indonesia

*Penulis Korespondensi: ftrimhr08@gmail.com

Abstract. Occupational exposure to particulate matter (PM_{10}) represents a significant health risk. Although the association between PM_{10} exposure levels and impaired lung function has been well demonstrated in numerous studies, epidemiological literature shows highly contradictory findings regarding the relationship between exposure duration, commonly measured as "Length of Service" and lung function. To explore the sources of this inconsistency, this review examined literature published between 2020 and 2025 using a narrative synthesis approach. The analysis revealed that the divergent findings are not driven by biological factors, but rather by systematic methodological limitations. Non-significant results in several studies can be attributed to three major weaknesses: (1) Length of Service is a weak proxy variable that fails to capture the crucial intensity (dose) of exposure; (2) substantial statistical multicollinearity between Length of Service and Age, which distorts the estimated associations; and (3) the Healthy Worker Effect (HWE), a selection bias that is almost inevitable in occupational epidemiology studies especially those using cross-sectional designs, which systematically attenuates true associations. Therefore, non-significant findings related to Length of Service should not be interpreted as evidence of the absence of harm from chronic exposure. The relationship likely exists but is "masked" by design biases and the limitations of a weak proxy. Future research should avoid relying on Length of Service as a sole exposure indicator and instead adopt cumulative exposure metrics that are more representative.

Keywords: Dust Exposure; Healthy Worker Effect (HWE); Length of Service; Lung Function; Pulmonary Function.

Abstrak. Paparan partikulat matter (PM_{10}) di tempat kerja merupakan risiko kesehatan okupasi yang signifikan. Meskipun hubungan antara tingkat paparan PM_{10} dan gangguan fungsi paru telah banyak dibuktikan dalam berbagai penelitian, literatur epidemiologi menunjukkan temuan yang sangat kontradiktif mengenai hubungan antara durasi paparan, yang sering diukur sebagai 'Masa Kerja' (*Length of Service*), dan fungsi paru. Untuk memahami sumber munculnya kontradiksi, tinjauan ini mengkaji literatur periode 2020–2025 melalui pendekatan sintesis naratif. Analisis menemukan bahwa perbedaan hasil bukan disebabkan oleh faktor biologis, tetapi oleh keterbatasan metodologis yang sistematis. Temuan non-signifikan dalam beberapa studi dapat dijelaskan oleh tiga kelemahan utama: (1) 'Masa Kerja' adalah variabel proksi yang lemah, gagal memperhitungkan intensitas (dosis) paparan yang krusial; (2) Adanya multikolinearitas statistik yang tinggi antara 'Masa Kerja' dan 'Usia', yang mengacaukan hasil; dan (3) Bias seleksi Healthy Worker Effect (HWE) yang hampir selalu terjadi dalam studi epidemiologi pekerja dalam desain studi *cross-sectional*, yang secara sistematis menekan asosiasi statistik yang sebenarnya. Oleh karena itu, temuan non-signifikan terkait 'Masa Kerja' tidak boleh ditafsirkan sebagai bukti tidak adanya bahaya dari paparan kronis. Hubungan tersebut kemungkinan besar ada, tetapi "tertutupi" oleh bias desain dan proksi yang lemah. Penelitian di masa depan harus meninggalkan 'Masa Kerja' sebagai proksi tunggal dan beralih menggunakan metrik 'Paparan Kumulatif'.

Kata kunci: Fungsi Paru; Fungsi Pernafasan; Healthy Worker Effect (HWE); Masa Kerja; Paparan Debu.

