

Tren Pengelolaan Limbah Infeksius dalam Pencegahan Infeksi Nosokomial di Fasilitas Kesehatan: Bibliometrik dan Tinjauan Sistematis

Trends in Infectious Waste Management for Nosocomial Infection Prevention: Bibliometric and Systematic Review

Nur Juliana^{1*}, Firasrudin Rahim, Endang Sri Mulyawati L, Sarniati

¹Fakultas Ilmu Kesehatan, Fakultas Vokasi, Universitas Karya Persada Muna

INFO ARTIKEL

Article History

Received: 01-12-2025

Revised : 15-12-2025

Accepted : 29-12-2025

Published : 1-01-2026

Kata kunci:

Infeksi nosokomial, pengelolaan limbah, bibliometrik, pencegahan infeksi, fasilitas kesehatan

Keyword:

Nosocomial infection, waste management, bibliometric, infection prevention, healthcare facility

ABSTRAK

Latar belakang: Infeksi nosokomial merupakan ancaman global yang diperburuk pengelolaan limbah infeksius tidak memadai, terutama di negara berkembang dengan risiko 25% lebih tinggi.

Metode: Penelitian menggunakan *Systematic Literature Review* dengan analisis bibliometrik. Data dikumpulkan melalui *Publish or Perish* dari Google Scholar, Semantic Scholar, dan Science Direct (2017-2025) dengan kata kunci terkait pengelolaan limbah dan infeksi nosokomial. Dari 85 artikel awal, 23 jurnal final dianalisis menggunakan VOSviewer untuk visualisasi jaringan, *overlay*, dan densitas.

Hasil: Tren publikasi meningkat signifikan pada 2024 (26,1%), didorong respons pasca-pandemi COVID-19. Analisis *co-occurrence* mengidentifikasi empat kluster dominan: manajemen limbah biomedis dan pelatihan SDM, respons pandemi, keberlanjutan lingkungan, serta strategi pengendalian infeksi komprehensif. Temuan menunjukkan efektivitas pengelolaan limbah ditentukan infrastruktur, kapasitas SDM, dan regulasi, dengan kesenjangan implementasi teknologi di negara berkembang.

Kesimpulan: Pengelolaan limbah infeksius untuk pencegahan nosokomial memerlukan pendekatan sistemik yang mengintegrasikan kebijakan berbasis bukti, investasi infrastruktur, penguatan kapasitas SDM, dan adopsi teknologi kontekstual. Kolaborasi multidisiplin dan evaluasi regulasi lokal menjadi kunci keberlanjutan sistem kesehatan.

ABSTRACT

Background: Nosocomial infections represent a global threat exacerbated by inadequate infectious waste management, particularly in developing countries with 25% higher risks.

Methods: This study employed a *Systematic Literature Review* with bibliometric analysis. Data were collected via *Publish or Perish* from Google Scholar, Semantic Scholar, and Science Direct (2017-2025) using keywords related to waste management and nosocomial infections. From 85 initial articles, 23 final journals were analyzed using VOSviewer for network, *overlay*, and density visualizations.

Results: Publication trends peaked significantly in 2024 (26%), driven by post-COVID-19 pandemic responses. *Co-occurrence* analysis identified four dominant clusters: biomedical waste management and staff training, pandemic response, environmental sustainability, and comprehensive infection control strategies. Findings revealed that waste management effectiveness depends on infrastructure, human resource capacity, and regulation, with technology implementation gaps in developing countries.

Conclusion: Infectious waste management for nosocomial infection prevention requires a systemic approach integrating evidence-based policies, infrastructure investment, human resource capacity strengthening, and contextual technology adoption. Multidisciplinary collaboration and local regulation evaluation are essential for sustainable health systems.

Corresponding Author:

Nur Juliana

Email : juli.faidah@gmail.com

Alamat Institusi: Jl. Gambas, Kelurahan Sidodadi, Kecamatan Batalaiworu, Muna, Sulawesi Tenggara

PENDAHULUAN

Infeksi Nosokomial atau *Healthcare-Associated Infections* (HAIs) merupakan ancaman serius bagi keselamatan pasien dan tenaga kesehatan di seluruh dunia, yang sering kali diperburuk oleh pengelolaan limbah infeksius yang tidak memadai. Data WHO, prevalensi HAIs mencapai rata-rata 5-10% pada pasien rawat inap, dengan negara berkembang memiliki risiko 25% lebih tinggi dibandingkan negara maju akibat keterbatasan sumber daya (Abalkhail & Alslamah, 2022). Limbah biomedical yang dihasilkan dari fasilitas kesehatan, jika tidak dikelola dengan benar, berpotensi menjadi reservoir patogen yang menularkan penyakit seperti HIV, Hepatitis, dan infeksi resisten antimikroba kepada masyarakat dan lingkungan (Singh et al., 2024). Oleh karena itu, hubungan antara manajemen limbah infeksius dan pencegahan infeksi nosokomial menjadi fondasi kritis dalam menjamin keamanan layanan kesehatan global.

