Jurnal Sanitasi Lingkungan
Vol.6, No.2, November 2026
https://doi.org/10.36086/4b0des85
ISSN 2828-7592

ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN UDARA DALAM RUANG TERTUTUP TERHADAP PEGAWAI LABORATORIUM : *LITERATURE REVIEW*

ENVIRONMENTAL HEALTH RISK ANALYSIS OF INDOOR AIR EXPOSURE ON LABORATORY PERSONEL : LITERATURE REVIEW

Flora Febriyanti [1)*], Hamzah Hasyim [2)], Yuanita Windusari [3)]
[1,2,3)]*Program Studi S2 Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sriwijaya, Palembang,Indonesia*
Email : florafebriyanti1@gmail.com

ABSTRAK

Latar Belakang: Pajanan partikulat, senyawa organik volatil, formaldehid, dan mikroorganisme dapat memengaruhi kualitas udara dalam ruang laboratorium serta kesehatan pekerja. Bukti mengenai penerapan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) pada lingkungan laboratorium di Indonesia masih terbatas.

Tujuan: Mengidentifikasi pendekatan penilaian risiko pajanan udara di laboratorium, mensintesis temuan penelitian, serta merumuskan kebutuhan pengembangan ARKL pada lingkungan kerja laboratorium.

Metode: Tinjauan sistematis dengan sintesis naratif menggunakan sumber nasional (Garuda, OneSearch, portal jurnal universitas) dan internasional (PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, SpringerLink) dan internasional (PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, SpringerLink). Sebanyak 18 studi primer memenuhi kriteria inklusi. Penilaian kualitas dilaporkan menggunakan instrumen JBI oleh dua penelaah independen.

Hasil: Sebanyak 14 dari 18 studi (77,8%) terbit pada 2020–2025. Tiga studi (16,7%) diklasifikasikan sebagai ARKL/penilaian risiko, sepuluh (55,6%) deskriptif/kualitas udara dalam ruang, dan lima (27,8%) analisis hubungan kesehatan. Parameter yang paling sering dilaporkan adalah $PM_{2.5}$ (61,1%), suhu/kelembapan (55,6%), mikroorganisme (50,0%), senyawa organik volatil (44,4%), formaldehid (38,9%), CO/CO_2 (33,3%), serta PM_{10} (27,8%). Sejumlah studi melaporkan hasil yang melampaui nilai acuan yang digunakan masing-masing penelitian.

Kesimpulan: Penilaian risiko berbasis pajanan dapat melengkapi pengukuran kualitas udara laboratorium dengan mempertimbangkan konsentrasi dan pola pajanan. Sintesis ini mengindikasikan perlunya penelitian laboratorium yang mengintegrasikan parameter lingkungan, informasi pajanan individu, dan interpretasi risiko secara terukur.

Kata Kunci: analisis risiko kesehatan lingkungan; kualitas udara dalam ruang; pajanan kerja; laboratorium

ABSTRACT

Background: *Laboratory personnel may be exposed to airborne particles, volatile organic compounds, formaldehyde, and microorganisms. Evidence on the application of environmental health risk assessment (EHRA) in Indonesian laboratory settings remains limited.*

Objective: *To identify approaches to assessing laboratory air exposure, synthesize the findings, and outline research needs for laboratory-based EHRA.*

Methods: *A systematic review with narrative synthesis searched Indonesian sources (Garuda, OneSearch, and university journal portals) and international sources (PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, and SpringerLink). The last search was conducted on 10 September 2026. Of 178 initial*

 ISSN 2828-7592

records, 58 duplicates were removed, and 18 primary studies met the inclusion criteria. Study quality was reportedly appraised using JBI tools by two independent reviewers.