1. LATAR BELAKANG

Paparan bahaya di tempat kerja merupakan salah satu penyebab utama meningkatnya angka kesakitan dan kematian di seluruh dunia. Data dari Organisasi Kesehatan Dunia tahun 2016 menunjukkan bahwa terdapat sekitar 1,9 juta kematian yang berkaitan dengan aktivitas pekerjaan.¹ Salah satu kelompok penyakit yang paling banyak berkontribusi terhadap angka tersebut adalah penyakit pernapasan kronis. Polusi udara, khususnya yang disebabkan oleh partikel debu halus atau *particulate matter* (PM), telah diidentifikasi sebagai faktor risiko

terbesar kedua terhadap beban penyakit global. Pada tahun 2023, paparan partikulat ini tercatat menyumbang sekitar delapan persen dari total beban penyakit dan berkontribusi terhadap 39 persen kehilangan kesehatan akibat Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) (IHME, 2025).

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa masalah polusi udara di tempat kerja masih menjadi isu kesehatan yang sangat penting. Di Indonesia, sektor-sektor industri besar seperti pertambangan, industri mebel, dan pengolahan kelapa sawit diketahui menghasilkan debu partikulat dalam jumlah besar. Paparan yang terjadi secara terus-menerus menempatkan jutaan pekerja pada risiko tinggi mengalami gangguan fungsi paru dan peningkatan kejadian PPOK (Kesehatan K. Pekerja Industri Pertambangan Rentan Terkena Pneumoconiosis, 2025). Risiko tersebut menjadi perhatian serius karena menurunnya fungsi paru tidak hanya menurunkan produktivitas pekerja, tetapi juga berdampak pada peningkatan beban kesehatan masyarakat secara keseluruhan. Oleh karena itu, kajian yang menyoroti durasi paparan terhadap debu partikulat perlu dilakukan untuk memahami sejauh mana masa kerja berperan dalam penurunan fungsi paru pada kelompok pekerja.

Hubungan antara intensitas paparan debu PM_{10} dan gangguan fungsi paru telah dibuktikan dalam berbagai penelitian di bidang epidemiologi industri. Hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi debu di udara kerja berhubungan erat dengan penurunan kapasitas paru. Sebagai contoh, penelitian pada industri mebel di Gorontalo menunjukkan bahwa seluruh lokasi pengambilan sampel PM_{10} memiliki konsentrasi yang melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) serta ditemukan hubungan yang signifikan antara konsentrasi PM_{10} dan penurunan fungsi paru (Musni et al., 2023). Hasil tersebut memperkuat pemahaman bahwa paparan partikulat memiliki pengaruh langsung terhadap kesehatan paru pekerja.

Kajian tentang paparan debu di tempat kerja selama ini lebih banyak menekankan pada intensitas paparan dibandingkan durasinya. Apabila intensitas paparan terbukti meningkatkan risiko gangguan pernapasan, maka durasi paparan yang direpresentasikan melalui masa kerja seharusnya menunjukkan hubungan yang searah. Beberapa hasil penelitian mendukung pemikiran tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Zhao dan rekan-rekannya menemukan bahwa pekerja dengan masa kerja dua puluh tahun atau lebih memiliki kelainan pada nilai *Forced Vital Capacity* (FVC) (Mogal et al., 2022). Penelitian lain pada pekerja industri pengolahan kayu menunjukkan bahwa nilai parameter spirometri menurun seiring dengan bertambahnya masa kerja (Tanner, 2021). Temuan tersebut memberikan petunjuk bahwa lamanya seseorang bekerja di lingkungan yang terpapar debu berpotensi besar memengaruhi kondisi paru-paru.