Pentingnya pengelolaan limbah telah diakui terutama di negara berpenghasilan rendah dan menengah masih menghadapi tantangan infrastruktur dan kepatuhan. Studi di Tanzania menunjukkan bahwa sebagian besar insinerator di fasilitas kesehatan tidak berfungsi dengan baik, yaitu 41,7% di tingkat regional dan 29,6% di tingkat distrik yang operasional, sehingga memicu praktik pembakaran terbuka yang berbahaya (Anicetus et al., 2022). Penelitian lainnya bahwa kepatuhan terhadap protokol pencegahan infeksi sering kali terhambat oleh beban kerja yang tinggi, kurangnya air mengalir untuk higiene, serta minimnya alat pelindung diri (APD) bagi staf pendukung (Zimba et al., 2022). Kesenjangan antara kebijakan dan praktik nyata ini menunjukkan adanya permasalahan sistemik yang memerlukan perhatian mendesak.

Di sisi lain, pemilihan teknologi pengolahan limbah seperti insinerasi, *autoclaving*, dan *recycling* tersedia, namun keputusan pemilihan teknologi sering kali bersifat subjektif dan tidak mempertimbangkan kriteria multi-dimensi secara komprehensif (Anjum et al., 2024). Hal ini menandakan adanya kebutuhan untuk menyelaraskan inovasi teknologi dengan praktik pencegahan infeksi yang ada.

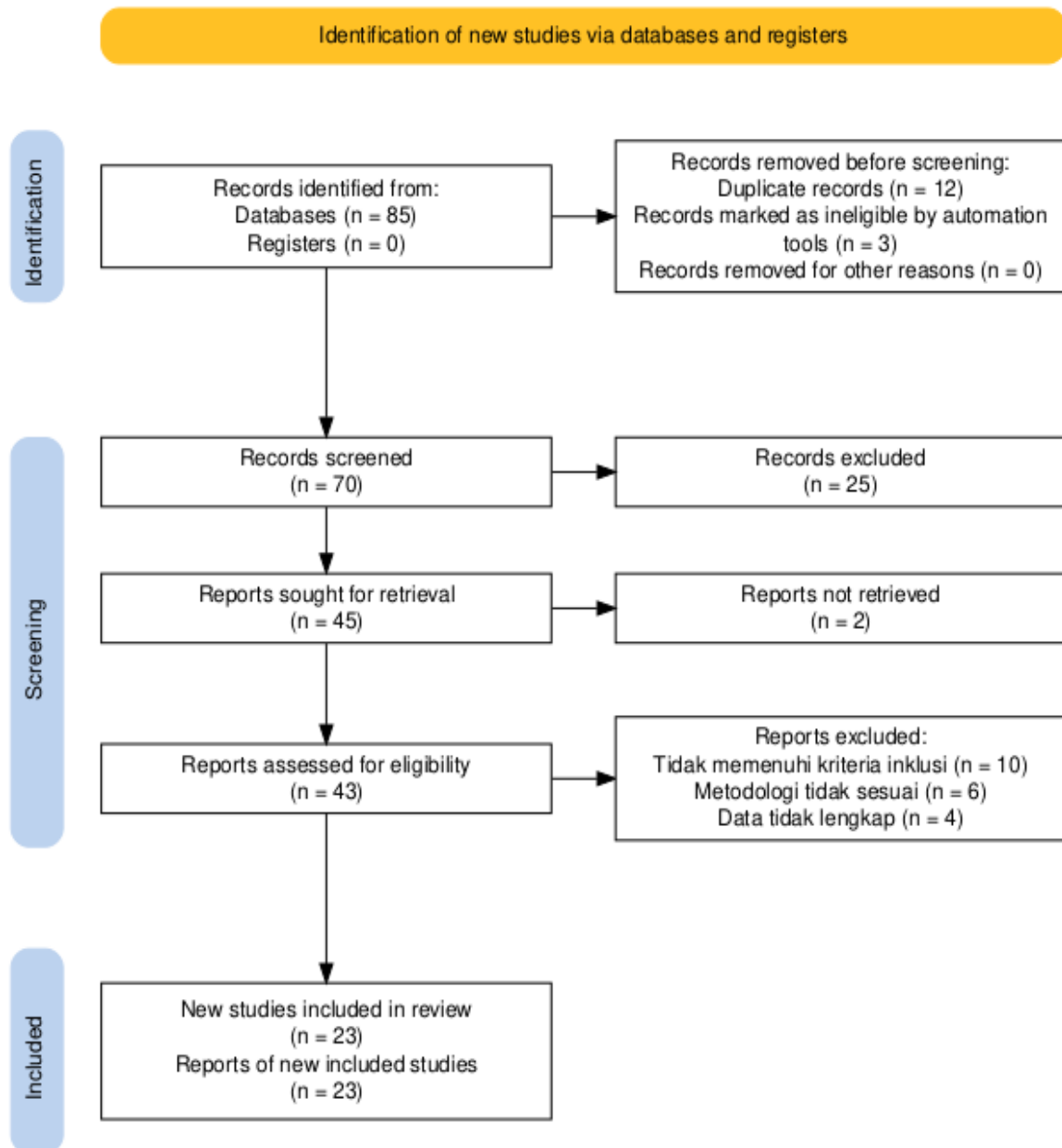
Seiring dengan ancaman resistensi antimikroba (AMR) dan dampak lingkungan dari limbah medis yang tidak tepat guna. Pembuangan limbah yang tidak aman dapat melepaskan bahan kimia beracun dan patogen resisten ke tanah dan air, yang pada akhirnya menghambat upaya pengendalian infeksi efektif (Abalkhail & Alslamah, 2022). Limbah medis yang bersifat infeksius harus dipilah, dikemas, dan dimusnahkan sesuai prosedur standar untuk menghilangkan sifat bahaya dan racunnya, serta kegagalan dalam protokol sanitasi berkontribusi terhadap tingginya angka infeksi nosokomial, sehingga penerapan program sanitasi dan pengelolaan limbah medis yang terencana dan berkelanjutan menjadi tujuan untuk menjamin keselamatan pasien dan keberlanjutan layanan kesehatan (Demo et al., 2025).