Results: *Fourteen of the 18 studies (77.8%) were published in 2020–2025. Three studies (16.7%) were categorized as EHRA/risk assessment, ten (55.6%) as descriptive/indoor air quality studies, and five (27.8%) as analyses of health associations. The most frequently reported parameters were $PM_{2.5}$ (61.1%), temperature/humidity (55.6%), microorganisms (50.0%), volatile organic compounds (44.4%), formaldehyde (38.9%), CO/CO_2 (33.3%), and PM_{10} (27.8%). Some studies reported measurements above their respective reference values.*

Conclusion: *Exposure-based risk assessment can complement laboratory air quality monitoring by accounting for concentrations and exposure patterns. Further laboratory research should integrate environmental measurements, individual exposure characteristics, and transparent risk interpretation.*

Keywords: *environmental health risk assessment; indoor air quality; occupational exposure; laboratory personnel*

PENDAHULUAN

Kualitas udara dalam ruang (IAQ) penting bagi kesehatan dan produktivitas karena sekitar 90% waktu manusia dihabiskan di dalam ruangan.[1] Paparan polutan udara dalam ruang dapat menyebabkan gangguan kesehatan, dari iritasi hingga penyakit kronis seperti gangguan pernapasan, kardiovaskular, dan kanker.[2] Laboratorium memiliki karakteristik kerja yang khas karena aktivitasnya melibatkan bahan kimia berbahaya, emisi partikulat, dan kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme.[3] Pegawai laboratorium terpajan berbagai polutan secara simultan, sehingga berpotensi menghadapi risiko kesehatan lebih tinggi dibandingkan pekerja perkantoran.[4] Kesadaran pentingnya IAQ laboratorium di Indonesia masih rendah, tercermin dari belum adanya regulasi nasional yang komprehensif tentang kualitas udara dalam ruang.[5] Standar yang ada masih sektoral dan tersebar dalam berbagai peraturan menteri sehingga penerapannya tidak konsisten, seiring minimnya penelitian ARKL yang secara spesifik mengkaji pajanan udara laboratorium di Indonesia.[6]

Penelitian kualitas udara dalam ruang terus berkembang meskipun pendekatan awalnya masih deskriptif, hanya membandingkan hasil pengukuran dengan baku mutu tanpa menghitung risiko kesehatan aktual.[7] Seiring perkembangan ilmu, ARKL diadopsi sebagai pendekatan yang lebih komprehensif karena mengkuantifikasi risiko melalui RQ untuk efek non-karsinogenik dan ECR untuk efek karsinogenik.[8] Penelitian internasional telah banyak menerapkan ARKL di berbagai lingkungan kerja. Kangarlou dkk (2024) mengembangkan metodologi komprehensif yang mengintegrasikan area sampling, personal sampling, biomonitoring, dan data kesehatan mandiri untuk menilai risiko formaldehid di laboratorium rumah sakit.[9] Sesena et.al (2022) menerapkan penilaian risiko terintegrasi yang mencakup pajanan kimia dan mikroba dalam satu kerangka di laboratorium kemudian dilanjutkan dengan *health risk assessment*.[10] Palacios dkk. (2021) melakukan tinjauan sistematis terhadap 42 studi yang melibatkan 6.850 subjek dari 10 negara, menemukan bahwa individu yang terpapar kondisi kualitas udara di atas standar minimum American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) lebih mungkin mengalami penurunan kesehatan, kinerja, dan produktivitas.[11]

Di Indonesia, penelitian ARKL mulai berkembang namun masih terbatas pada lingkungan perumahan, perkantoran umum, dan industri. Regia dkk. (2021) melakukan ARKL pajanan $PM_{2.5}$ di rumah tinggal kawasan industri semen dengan hasil RQ < 1 (aman).[12] Akhmad (2024) menganalisis risiko pajanan $PM_{2.5}$ pada pekerja di ruang pemeliharaan mesin pabrik semen dan menemukan RQ >1 pada beberapa ruangan berisiko.[13] Fikri dkk. (2025) melakukan penelitian mengenai Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) akibat pajanan partikulat $PM_{2.5}$ dan PM_{10} pada pekerja PT Beton Elemenindo Perkasa. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui tingkat