Beberapa hasil penelitian lain tidak menunjukkan pola hubungan yang konsisten antara masa kerja dan gangguan fungsi paru. Perbedaan hasil ini dapat disebabkan oleh variasi dalam metode penelitian, karakteristik individu pekerja, serta faktor-faktor perancu lain seperti usia, kebiasaan merokok, dan kondisi kesehatan awal sebelum bekerja. Selain itu, adanya fenomena *Healthy Worker Effect* (HWE) juga dapat memengaruhi hasil pengukuran, karena pekerja dengan kondisi fisik lebih baik cenderung bertahan lebih lama dalam pekerjaan yang berisiko tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tinjauan pustaka ini bertujuan untuk menganalisis secara kritis dan sistematis hasil-hasil penelitian yang diterbitkan antara tahun 2020 sampai dengan 2025 mengenai hubungan antara durasi paparan yang direpresentasikan melalui masa kerja dan fungsi paru pada pekerja yang terpapar debu PM₁₀. Tujuan khusus tinjauan ini adalah untuk merangkum dan membandingkan bukti yang mendukung maupun menolak adanya hubungan antara masa kerja dan penurunan fungsi paru, menelaah faktor-faktor penyebab perbedaan hasil penelitian, membahas peran variabel perancu seperti usia dan fenomena *Healthy Worker Effect*, serta mengintegrasikan temuan-temuan penting yang relevan dengan konteks industri di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain *critical literature review* dengan pendekatan *narrative synthesis*. Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama penelitian adalah menelaah dan menginterpretasikan bukti yang ada mengenai hubungan antara masa kerja dan fungsi paru pada pekerja yang terpapar debu PM₁₀, bukan untuk melakukan analisis kuantitatif melalui meta-analisis. Melalui *narrative synthesis*, penelitian ini berupaya mengidentifikasi pola temuan, perbedaan hasil, serta faktor metodologis yang menyebabkan heterogenitas antarpenelitian. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis untuk mengidentifikasi artikel yang relevan dan diterbitkan antara 2020–2025 melalui tiga basis data utama, yaitu *PubMed*, *Google Scholar*, dan *ScienceDirect*. Strategi pencarian dirancang dengan menggunakan kombinasi kata kunci “masa kerja”, “durasi paparan”, “PM₁₀”, dan “fungsi paru pekerja” dalam Bahasa Indonesia dan Inggris. Artikel yang diikutsertakan dalam tinjauan ini harus memenuhi kriteria inklusi, yaitu berupa penelitian primer atau tinjauan sistematis yang membahas hubungan antara masa kerja atau durasi paparan dengan fungsi paru pada pekerja yang terpapar debu industri, diterbitkan dalam rentang waktu yang ditetapkan, tersedia dalam teks lengkap, serta ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris. Artikel yang hanya berupa abstrak, bersifat duplikat, atau tidak menyajikan variabel masa kerja sebagai faktor analisis dikeluarkan

dari peninjauan. Literatur yang memenuhi kriteria kemudian dianalisis secara naratif untuk mengidentifikasi pola hubungan, perbedaan hasil, serta faktor metodologis yang memengaruhi variasi temuan antarpenelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan variabel *Masa Kerja* sebagai indikator paparan partikulat di lingkungan kerja memiliki keterbatasan konseptual yang mendasar. Variabel ini hanya menggambarkan lamanya waktu pekerja terpapar tanpa mempertimbangkan intensitas paparan aktual di setiap lokasi kerja. Ketika peneliti menjadikan *Masa Kerja* sebagai satu-satunya variabel independen, terbentuk asumsi implisit bahwa tingkat paparan PM₁₀ bersifat seragam di antara semua pekerja dan unit kerja, padahal asumsi tersebut terbukti keliru secara empiris. Studi oleh Sumardiyono pada pekerja konstruksi memberikan bukti kuantitatif yang jelas bahwa intensitas paparan yang melebihi *Nilai Ambang Batas* (NAB) merupakan prediktor yang sangat kuat terhadap penurunan fungsi paru ($p<0,001$). Studi yang sama juga menyoroti peran penting faktor protektif, seperti penggunaan masker, yang terbukti memiliki efek protektif signifikan secara statistik (95% CI: 0,071–0,404) (Mozaffari et al., 2023). Dengan demikian, *Masa Kerja* tidak cukup sensitif untuk menggambarkan variasi paparan yang sebenarnya terjadi. Pekerja dengan masa kerja lima tahun di area berintensitas tinggi tanpa penggunaan APD dapat memiliki risiko penurunan fungsi paru yang jauh lebih besar dibandingkan pekerja dengan masa kerja dua puluh tahun di area berintensitas rendah dengan penggunaan APD yang patuh.