Berdasarkan kompleksitas permasalahan dan banyaknya literatur yang tersebar, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis bibliometrik guna memetakan tren dalam pengelolaan limbah infeksius untuk pencegahan infeksi nosokomial. Tujuan bibliometrik digunakan mengidentifikasi klaster topik utama, kolaborasi, serta kesenjangan pengetahuan yang belum terjawab. Dengan memetakan penelitian secara sistematis, studi ini diharapkan dapat memberikan landasan bukti kebijakan dan praktisi kesehatan dalam mengembangkan sistem pengelolaan limbah yang terintegrasi, sebagaimana disarankan dalam kerangka pengambilan keputusan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) dengan analisis bibliometrik untuk memetakan tren penelitian mengenai pengelolaan limbah infeksius dalam pencegahan infeksi nosokomial di fasilitas kesehatan. Pengumpulan data dilakukan melalui aplikasi *Publish or Perish* (PoP) yang mengakses basis data *Google Scholar*, *Semantic Scholar*, dan *Science Direct* dengan kata kunci pengelolaan limbah, infeksius, nosokomial, dan *management waste* pada rentang waktu 2017-2025. Dari 85 artikel awal, dilakukan penyaringan berbasis relevansi dan kredibilitas jurnal, yang kemudian diseleksi lebih lanjut menjadi 23 jurnal final yang memenuhi kriteria inklusi. Data bibliometrik dari artikel terpilih dianalisis menggunakan VOSviewer melalui tiga visualisasi *Network Visualization*, *Overlay Visualization*, dan *Density*

Visualization dengan parameter *occurrence* dan term untuk mengidentifikasi kluster topik, pola kolaborasi, serta evolusi tren penelitian, sehingga menghasilkan sintesis kuantitatif dan kualitatif yang komprehensif sebagai dasar rekomendasi kebijakan dan agenda riset lanjutan.



Gambar 1. Skema Bagan Alir Menggunakan PRISMA

HASIL

Tren Publikasi Berdasarkan Tahun

Pemetaan Sebaran Publikasi Jurnal tren penelitian Pengelolaan Limbah Infeksius dalam Pencegahan Infeksi Nosokomial di Fasilitas Kesehatan berdasarkan Tahun dan Jumlah Publikasi dan Nama Jurnal.

Tabel 1. Distribusi Tren Publikasi jurnal berdasarkan tahun

Tahun	Jumlah Publikasi (n)	Persentase (%)	Nama Jurnal
-------	----------------------	----------------	-------------

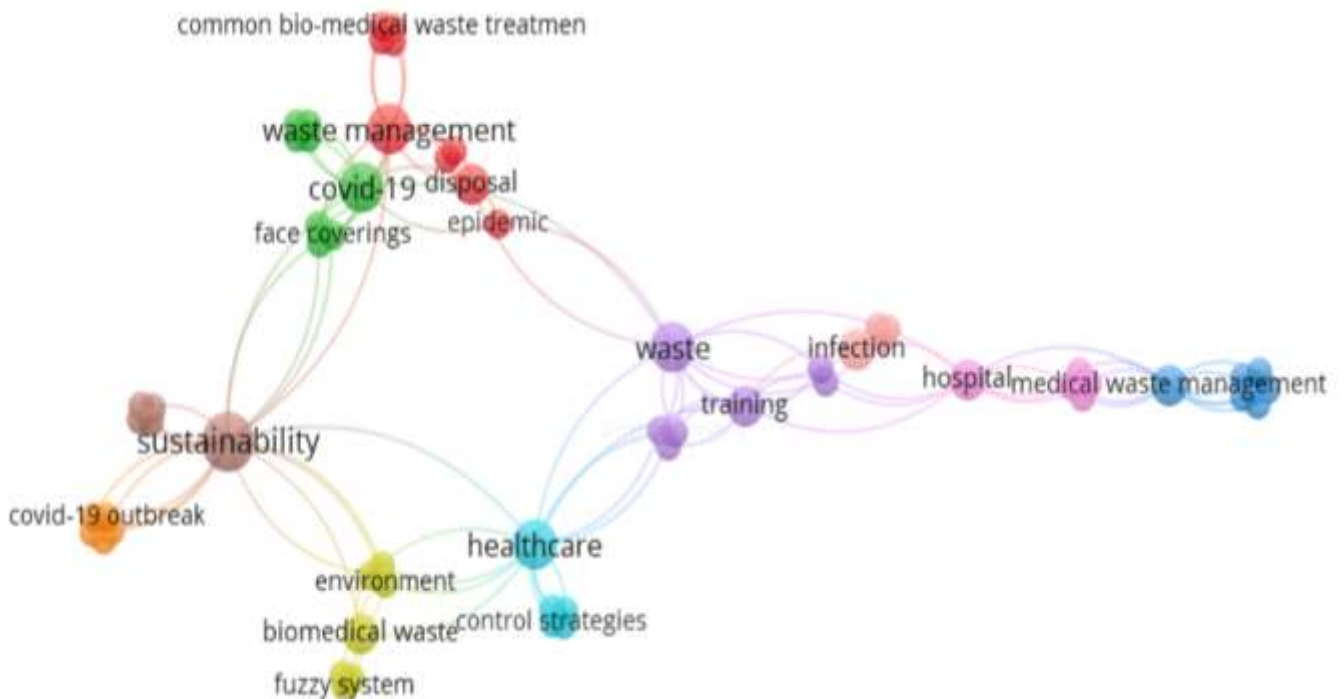
2017	1	4,3	<i>Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine</i>
2018	1	4,3	<i>Le Infezioni in Medicina</i>
2019	1	4,3	<i>Chinese Medical Journal</i>
2020	2	8,7	<i>American Journal of Infection Control</i> <i>Science of the Total Environment</i>
2021	3	13,0	<i>Journal of Infection and Public Health</i> <i>Science of the Total Environment</i> <i>Journal of Cleaner Production</i>
2022	3	13,0	<i>Vaccines</i> <i>Journal of Environmental Protection</i> <i>Human-centric Computing and Information Science</i>
2023	5	21,7	<i>Sustainability</i> <i>Antimicrobial Resistance & Infection Control</i> <i>Journal of Biomedical and Allied Research</i> <i>Jurnal Pelita Teknologi</i> <i>Student's Journal of Health Research Africa</i>
2024	6	26,1	<i>Cleaner and Responsible Consumption</i> <i>Discover Applied Sciences</i> <i>BMC Health Services Research</i> <i>Sustainability</i> <i>Antimicrobial Resistance & Infection Control</i> <i>Newport International Journal of Biological and Applied Sciences</i>
2025	1	4,3	<i>International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies</i>
Jumlah	23	100	