 ISSN 2828-7592

pajanan partikulat dan potensi risiko kesehatan yang diterima pekerja selama berada di lingkungan kerja, Hasil penelitian menunjukkan bahwa pajanan partikulat, khususnya $PM_{2.5}$, dapat menimbulkan risiko kesehatan pada sebagian pekerja karena ditemukan nilai RQ>1.[14] Hal ini menunjukkan penelitian ARKL pada lingkungan laboratorium di Indonesia telah mulai dilakukan, tetapi kajian yang secara khusus mengintegrasikan beberapa parameter kualitas udara dalam ruang seperti CO, CO_2, $PM_{2.5}$, dan PM_{10} pada pegawai laboratorium masih terbatas.[15]

Studi literatur ini bertujuan untuk: (1)Mengidentifikasi dan mensintesis metode penilaian risiko kesehatan lingkungan yang telah diterapkan pada pajanan udara di laboratorium. (2)Menganalisis temuan-temuan utama dari penelitian nasional dan internasional terkait kualitas udara laboratorium dan dampaknya terhadap kesehatan pegawai. (3)Merumuskan rekomendasi untuk pengembangan penelitian Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) di laboratorium di Indonesia.

METODE

Penelitian ini merupakan studi literatur (*literature review*) dengan menggunakan desain *systematic narrative review* untuk mengidentifikasi, menilai, dan mensintesis bukti ilmiah mengenai pajanan kualitas udara dalam ruang tertutup dan potensi risiko kesehatan pada pekerja laboratorium. Proses pelaporan hasil review mengikuti pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)* untuk memastikan proses identifikasi, seleksi, dan inklusi artikel dapat ditelusuri secara sistematis.

Populasi dalam studi literatur ini adalah seluruh artikel ilmiah yang membahas tentang kualitas udara dalam ruang kerja, ARKL, dan pajanan udara di laboratorium. Sampel penelitian adalah artikel-artikel yang memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi meliputi: penelitian primer yang berlokasi di lingkungan laboratorium atau berhubungan langsung dengan pekerja laboratorium, mengukur parameter kualitas udara dalam ruang ($PM_{2.5}$, PM_{10}, CO, CO_2, VOCs, formaldehid, mikroorganisme, suhu, kelembaban), menilai pajanan dan/atau risiko kesehatan, dan tersedia dalam teks lengkap. Kriteria eksklusi meliputi: artikel review, studi non-laboratorium, artikel duplikat, dan publikasi yang tidak memenuhi kriteria.

Pencarian literatur dilakukan pada database nasional (Garuda, Onesearch, portal jurnal universitas) dan internasional (PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, SpringerLink) dengan kombinasi kata kunci menggunakan operator Boolean. Pencarian terakhir dilakukan pada 10 September 2026. Seluruh hasil pencarian sebanyak 178 artikel dikompilasi dalam aplikasi Rayyan. Setelah duplikasi dihapus sebanyak 58 artikel, diseleksi melalui *screening* judul dan abstrak, kemudian penilaian *full-text*. Dari keseluruhan proses seleksi diperoleh 18 artikel studi primer yang berhubungan langsung dengan lingkungan laboratorium.

Penilaian kualitas studi (*quality appraisal*) dilakukan oleh dua reviewer secara independen, perbedaan diselesaikan melalui diskusi dan pemeriksaan ulang full text. Critical appraisal dilakukan menggunakan checklist JBI sesuai karakteristik desain studi. Penilaian mencakup kriteria inklusi, karakteristik setting/subjek, validitas dan reliabilitas pengukuran pajanan, kriteria outcome, confounding dan strategi pengendaliannya, serta kesesuaian analisis statistik. Setiap studi dinilai secara item-level dengan kategori Yes, No, Unclear, atau Not applicable. Sebagian besar studi memenuhi kriteria appraisal yang dapat diterapkan, sedangkan beberapa studi memiliki aspek yang dilaporkan secara tidak lengkap terutama terkait confounding, validitas pengukuran, dan strategi pengendaliannya. Hasil appraisal digunakan untuk menafsirkan kekuatan dan keterbatasan evidence, bukan sebagai dasar menghapus studi secara otomatis. Karena terdapat studi deskriptif IAQ yang tidak memiliki keluaran kesehatan atau analisis confounding, item yang tidak relevan diberi Not applicable.