Permasalahan metodologis lain yang secara sistematis menurunkan validitas variabel *Masa Kerja* adalah *confounding* dan *multicollinearity* dengan variabel usia. Dalam epidemiologi okupasi, kedua variabel ini memiliki korelasi yang sangat tinggi dan sulit dipisahkan. Secara logis, pekerja dengan masa kerja tiga puluh tahun tentu berusia lebih tua dibandingkan pekerja dengan masa kerja lebih pendek, dan fungsi paru diketahui menurun secara fisiologis seiring bertambahnya usia. Hal ini menimbulkan dilema analitik dalam model regresi, di mana sulit membedakan penurunan fungsi paru akibat penuaan alami dari penurunan akibat paparan debu jangka panjang. Fenomena *multicollinearity* antara *Masa Kerja* dan usia sering kali meningkatkan *standard error* koefisien regresi, yang mengakibatkan hilangnya signifikansi statistik (kenaikan nilai p) meskipun hubungan kausal sebenarnya mungkin ada.¹⁷

Heterogenitas temuan dalam literatur juga dipengaruhi oleh generalisasi berlebihan terhadap istilah “PM₁₀” yang dianggap sebagai satu entitas homogen. Padahal, PM₁₀ terdiri dari berbagai jenis debu dengan karakteristik toksikologis dan patofisiologis yang berbeda. Tinjauan ini mengidentifikasi dua kelompok utama berdasarkan sifat partikulatnya. Pertama,

debu anorganik atau fibrogenik seperti debu semen (Fahrandis et al., 2025) dan debu silika (Jelita *et al.*, 2021), yang bersifat menyebabkan kerusakan progresif dan ireversibel pada jaringan paru melalui proses fibrosis, dengan manifestasi klinis berupa gangguan restriktif (penurunan FVC). Kedua, debu organik atau alergenik seperti debu kayu (Setyaningsih et al., 2023), debu kapas (Nurfala, 2025), dan debu kelapa sawit (Zhao et al., 2024), yang bersifat sitotoksik dan inflamasi, memicu respons hipersensitivitas yang lebih cepat dan menimbulkan gangguan obstruktif (penurunan rasio FEV₁/FVC) atau asma okupasi. Perbedaan mendasar ini menjelaskan mengapa temuan Talamoa (debu kayu, $p=0,000$) (Setyaningsih et al., 2023) menunjukkan hubungan yang signifikan, sedangkan Nurfala (debu semen, $p=0,075$) (Fahrandis et al., 2025) tidak. Variasi tersebut bukan mencerminkan ketiadaan efek, melainkan perbedaan dalam mekanisme dan kecepatan onset kerusakan paru yang diinduksi oleh masing-masing jenis debu.

Selain variasi jenis partikulat, heterogenitas temuan juga diperkuat oleh perbedaan metodologis dalam pemilihan titik potong (*cut-off point*) untuk mengkategorikan *Masa Kerja*. Talamoa menggunakan batas ≥ 5 tahun dan melaporkan perbedaan yang sangat signifikan antara kelompok, sementara Nurfala menggunakan batas ≥ 10 tahun dan tidak menemukan hubungan bermakna. Padahal, data deskriptif Nurfala menunjukkan bahwa 75,7% pekerja dengan masa kerja < 10 tahun sudah mengalami gangguan fungsi paru. Penggunaan titik potong yang terlalu tinggi dapat menyebabkan hilangnya gradien risiko dan melemahkan kekuatan statistik analisis. Perbedaan pendekatan ini menegaskan perlunya standarisasi dalam penggunaan kategori *Masa Kerja* agar hasil antarpenelitian dapat dibandingkan secara lebih valid dan konsisten.