Sumber: Data diolah Microsoft Excel, 2026

Tabel 1, menunjukkan tren publikasi jurnal mengenai pengelolaan limbah infeksius dalam pencegahan infeksi nosokomial menunjukkan peningkatan dari tahun ke tahun, dengan total 23 publikasi yang terdistribusi dari 2017 hingga 2025. Pada periode awal (2017-2019), minat penelitian hanya satu publikasi, namun mulai meningkat pada 2020 dan mengalami lonjakan pada 2023 ada 5 publikasi (21,7%) dan meningkat di 2024 ada 6 publikasi (26,1%). Hal ini dipicu oleh meningkatnya kesadaran global terhadap pengendalian infeksi pasca-pandemi COVID-19. Keragaman nama jurnal mulai dari *American Journal of Infection Control*, *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, hingga *Sustainability* dan *Science of the Total Environment* mencerminkan sifat interdisipliner topik ini yang menghubungkan aspek kesehatan masyarakat, pengendalian infeksi, keberlanjutan lingkungan, dan manajemen fasilitas kesehatan. Beberapa jurnal seperti *Sustainability* dan *Antimicrobial Resistance and Infection Control* yang terbit berulang pada 2023-2024 menunjukkan konsistensi sebagai wadah utama diskusi ilmiah terkait isu tersebut, sementara representasi jurnal dari berbagai kawasan (Asia, Eropa, Afrika) mengindikasikan bahwa tantangan pengelolaan limbah infeksius merupakan isu global yang mendapat perhatian lintas negara.