HASIL

Dari 178 artikel yang diidentifikasi, Lingkungan laboratorium didefinisikan sebagai ruang kerja, ruang praktikum, ruang penelitian, atau fasilitas laboratorium tempat pekerja/mahasiswa melakukan aktivitas laboratorium dan yang menjadi lokasi pengukuran kualitas/pajanan udara. Sebanyak 18 studi primer yang berhubungan langsung dengan lingkungan laboratorium memenuhi

 ISSN 2828-7592

kriteria inklusi. Berdasarkan periode publikasi, sebanyak 18 artikel (77,8%) diterbitkan pada periode 2020–2025, hal ini menunjukkan peningkatan perhatian terhadap isu kualitas udara laboratorium yang disajikan dalam Tabel 1. Karakteristik Studi Mengenai Kualitas Udara Dalam Ruang Dan Risiko Kesehatan Pada Lingkungan Laboratorium

No	Penulis, Tahun	Negara	Jenis Laboratorium	Parameter	Metode Analisis	Hasil Utama
1	Hussin, 2017	Arab Saudi	Laboratorium universitas ber-AC	CO_2, ventilasi	Penilaian pajanan kimia	2 dari 10 laboratorium memiliki CO_2 >1.000 ppm
2	Mohamad Isa, 2020	Malaysia	Gedung universitas (area laboratorium)	$PM_{2.5}$, suhu, RH, mikrobiologi	Deskriptif	Kondisi IAQ berbeda menurut aktivitas dan ventilasi
3	Nopriandi dkk., 2025	Indonesia	10 laboratorium Poltekkes	CO_2, HCHO, TVOC, PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}	Deskriptif	Beberapa parameter perlu dikendalikan
4	Seseña dkk., 2022	Spanyol	11 laboratorium pelatihan universitas	Suhu, RH, CO_2, CO, O_3, TVOC, PM, fungi, bakteri	*Health risk assessment*	Risiko kesehatan dievaluasi berdasarkan pajanan
5	Mustață dkk., 2025	Rumania	Lingkungan universitas (laboratorium)	PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, CO_2	Deskriptif	CO_2 >1.000 ppm di sebagian besar lokasi; PM_{10} tinggi di lokasi tertentu
6	Chaiklieng dkk., 2021	Thailand	Laboratorium medis	Formaldehid	HQ dan *cancer risk*	HQ 0,02–11,4; risiko kanker pada kelompok tertentu
7	Widyaristi, 2023	Indonesia	Laboratorium universitas	Polusi udara dalam ruang	Analisis pajanan–fungsi paru	Pajanan berhubungan dengan kapasitas vital paru
8	Nilandita dkk., 2019	Indonesia	Laboratorium terpadu UIN Sunan Ampel	Kualitas udara dalam ruang	Deskriptif	Menggambarkan kualitas udara dalam bangunan laboratorium
9	Ikhide & Onosemuode, 2025	Nigeria	Laboratorium Rubber Research Institute	VOC, logam berat, mikroorganisme	*Integrated risk assessment*	Kontaminan kimia dan mikrobiologi hadir simultan