Penjelasan epidemiologis yang kuat terhadap temuan non-signifikan yang dilaporkan oleh Nurfala (2025) adalah adanya bias seleksi sistematis yang dikenal sebagai *Healthy Worker Effect* (HWE) atau *bias survivor*. Hampir seluruh studi primer yang diidentifikasi dalam tinjauan ini, termasuk penelitian Zhao et al. (2024), Talamoa et al. (2025), dan Nurfala et al. (2025), menggunakan desain studi *cross-sectional*. Desain ini secara inheren rentan terhadap HWE karena hanya mencakup populasi pekerja yang masih aktif pada saat pengumpulan data, sehingga tidak memperhitungkan pekerja yang telah keluar dari populasi akibat gangguan kesehatan. Dalam konteks paparan debu industri, pekerja yang paling rentan secara genetik atau paling cepat mengalami gejala respirasi (misalnya dalam dua hingga lima tahun pertama) cenderung keluar dari pekerjaan, berpindah ke area yang kurang berdebu, atau berhenti bekerja karena alasan kesehatan. Akibatnya, pekerja yang tersisa untuk diteliti justru merupakan

kelompok yang lebih sehat, lebih tangguh, atau memiliki resistensi biologis lebih tinggi terhadap efek paparan.

Fenomena ini menimbulkan dua implikasi penting terhadap interpretasi hasil penelitian. Pertama, pada studi dengan hasil non-signifikan, seperti Nurfala et al. (2025), HWE berpotensi menekan hubungan statistik yang sebenarnya, sehingga nilai p bergeser ke arah nol dan mengaburkan hubungan biologis yang sejatinya ada antara *Masa Kerja* dan penurunan fungsi paru. Kedua, pada studi yang menemukan hubungan bermakna, seperti yang dilaporkan oleh Zhao et al. (2024) dengan OR=1,284, bias ini mengindikasikan bahwa estimasi risiko tersebut kemungkinan merupakan *underestimate* dari risiko biologis sebenarnya di populasi pekerja secara keseluruhan. Dengan demikian, HWE berfungsi sebagai faktor sistematik yang dapat menurunkan kekuatan deteksi hubungan kausal antara durasi paparan dan gangguan fungsi paru, terlepas dari kualitas data atau ukuran sampel penelitian.

Kombinasi dari kelemahan metodologis yakni penggunaan *Masa Kerja* sebagai proksi paparan yang lemah, *confounding* dengan usia, serta bias HWE, menunjukkan bahwa variabel *Masa Kerja* tidak lagi memadai untuk digunakan sebagai indikator tunggal dalam penelitian kesehatan kerja modern. Kesenjangan metodologis ini tampak jelas pada studi Fahrandis et al. (2025) tentang pekerja *stockpile* batubara, di mana data *Masa Kerja* hanya diklasifikasikan menjadi dua kategori (<5 tahun dan ≥ 5 tahun). Pendekatan kategorikal sederhana ini gagal menangkap variasi riil dalam durasi dan intensitas paparan yang dihadapi oleh setiap individu. Dalam konteks ini, literatur epidemiologi okupasi modern telah beralih menuju pendekatan metrik yang lebih akurat dan representatif, yaitu *Cumulative Exposure* atau paparan kumulatif.

Konsep *Cumulative Exposure* menggabungkan dua komponen utama, yaitu intensitas paparan dan lamanya durasi kerja, menjadi satu metrik komposit yang biasanya dinyatakan dalam satuan $\text{mg}/\text{m}^3\text{-tahun}$. Pendekatan ini secara matematis memungkinkan perbandingan yang lebih presisi antara dua individu dengan profil paparan berbeda misalnya, pekerja dengan paparan tinggi selama lima tahun dibandingkan dengan pekerja berpaparan rendah selama dua puluh tahun. Keunggulan metrik ini terletak pada kemampuannya menggambarkan total dosis biologis yang diterima individu selama masa kerja, sesuatu yang diabaikan oleh variabel *Masa Kerja* konvensional. Bukti empiris untuk pergeseran metodologis ini diperkuat oleh tinjauan sistematis yang dilakukan oleh Mundt et al. (2025) yang secara eksplisit menyimpulkan bahwa meskipun durasi kerja sendiri tidak memiliki hubungan yang kuat dengan risiko penyakit paru, paparan kumulatif terbukti menjadi prediktor yang jauh lebih konsisten dan valid terhadap gangguan respirasi kronis.