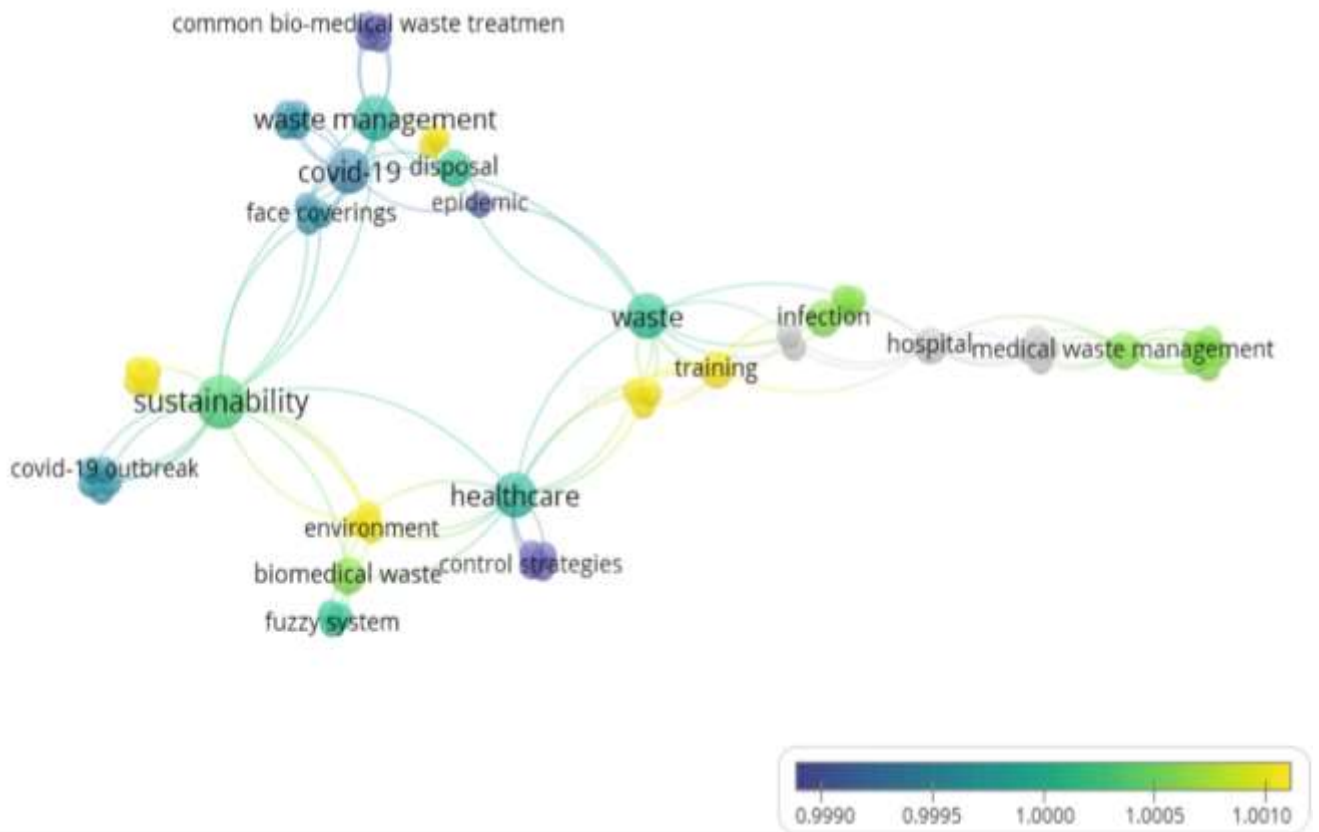
Co-Occurrence

Selain melihat jumlah, tahun penerbitan dan beberapa disiplin ilmu yang dikaji Pengelolaan Limbah Infeksius dalam Pencegahan Infeksi Nosokomial di Fasilitas Kesehatan. Penulis mencoba menggambarkan menggunakan pencarian dalam aplikasi VOSviewer.



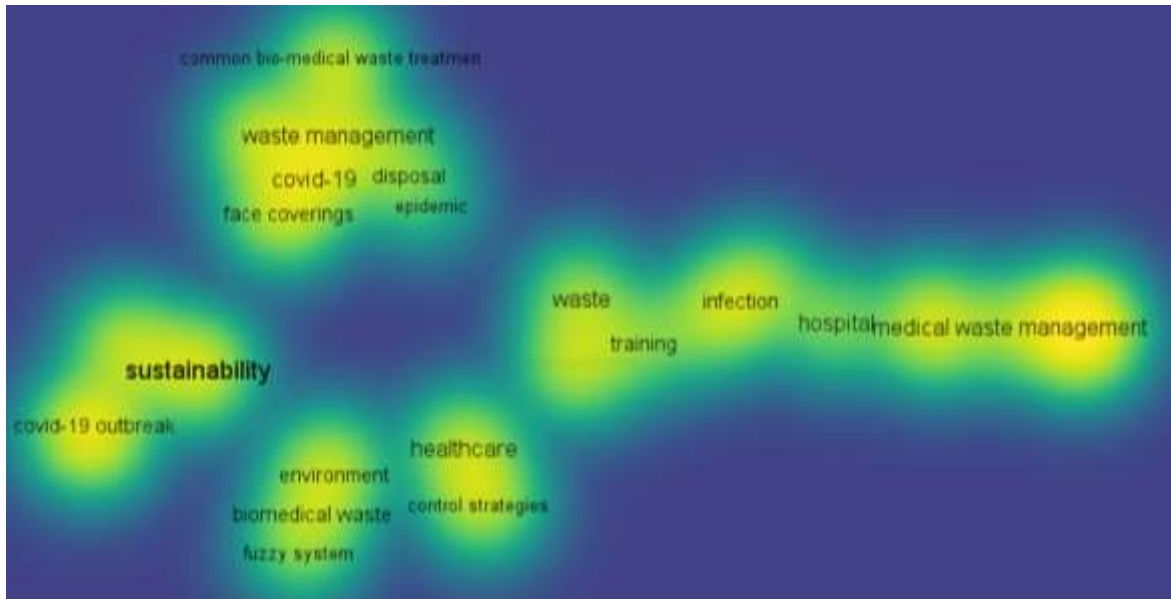
Gambar 2. Visualisasi Jaringan Co-occurrence berdasarkan Kata Kunci Penulis

Gambar 2, menjelaskan bahwa dari visualisasi jaringan *co-occurrence* kata kunci dan pengelompokan cluster yang disajikan berupa tren pengelolaan limbah infeksius dalam pencegahan infeksi nosokomial di fasilitas kesehatan menunjukkan fokus utama pada integrasi antara pengelolaan limbah medis/biomedis (seperti *biomedical waste*, *waste management*, *hospital medical waste management*) dengan aspek pencegahan infeksi (*infection*, *nosocomial infections*, *healthcare acquired infections*, *pathogens*, *infection control*). Pandemi COVID-19 menjadi pendorong signifikan, sehingga koneksi kuat ke kata kunci seperti *covid-19 outbreak*, *covid-19 disposal*, *face coverings*, *epidemic*, dan *pandemic*, yang meningkatkan perhatian terhadap limbah infeksius seperti APD dan sampah terkait virus. Kluster lain menyoroti pendekatan berkelanjutan (*sustainability*), pelatihan petugas (*training*), strategi pengendalian (*control strategies*), serta inovasi teknologi seperti IoT, fuzzy system, dan *Radio Frequency Identification* (RFID) untuk identifikasi serta pengelolaan limbah berbahaya (*hazardous*, *pollution*, *environment*). Secara keseluruhan, tren ini mengarah pada penguatan manajemen limbah infeksius yang holistik, berbasis teknologi dan pelatihan, guna meminimalkan risiko penyebaran infeksi nosokomial di fasilitas kesehatan, terutama pasca pandemi, dengan penekanan pada segregasi, disinfeksi, dan praktik ramah lingkungan di Indonesia maupun konteks global.