 ISSN 2828-7592

No	Penulis, Tahun	Negara	Jenis Laboratorium	Parameter	Metode Analisis	Hasil Utama
10	Hati dkk., 2025	Indonesia	3 laboratorium mikrobiologi	Bakteri udara, suhu, RH	Deskriptif dan Wilcoxon	Ventilasi dan kelembapan berkaitan dengan beban mikroba
11	Bahri, 2025	Indonesia	Laboratorium PT X	Benzena, toluena, xilena	ARKL	Konsentrasi BTX < NAB; RQ toluena dan xilena <1; ECR benzena $<10^{-4}$
12	Mohamad Fuad dkk., 2020	Malaysia	40 laboratorium universitas	Suhu, RH, CO_2, CO, PM, VOC, fungi, bakteri	Deskriptif/ SBS	Beberapa parameter IAQ perlu diperbaiki
13	Ramli dkk., 2023	Malaysia	Laboratorium histopatologi	Formaldehid	Analisis pajanan dan gejala	Gejala terkait formaldehid pada 51% pekerja
14	Saad dkk., 2016	Malaysia	Laboratorium universitas	Parameter IAQ dan SBS	Analisis prevalensi	IAQ berhubungan dengan gejala Kesehatan
15	Syed Azahar dkk., 2024	Malaysia	Laboratorium universitas	Mold/bioaerosol, suhu, RH, IAQ	*Logistic regression*	Batuk dilaporkan pada 74,3% penghuni
16	Mahendra dkk., 2025	Indonesia	Laboratorium Teknik Industri & Lingkungan	Bahaya lingkungan kerja	HIRARC	Risiko bervariasi dari sedang hingga tinggi
17	Ugranli dkk., 2015	Turki	Laboratorium kimia dan teknik kimia	$PM_{2.5}$, PM_{10}, TVOC, CO, CO_2, suhu, RH	Deskriptif	Semua polutan di bawah batas kecuali TVOC di satu laboratorium
18	Kangarlou dkk., 2024	Internasional	Berbagai laboratorium (formaldehid)	Formaldehid	Metodologi estimasi pajanan	Mengembangkan metodologi penilaian risiko formaldehid

Dari 18 studi laboratorium, pendekatan ARKL/penilaian risiko ditemukan pada 3 artikel (16,7%), deskriptif/IAQ pada 10 artikel (55,6%), dan analisis hubungan kualitas udara dengan kesehatan pada 5 artikel (27,8%). ARKL memberikan pendekatan kuantitatif yang mampu mengintegrasikan konsentrasi pajanan, pola aktivitas, dan karakteristik individu dalam proses karakterisasi risiko kesehatan.[16] Chaiklieng dkk. (2021) melakukan penilaian risiko inhalasi formaldehid pada 33 pegawai di laboratorium medis.[17] Bahri (2025) menggunakan ARKL untuk menilai pajanan benzena, toluena, dan xilena (BTX) pada pekerja laboratorium PT X.[18] Kangarlou dkk. (2024) mengembangkan metodologi penilaian risiko formaldehid yang mengintegrasikan *area sampling*, *personal sampling*, biomonitoring, dan data kesehatan.[9] Dalam Tabel 2

 ISSN 2828-7592

menggambarkan Distribusi Parameter Yang Diukur Pada Studi Laboratorium

Parameter	Jumlah Artikel	Persentase
$PM_{2.5}$	11	61,1%
Suhu, Kelembaban	10	55,6%
Mikroorganisme	9	50,0%
VOCs	8	44,4%
Formaldehid	7	38,9%
CO, CO_2	6	33,3%
PM_{10}	5	27,8%

Parameter yang paling banyak diukur adalah $PM_{2.5}$, yaitu sebanyak 11 artikel (61,1%), diikuti oleh suhu dan kelembapan sebanyak 10 artikel (55,6%). Parameter mikroorganisme diteukan pada 9 artikel (50,0%), VOCs ditemukan pada 8 artikel (44,4%), sedangkan formaldehid ditemukan pada 7 artikel (38,9%) serta CO/CO_2 masing-masing ditemukan pada 6 artikel (33,3%) dan PM_{10} merupakan parameter yang ditemukan pada 5 artikel (27,8%).