Temuan tersebut memiliki implikasi signifikan bagi arah penelitian di masa depan, terutama dalam konteks Indonesia. Peneliti perlu mengadopsi metrik *Cumulative Exposure* untuk menggantikan penggunaan *Masa Kerja* sebagai indikator tunggal paparan. Selain itu, untuk mengatasi keterbatasan desain *cross-sectional* yang rentan terhadap bias HWE, penelitian di masa mendatang perlu diarahkan pada desain *cohort longitudinal* yang lebih kuat. Desain ini memungkinkan pengukuran fungsi paru pekerja sejak awal masa kerja (*baseline*) dan pemantauan secara prospektif dari waktu ke waktu, sehingga penurunan fungsi paru dapat diobservasi secara kausal dan faktor *dropout* akibat gangguan kesehatan dapat teridentifikasi secara akurat. Penerapan pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan bukti yang lebih kuat, valid, dan representatif mengenai hubungan antara durasi paparan partikulat dan fungsi paru pada populasi pekerja industri di Indonesia.

Tabel 1. Matriks Analisis Literatur.

Studi (Penulis, Tahun)	Desain Studi	Variabel Independen	Temuan Kuantitatif & Signifikansi (Outcome: Fungsi Paru)	Kesimpulan
Zhao et al. (2024) ⁶	<i>Cross-sectional</i> ; Pekerja terpapar debu campuran (batu bara, silika, PVC) di Tiongkok.	Masa Kerja (Kategori: <10, 10-19 dan ≥20 tahun).	Signifikan. OR=1.185 (10-19 tahun); OR=1.284 (≥20 tahun). Keduanya $p=0,001$. (Outcome: Kelainan FVC).	Bukti internasional terkait hubungan antara paparan dan perubahan fungsi pernapasan.
Talamoa et al. (2025) ¹¹	<i>Cross-sectional</i> ; 44 pekerja pengamplasan mebel (Debu Kayu PM ₁₀) di Gorontalo, Indonesia.	Masa Kerja (Kategori: <5 tahun dan ≥5 tahun).	Sangat Signifikan. $p=0,00$. (77,3% pekerja ≥5 tahun mengalami gangguan).	Bukti konteks Indonesia terkuat. Secara metodologis kuat karena juga mengukur konsentrasi debu.
Musni et al. (2023) ⁴	<i>Cross-sectional</i> ; 44 pekerja mebel (Debu Kayu) di Gorontalo, Indonesia.	Masa Kerja.	Signifikan. Menemukan hubungan antara Masa Kerja dan Gangguan Fungsi Paru ($p=0,002$).	Studi konteks Indonesia yang mendukung temuan Talamoa (2025).
Setyaningsih et al. (2023) ¹²	<i>Cross-sectional</i> ; 32 penenun (Debu Tenun) di Desa Troso, Indonesia.	Masa Kerja	Signifikan. Menemukan hubungan antara Masa Kerja dan Kapasitas Vital Paru ($p<0,05$).	Bukti pendukung dari industri paparan debu organik lainnya.
Mogal et al. (2022) ⁷	<i>Cross-sectional</i> ; 100 pekerja sawmill (Debu Kayu) di Bangladesh	Masa Kerja	Signifikan (Narratif). "Parameter spirometri menurun seiring dengan meningkatnya masa kerja." "rendah pada >20 tahun paparan."	Bukti pendukung (kualitatif/visual)
Nurfala (2025) ¹³	<i>Cross-sectional</i> ; 100 pekerja konstruksi (Debu Semen) di Indonesia.	Masa Kerja (Kategori: <10 tahun dan ≥10 tahun).	Tidak Signifikan. Tidak ada hubungan yang bermakna. $p=0,075$. (Prevalensi gangguan sudah tinggi (75,7%) di <10 tahun).	Temuan 'nihil' dari konteks debu anorganik (semen).
Fahrandid et al. (2025) ¹⁴	<i>Cross-sectional</i> ; 38 pekerja stockpile (Debu Batubara) di Jambi, Indonesia.	Masa Kerja (Kategori: <5 tahun dan ≥5 tahun).	Tidak Dianalisis. Variabel 'Masa Kerja' dikumpulkan (52,6% <5 thn; 47,4% ≥5 thn) tetapi tidak diuji dalam analisis bivariat.	Kesenjangan Penelitian. Kelalaian metodologis dalam literatur.
Mundt et al. (2024) ¹⁵	Tinjauan Sistematis (<i>Systematic Review</i>); Paparan Silika Kristal.	Durasi Kerja dan Paparan Kumulatif	Tidak Signifikan untuk Durasi. Signifikan untuk Kumulatif.	Menyimpulkan 'Masa Kerja' saja adalah prediktor yang lemah. Mendukung 'Paparan Kumulatif'.
Sumardiyyono et al. (2025) ¹⁶	<i>Cross-sectional</i> ; Pekerja konstruksi (Debu Non-Organik).	Intensitas Paparan (>TLV); Penggunaan Masker.	Signifikan. Paparan >TLV secara signifikan mengurangi FEV1/FVC ($p<0,001$). Penggunaan Masker memiliki efek protektif (CI: 0.071–0.404).	Membuktikan secara kuantitatif bahwa Intensitas dan Modifikator (APD) adalah prediktor kuat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam konteks paparan partikulat PM₁₀, Masa Kerja yang lebih panjang kerap dikaitkan dengan peningkatan risiko kerusakan paru. Berbagai studi juga menunjukkan bahwa semakin lama seseorang bekerja di lingkungan berdebu, semakin besar peluang terjadinya penurunan fungsi paru. Namun, tinjauan ini mengidentifikasi adanya inkonsistensi yang signifikan, di mana sejumlah studi justru tidak menemukan hubungan bermakna secara statistik.