Gambar 3. Visualisasi Jaringan berdasarkan *Divide by Mean*

Visualisasi jaringan pada gambar 3 (berdasarkan *Divide by Mean*) dalam VOSviewer ini merupakan bentuk overlay visualization yang memetakan skor (biasanya total *link strength*, *occurrence*, atau metrik relevansi lainnya) pada node-node kata kunci, di mana warna gradasi dari biru (rendah) hingga kuning/hijau (tinggi) menunjukkan nilai relatif setelah dinormalisasi dengan membagi skor setiap item dengan rata-rata skor keseluruhan (*divide by mean*). Normalisasi ini membuat perbandingan antar-kata kunci lebih adil, sehingga node berwarna lebih hangat (kuning/hijau lebih intens) mencerminkan kata kunci yang memiliki kekuatan koneksi atau frekuensi *co-occurrence* secara proporsional lebih tinggi dibandingkan rata-rata. Istilah inti seperti *hospital medical waste management*, *waste management*, *biomedical waste*, *infection*, *training*, dan *sustainability* memiliki skor relatif tinggi (warna lebih cerah). Hal ini menandakan sebagai tema sentral dan paling dominan. Sementara itu, kata kunci terkait COVID-19 (seperti *covid-19 outbreak*, *covid-19 disposal*, *face coverings*) menonjol dengan koneksi kuat, mengindikasikan dampak pandemi yang signifikan meningkatkan perhatian terhadap pengelolaan limbah infeksius. Tren ini menunjukkan bahwa pengelolaan limbah medis infeksius di fasilitas kesehatan semakin terintegrasi dengan aspek pencegahan infeksi nosokomial, keberlanjutan lingkungan, pelatihan, dan strategi pengendalian, dengan pengaruh besar dari era pandemi COVID-19 sebagai pendorong utama penelitian di bidang ini.



Gambar 4. Tema Dominan Penelitian Pengelolaan Limbah Infeksius dalam Pencegahan Infeksi Nosokomial di Fasilitas Kesehatan

Visualisasi gambar 4, bahwa pengelolaan limbah infeksius dalam pencegahan infeksi nosokomial di fasilitas kesehatan menunjukkan empat kluster tema dominan yang saling terkait. Kluster pertama berfokus pada pengelolaan limbah medis dengan penekanan khusus pada limbah bio-medis, pengelolaan limbah rumah sakit, dan aspek pelatihan sebagai komponen penting. Kluster kedua menekankan konteks pandemi COVID-19 yang mencakup pembuangan limbah, penggunaan pelindung wajah, dan wabah penyakit sebagai pemicu utama peningkatan volume limbah infeksius. Kluster ketiga mengangkat isu keberlanjutan (*sustainability*) yang terhubung dengan dampak lingkungan dari limbah bio medis dan sistem pengelolaan berbasis fuzzy. Kluster keempat menyoroti strategi pengendalian di fasilitas kesehatan meliputi pencegahan infeksi, manajemen rumah sakit, dan strategi pengendalian kesehatan secara komprehensif. Secara keseluruhan, literatur di bidang ini menunjukkan pergeseran dari pendekatan pengelolaan limbah konvensional menuju sistem yang lebih terintegrasi, berkelanjutan, dan responsif terhadap krisis kesehatan masyarakat.

Tabel 2. Daftar Jurnal Pengelolaan Limbah Infeksius dalam Pencegahan Infeksi Nosokomial di Fasilitas Kesehatan

No.	Nama, Tahun	Fokus Penelitian	Pengelolaan Limbah Infeksius	Temuan Penelitian
1	(Abalkhail & Alslamah, 2022)	Praktik Pencegahan dan Pengendalian Infeksi (IPC) selama pandemi di setting sumber daya terbatas.	Pembakaran terbuka (<i>open burning</i>), pembuangan tidak proper, kurangnya pemisahan limbah, kurangnya wadah tajam.	Pengelolaan limbah yang buruk mengancam keselamatan penyedia layanan, pasien, dan masyarakat. Pembakaran terbuka emisi gas beracun. Kurangnya pelatihan, sumber daya, dan kesadaran staf.
2	(Anicetus et al., 2022)	Kinerja Faskes dalam pengelolaan limbah aman	Insinerasi (sering tidak berfungsi), pembakaran lubang terbuka, segregasi <i>warm</i>	64,3% faskes patuh protokol segregasi. Banyak insinerator tidak berfungsi (82,1% tingkat regional). Kurangnya APD bagi penanganan limbah. Penanganan limbah tidak sesuai harapan.
3	(Motta, 2018)	Strategi baru mengontrol proliferasi	Penggunaan Sodium Dichloroisocyanurate (NaDCC)	NaDCC menghambat total pertumbuhan mikroba (0 CFU) untuk <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>A. brasiliensis</i>