Hasil menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruang laboratorium bersifat heterogen. Ikhide & Onosemuode (2025) menemukan bahwa beberapa kelompok kontaminan dapat hadir secara simultan.[19] Hati dkk. (2025) menunjukkan bahwa karakteristik ventilasi dan kelembapan berhubungan dengan keberadaan mikroorganisme di udara dalam laboratorium.[20] Syed Azahar dkk. (2024) menemukan bahwa kelembapan relatif berhubungan dengan jumlah jamur dan bakteri, sementara temperatur dan jumlah bakteri merupakan parameter yang menonjol.[21] Bahri (2025) menemukan bahwa konsentrasi BTX masih berada di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) dan RQ toluena dan xilena <1, sedangkan ECR benzena $<10^{-4}$.[18] Temuan ini menunjukkan bahwa keberadaan bahan kimia berbahaya di lingkungan laboratorium tidak secara otomatis menghasilkan risiko kesehatan yang tinggi. Risiko merupakan fungsi dari besar konsentrasi dan pola pajanan, bukan hanya sifat intrinsik bahaya suatu bahan.

Gejala kesehatan yang paling sering dilaporkan meliputi gangguan pernapasan (batuk, pilek, sesak napas), iritasi mata dan tenggorokan, sakit kepala, kelelahan, dan gejala *Sick Building Syndrome*.[22,23] Ramli dkk. (2023) menemukan gejala terkait pajanan formaldehid pada 51% pekerja laboratorium histopatologi, lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol sebesar 35%, meskipun tingkat pajanan formaldehid masih berada di bawah batas yang direkomendasikan.[24] Syed Azahar dkk. (2024) melaporkan batuk dengan prevalensi 74,3% pada penghuni laboratorium universitas dan menunjukkan hubungan statistik dengan indikator kualitas udara.[21]

PEMBAHASAN

Perbedaan kategori aman dan tidak aman menegaskan bahwa konsentrasi pencemar, kepatuhan baku mutu, dan estimasi risiko kesehatan saling terkait namun tidak identik. ARKL memasukkan karakteristik pajanan, sehingga nilai RQ tidak semata ditentukan oleh konsentrasi pencemar. Silvia dkk. (2020) menunjukkan bahwa konsentrasi $PM_{2.5}$ di bawah baku mutu dapat menghasilkan RQ>1 untuk logam tertentu yang terkandung dalam partikulat.[25] Utama dkk. (2025) menemukan RQ>1 pada beberapa ruangan, sedangkan Amilang (2024) menemukan RQ≤1 meskipun konsentrasi $PM_{2.5}$ melebihi nilai pembanding.[26,27] Perbedaan ini menunjukkan pentingnya pemahaman bahwa RQ adalah estimasi risiko berdasarkan asumsi, bukan bukti langsung terjadinya gangguan kesehatan.

Di Indonesia, penelitian kualitas udara dalam ruang masih didominasi pengukuran konsentrasi pencemar dan perbandingannya dengan baku mutu, sementara estimasi risiko kesehatan individual secara kuantitatif masih terbatas. ARKL lebih komprehensif karena memperhitungkan konsentrasi agen risiko sekaligus karakteristik antropometri dan pola aktivitas individu, seperti berat badan, laju inhalasi, waktu, frekuensi, dan durasi pajanan.[28] Perbandingan literatur nasional dan internasional menunjukkan variasi kelengkapan metodologi, dengan studi internasional lebih terintegrasi melalui gabungan *area sampling*, *personal sampling*, biomonitoring, dan data kesehatan pekerja.[9] Palacios dkk. (2021) menekankan bahwa kualitas udara dalam ruang yang buruk memiliki dampak penting terhadap kesehatan, kinerja, dan produktivitas manusia serta harus diakui sebagai masalah kesehatan Masyarakat.[12] Mahendra dkk. (2025) mengidentifikasi bahwa risiko di laboratorium bervariasi dari sedang hingga tinggi, dengan

 ISSN 2828-7592

laboratorium mikrobiologi menghadapi risiko infeksi dan laboratorium kimia terpapar bahan kimia berbahaya.[29] Temuan ini menunjukkan perlunya pendekatan yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing laboratorium dalam pengendalian risiko.