Hasil telaah literatur mengidentifikasi tiga poin penting. Pertama, *Masa Kerja* merupakan proksi yang tidak cukup kuat baik secara konseptual maupun metodologis, karena hanya menggambarkan lamanya bekerja dan tidak mencakup variasi intensitas paparan di lapangan. Variabel ini tidak mampu menggambarkan variasi paparan antarindividu maupun antaraera kerja yang sangat memengaruhi risiko biologis. Kedua, secara statistik, *Masa Kerja* mengalami *confounding* kuat dengan variabel usia akibat *multicollinearity*. Fungsi paru secara fisiologis menurun seiring bertambahnya usia, sehingga pemisahan efek antara penuaan alami dan paparan kerja kronis menjadi sulit dilakukan dalam model regresi multivariat. Ketiga, dari perspektif epidemiologis, penggunaan desain *cross-sectional* secara universal dalam hampir seluruh literatur primer memperkenalkan *bias seleksi Healthy Worker Effect (HWE)*. Bias ini muncul karena hanya mencakup pekerja yang masih aktif bekerja (*survivor*), sehingga gagal merepresentasikan pekerja yang paling rentan dan telah keluar dari populasi karena gangguan kesehatan.

Efek HWE secara sistematis menekan kekuatan hubungan statistik yang sebenarnya, mendorong nilai asosiasi ke arah nol. Dengan demikian, temuan non-signifikan dalam beberapa studi tidak dapat diinterpretasikan sebagai bukti tidak adanya efek paparan kronis terhadap fungsi paru. Sebaliknya, hasil tersebut kemungkinan besar mencerminkan bias desain studi yang menutupi hubungan biologis yang sesungguhnya. Berdasarkan temuan ini, penelitian di masa mendatang perlu menghindari ketergantungan pada variabel *Masa Kerja* sebagai indikator tunggal paparan dan mengadopsi metrik paparan kumulatif yang lebih representatif, serta menggunakan desain *longitudinal cohort* untuk memperoleh bukti kausal yang lebih valid dan komprehensif mengenai dampak paparan partikulat terhadap fungsi paru pekerja.