		mikroorganisme dalam limbah padat rumah sakit dan difusi infeksi nosokomial.	dalam fase gas di dalam tempat sampah limbah padat.	selama 5 hari. Konsentrasi klorin stabil (2.0 g/m ³).
4	(Janmaimool et al., 2024)	Persepsi risiko kesehatan terhadap perilaku pengelolaan limbah	Minimisasi limbah, kesadaran koleksi, dan segregasi limbah infeksius	Persepsi tingkat keparahan ancaman ekologis terhadap kesehatan manusia signifikan mempengaruhi minimisasi dan segregasi limbah. Usia dan pendidikan berpengaruh positif.
5	(Singh et al., 2024)	Aspek pengelolaan limbah biomedis	Insinerasi, <i>autoclaving</i> , desinfeksi kimia, <i>landfill</i>	Pengelolaan yang tidak tepat berbahaya bagi kesehatan. Kebijakan perlu diperbarui secara berkala. Kolaborasi antara rumah sakit, laboratorium, dan staf riset sangat vital.
6	(Tiruneh et al., 2024)	Praktik pengelolaan limbah padat layanan kesehatan	Insinerasi (tungku bata/drum), pembuangan terbuka	Praktik segregasi buruk, ketersediaan APD dan fasilitas cuci tangan rendah. Tingkat cedera tertusuk jarum tinggi. Insinerator tidak memenuhi standar minimum
7	(Anjum et al., 2024)	Pemilihan teknologi pengobatan limbah terbaik	<i>Recycling, Landfilling, Autoclaving, Microwaving, Incineration</i>	Recycling (A15) adalah opsi terbaik karena mengurangi sampah dan memulihkan sumber daya. Peringkat: A15 > A14 > A13 > A11 > A12.
8	(Bannour et al., 2024)	Dampak pelatihan edukasi terhadap keterampilan	Sorting (pemilahan warna), packaging, koleksi intra-layanan, penggunaan container tajam berwarna.	Pelatihan meningkatkan kepatuhan pemilahan (<i>sharps and solid waste</i>) secara signifikan. Masih ada kekurangan dalam labeling dan traceability waktu koleksi.
9	(Mohamed et al., 2023)	Modernisasi pengelolaan limbah medis	<i>Internet of Things (IoT)</i> dalam pemantauan limbah	IoT berpotensi meningkatkan proses pemantauan limbah medis dan membantu mencapai tujuan net-zero
10	(Browne & Mitchell, 2023)	Pengelolaan limbah melalui kebersihan lingkungan	Multimodal <i>cleaning</i> strategis	Menekankan pentingnya intervensi kebersihan lingkungan untuk mengurangi infeksi
11	(Choi et al., 2021)	Pengendalian infeksi yang terkait dengan pengelolaan limbah medis, khususnya selama pandemi COVID-19.	pengawasan dan audit selama dua fase, di mana fase pertama berfokus pada pelanggaran di lapangan dan fase kedua adalah penegakan standar melalui inspeksi unit.	Hasil 127 pelanggaran dari observasi; praktik kebersihan tangan paling tinggi. Hasil menunjukkan bahwa kebersihan tangan dan manajemen limbah medis memiliki tingkat pelanggaran tertinggi, yang menunjukkan perlunya peningkatan kesadaran dan pelatihan bagi pekerja kesehatan.
12	(Edwin, 2024)	Pengendalian Infeksi di Rumah Sakit	<i>Hand washing, Waste segregation</i>	Hasil 76% merasa cukup pengetahuan tentang pengendalian infeksi; 44% mendapatkan pelatihan dalam 6 bulan terakhir; banyak tantangan dalam praktik mencuci tangan dan pengelolaan limbah