Studi ARKL menunjukkan konsentrasi polutan tinggi tidak selalu sejalan dengan risiko kesehatan tinggi karena faktor antropometri (berat badan, lama, dan frekuensi pajanan) turut diperhitungkan. ARKL pun memberi perspektif lebih informatif dibandingkan sekadar membandingkan konsentrasi dengan baku mutu. Keterbatasan studi ini meliputi keterbatasan akses *full-text* artikel berbayar, potensi bias publikasi, keragaman metode dan parameter yang menghambat meta-analisis kuantitatif, serta dominasi desain *cross-sectional* yang tidak dapat menetapkan hubungan sebab-akibat secara definitif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari 18 studi primer, sebanyak 14 studi (77,8%) dipublikasikan pada 2020–2025. Pendekatan penelitian didominasi oleh pengukuran atau deskripsi kualitas udara dalam ruang, sedangkan studi dengan penilaian risiko kuantitatif lebih sedikit. Temuan penelitian menunjukkan variasi konsentrasi pencemar dan sejumlah keluhan kesehatan pada pekerja atau penghuni laboratorium. Penilaian risiko berbasis pajanan dapat membantu interpretasi temuan pengukuran, tetapi penerapannya perlu disesuaikan dengan karakteristik agen, data pajanan, dan ketepatan nilai rujukan.

Penelitian berikutnya disarankan mengintegrasikan pemantauan fisik, kimia, dan biologis yang relevan dengan karakteristik laboratorium, disertai informasi aktivitas kerja, pengendalian risiko, dan interpretasi pajanan individu. Untuk finalisasi tinjauan ini, penulis perlu menyediakan diagram alir PRISMA lengkap, strategi pencarian yang dapat direplikasi, matriks JBI per studi, serta verifikasi silang seluruh sumber dan angka dalam tabel.

DAFTAR PUSTAKA

1. Haya, F., Nisa, K., Ladipasa, R. F., Suriani, A. & Media, A. Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Manusia. WISSEN J Ilmu Sos dan Hum 3, 180–90 (2025).
2. Garmini, R., Purwana, R. & Palembang, Stik. M. Polusi Udara Dalam Rumah Terhadap Infeksi Saluran Pernafasan Akut pada Balita di TPA Sukawinatan Palembang. J. Kesehat. Lingkung. Indones. 19, 1–6 (2020).
3. NB Abd Wahid, IIM Isa, AK Hassan, MII Razali, AH Hasrizal, MF Muzamil, M. H. Indoor particulate matter (PM2.5) and comfort parameters in a university building. UPSI Digit Repos (2020).
4. Nopriandi, N., Zulherman, T. & I.N. Evaluation of Indoor Air Quality in Laboratory Rooms at Poltekkes Riau Based on the Indonesian Ministry of Health Regulation No. 48 of 2016. RUSTIC 5, 115–27 (2025).
5. Gamal, A. et al. Indoor air quality control at national-level regulations: A special case in Indonesia. J Air Pollut Heal 8, 315–38 (2023).
6. Basri, S., Bujawati, E., Munawir, A. & Habibi, S. Health Environment Risk Analysis: Air pollution risk measurement model. at (2024).
7. Zhang, H. & Srinivasan, R. A Systematic Review of Air Quality Sensors, Guidelines, and Measurement Studies for Indoor Air Quality Management. Sustain 12, (2020).
8. RI, K. K. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL. Ed. Revisi 111 (2022).
9. Kangarlou, M. B., Dehdashti, A. & Saleh, E. A detailed methodology for estimating health-related hazards of workplace exposure to indoor formaldehyde vapours. MethodsX 13, (2024).
10. Seseña, S., Rodríguez, A. M. & Palop, M. L. Indoor air quality analysis in naturally ventilated university training laboratories: a health risk assessment. Air Qual Atmos Heal 15, 1817–37 (2022).
11. Khoshakhlagh, A. H. et al. Health risk assessment from inhalation exposure to indoor formaldehyde: A systematic review and meta-analysis. J Hazard Mater 471, (2024).
12. Palacios, J., Steele, K., Tan, Z. & Zheng, S. Human health and productivity outcomes of office workers associated with indoor air quality: a systematic review. SSRN Electron J (2021).
13. Regia, R. A., Bachtiar, V. S. & Solihin, R. Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan

 ISSN 2828-7592

Particulate Matter 2,5 (PM2,5) Dalam Rumah Tinggal di Perumahan X Kawasan Industri Semen. J Ilmu Lingkung 19, 531–40 (2021).
14. Achmad, A. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan PM2.5 dan Gas Sulfur Dioksida (SO2) pada Pekerja di Unit Produksi PT Semen Tonasa. at (2024).
15. Fikri, E., Rheina Dewi, D. & Juariah, L. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Pajanan PM2.5 dan PM10 Pada Pekerja PT. Beton Elemenindo Perkasa Tahun 2024. J Kesehat. Lingkung Indones 24, 115–22 (2025).
16. Widyaristi, D. Analisis Risiko Pajanan Polusi Udara Dalam Ruang Terhadap Kapasitas Vital Paru Pada Petugas Laboratorium Di Universitas Sriwijaya. Repos Sriwij (2023).
17. Chaiklieng, S., Tongsantia, U. & Autrup, H. N. Risk assessment of inhalation exposure to formaldehyde among workers in medical laboratories. Asia-Pac J Sci Technol 26, (2021).
18. AW, B. Analisis Pajanan Karsinogenik Senyawa Benzena, Toluena, Xilena Terhadap Pekerja Laboratorium PT X Menggunakan Kerangka ARKL. at (2025).
19. Ikhide, B. O. & Onosemuode, C. Integrated risk assessment of laboratory safety compliance: evaluating chemical and microbial exposure in indoor air quality at the Rubber Research Institute of Nigeria. Int J Adv Res 13, 679–90 (2025).
20. Hati, F. I., Puteri, S. N. A. A. & Khairunnisya, S. Airborne Microbial Assessment and Its Implication for Laboratory Safety. J Kesehat 16, 482–91 (2025).
21. SN, S. A., NA, S., NH, M. H. & N, A. Determination of Mold Invasion and Occupants' Respiratory Health in University Laboratories. Aerosol Air Qual Res 24, (2024).
22. Lu, C. Y., Lin, J. M., Chen, Y. Y. & Chen, Y. C. Building-Related Symptoms among Office Employees Associated with Indoor Carbon Dioxide and Total Volatile Organic Compounds. Int J Env. Res Public Heal. 12, 5833–45 (2015).
23. Delviana, F. A. D. & Mariana. Survey of Association Between Indoor CO and CO2 Levels and Symptoms of Sick Building Syndrome Among Employees at Alang-Alang Lebar and Plaju Health Centers. Sriwij J Med 7, 103–12 (2024).
24. Ramli, A., Shamsudin, S. B., Lim, J. F. & Lim, M. C. Occupational Formaldehyde Exposure and the Health Symptoms Among Histopathology Laboratory Workers in North Borneo. Pertanika J Sci Technol 31, 2413–26 (2023).
25. Silvia, S., Goembira, F., Ihsan, T., Lestari, R. A. & Irfan, M. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Pajanan Logam dalam PM 2,5 pada Masyarakat di Perumahan Blok D Ulu Gadut Kota Padang. Dampak 17, 1–10 (2020).
26. Utama, D. A., Diandra, S. G. & Abdullah, Y. A. Evaluation of Indoor Air Quality: A Descriptive Study of PM2.5 Exposure at Building Material Store. Bul Keslingmas 44, 237–45 (2025).
27. Amilang, N. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Particulate Matter (PM2.5) Pada Petugas Terminal Bus Tipe B Tipo Kota Palu. at (2024).
28. Mustață, F. Real-Time Insights into Indoor Air Quality in University Environments: PM and CO2 Monitoring. Atmosphere (Basel). 16, (2025).
29. Mahendra, G., Sofitra, M. & Uslianti, S. Analisis Potensi Bahaya dan Usulan Perbaikan pada Laboratorium Jurusan Teknik Industri dan Teknik Lingkungan Menggunakan Metode HIRARC. J Tek Ind Univ Tanjungpura 9, (2025).