DAFTAR REFERENSI

- Fahrändis, A. D., Yenni, M., & Entianopa, E. (2025). Analisis gangguan fungsi paru pada pekerja di area stockpile Pelabuhan Talang Duku Jambi tahun 2024. *NJOHS*.
- Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). (2025). *Air pollution research library*.
- Jelita, R. A., dkk. (2021). Scoping review: Efek debu kapas terhadap nilai fungsi paru pada pekerja tekstil.
- Kastner, A., Punz, E., & Griebler, U. (2021). When is a meta-analysis not indicated? A case study on the application of narrative synthesis in a systematic review of effectiveness. *Research Synthesis Methods*, 12(4), 478–490. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1430>
- Kesehatan, K. (2025). *Pekerja industri pertambangan rentan terkena pneumoconiosis*.
- Mogal, M. R., Islam, M. D., Hasan, M. I., Junayed, A., Sompa, S. A., Mahmud, M. R., et al. (2022). The impact of wood dust on pulmonary function and blood immunoglobulin E, erythrocyte sedimentation rate, and C-reactive protein: A cross-sectional study among sawmill workers in Tangail, Bangladesh. *Health Science Reports*, 5(3), e646. <https://doi.org/10.1002/hsr2.646>
- Mozaffari, S., Heibati, B., Jaakkola, M. S., Lajunen, T. K., Kalteh, S., Alimoradi, H., et al. (2023). Effects of occupational exposures on respiratory health in steel factory workers. *Frontiers in Public Health*, 11, 1082874. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1082874>
- Mundt, K. A., Thompson, W. J., Dhawan, G., Checkoway, H., Boffetta, P. (2025). Systematic review of the epidemiological evidence of associations between quantified occupational exposure to respirable crystalline silica and the risk of silicosis and lung cancer. *Frontiers in Public Health*, 13, 1554006. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1554006>
- Musni, N., dkk. (2023). Hubungan penggunaan APD (alat pelindung diri) dengan gangguan fungsi paru pada pekerja meubel di Kota Gorontalo. *Jurnal JKS Unismuh Palu*, 11(3).
- Nurfala, R. (2025). Hubungan antara durasi paparan debu semen dengan gangguan fungsi paru pada pekerja konstruksi. Universitas Trisakti.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Putri, A. N. (2021). Review sistematik: Identifikasi bahaya paparan debu silika pada pekerja tambang.
- Setyaningsih, Y., Wahyuni, I., Kurniawan, B., & Ekawati, E. (2023). Kadar debu lingkungan kerja dan kapasitas kerja sebagai determinan penurunan kapasitas fungsi paru. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*.

- Sumardiyono, S., Widjanarti, M. P., Suratna, F. S. N., Chahyadhi, B., Wijayanti, R., Fauzi, R. P., et al. (2025). The impact of workplace dust exposure and mask usage on pulmonary function in construction environments. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 17(1), 12–21.
- Talamoa, M. F., Irwan, & Nurfadillah, A. R. (2025). Hubungan pajanan debu kayu dengan kapasitas fungsi paru pada pekerja di bagian pengamplasan industri meubel Kota Gorontalo. *Jurnal JKS Unismuh Palu*.
- Tanner, K. D. (2021). Approaches to biology education research literature reviews. *CBE—Life Sciences Education*, 20(3), fe7. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-04-0083>
- World Health Organization (WHO) & International Labour Organization (ILO). (2021). *Almost 2 million people die from work-related causes each year*.
- Zhao, Y., Zhao, S., Lu, J., Dong, R., Wang, Q., Song, G., et al. (2024). The status and influencing factors of lung ventilation function in employees exposed to dust in enterprises of the XPCC, China. *Frontiers in Public Health*, 12, 1370765. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1370765>