13	(Srova et al., 2025)	Kesadaran Tenaga Kesehatan Mengenai Pengelolaan Limbah Biomedis	Pengelolaan limbah biomedis (BMW) untuk mencegah infeksi nosokomial	Hasil 96,6% tenaga kesehatan mendengar tentang BMW; 75,4% telah mendapatkan pelatihan; 93,63% mengetahui bin berwarna untuk pengumpulan limbah
14	(Su et al., 2019)	Strategi manajemen infeksi di ICU berbasis pencegahan dan pengendalian infeksi nosokomial	<ul style="list-style-type: none"> - Protokol BEAT-Hands (Body, Environment, Air, Throat + Hand hygiene) - Penutupan akses masuk bakteri, reduksi beban bakteri Drainase dan isolasi fokus infeksi - Pembedahan kolonisasi vs infeksi untuk hindari penggunaan antibiotik berlebihan - Kebersihan lingkungan, udara, dan tangan sebagai kunci pencegahan 	<ul style="list-style-type: none"> - Deteksi dini lesi infeksius dan terapi antibiotik empiris dalam 1 jam sangat kritis - Ultrasonografi lebih unggul dari X-ray untuk diagnosis infeksi paru - Karakteristik patogen berbeda memerlukan pendekatan spesifik (Gram-negatif, Gram-positif, jamur, atipikal) - Pencegahan infeksi nosokomial lebih penting daripada penggunaan antibiotik berlebihan - Empat strategi utama: tutup akses, drainase, isolasi, bedakan kolonisasi-infeksi
15	(Wawale et al., 2022)	Manajemen limbah biomedis menggunakan integrasi sistem IoT dan klasifikasi fuzzy untuk pelacakan, segregasi, dan disposisi limbah yang efektif	Sistem fuzzy 4 parameter; RFID/GPS tracking	Sistem mampu melacak limbah secara real-time dari sumber hingga disposisi; Klasifikasi fuzzy meningkatkan akurasi kategorisasi limbah (P2 prioritas 80-90%); Mengurangi kesalahan manusia, <i>paperwork</i> , dan biaya operasional Memberikan alert sistem untuk limbah berbahaya/radioaktif
16	(Sharafi, 2023)	Limbah infeksius nosokomial melalui penggunaan kantong liner sekali pakai	Penggunaan kantong liner sekali pakai vs. kanister permanen	Penggunaan kantong sekali pakai menurunkan infeksi rumah sakit dan konsumsi sumber daya
17	(Peng et al., 2020)	Praktik pengelolaan limbah medis selama pandemi COVID-19	Pengelolaan terpisah, Sterilisasi, Insinerasi	Pengurangan waktu disposisi limbah COVID-19 hampir 2 jam dan jarak transportasi berkurang 1.000 meter; tidak ada infeksi nosokomial terjadi.
18	(Ilyas et al., 2020)	Pengelolaan limbah medis COVID-19	Disinfeksi menggunakan berbagai teknologi (incineration, pyrolysis, microwave, dan chemical)	Penanganan <i>Covid-waste</i> diperlukan untuk mengurangi risiko kesehatan dan lingkungan, serta tips kebijakan untuk manajemen limbah
19	(Khan et al., 2017)	Infeksi nosokomial: epidemiologi, pencegahan, kontrol, dan surveilans	Praktik kontrol infeksi, kebijakan penggunaan antibiotik	Sekitar 15% dari semua pasien yang dirawat di rumah sakit terkena infeksi nosokomial. 7% di negara maju dan 10% di negara berkembang.
20	(Rowan & Laffey, 2021)	PPE & limbah medis	Insinerasi tinggi, disinfeksi kimia, microwave, plasma	VH ₂ O ₂ (30-35%), UVGI (2000 mJ/cm ²), dan panas lembap (60°C, 60 menit) efektif untuk dekontaminasi PPE; Masker kain dapat didekontaminasi dengan mesin cuci 60°C + deterjen; PPE plastik sekali pakai meningkatkan polusi lingkungan; Bioplastik berpotensi sebagai alternatif

				berkelanjutan; Penerimaan HCW terhadap PPE daur ulang memerlukan pendekatan social marketing
21	(Thakur, 2021)	Menganalisis dimensi keberlanjutan pengelolaan limbah layanan kesehatan (HCWM) selama pandemi COVID-19 menggunakan pendekatan makro-lingkungan	PESTEL Analysis, TISM (Total Interpretive Structural Modeling), Fuzzy-MICMAC	Identifikasi 17 dimensi PESTEL untuk HCWM berkelanjutan Fokus pada pengumpulan, segregasi, transportasi, dan disposisi limbah infeksius dari pasien COVID-19 Penerapan teknologi insinerasi dan sistem pelacakan rantai pasok
22	(Alfarizky et al., 2023)	Evaluasi kesesuaian dan strategi pengelolaan limbah medis infeksius di rumah sakit	Analisis <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i> (SWOT); Evaluasi pengelolaan limbah medis infeksius berdasarkan Permenkes RI No. 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit	Penelitian ini berfokus spesifik pada limbah medis kategori infeksius, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang membahas limbah B3 secara umum atau seluruh jenis limbah medis; juga menekankan evaluasi terhadap regulasi terbaru (Permenkes No. 7/2019)
23	(Mazzi Juliet & Namutebi, 2023)	Pengetahuan, Sikap, dan Praktik (KAP) tenaga kesehatan terkait pencegahan dan pengendalian infeksi nosokomial	Pemilahan limbah medis sesuai panduan WHO Penggunaan tempat sampah berkode warna Pembuangan benda tajam dalam <i>safety box</i> (80%) 60% melakukan pemilahan limbah sebelum pembuangan	Hasil 94% responden pernah mendengar infeksi nosokomial; 60% menyebut infeksi blood-borne paling umum; 78% menyebut pasien sebagai sumber utama HAI; 80% merasa bekerja di RS berisiko infeksi; 78% menilai APD esensial; Hanya 40% cuci tangan sebelum prosedur aseptik; Pengetahuan cukup, namun sikap dan praktik masih substandar

PEMBAHASAN

Analisis bibliometrik terhadap 23 publikasi ilmiah periode 2017-2025 mengungkapkan dinamika penelitian pengelolaan limbah infeksius dalam pencegahan infeksi nosokomial yang semakin intensif, khususnya pasca-pandemi COVID-19. Lonjakan publikasi pada tahun 2024 (26,0%) mengonfirmasi bahwa krisis kesehatan global telah menjadi katalisator utama bagi peneliti untuk mengkaji integrasi antara manajemen limbah medis dan protokol pengendalian infeksi. Tren positif yang konsisten dari 2021-2024 merefleksikan respons akademis terhadap kebutuhan adaptasi sistem kesehatan dalam menghadapi tantangan limbah infeksius yang meningkat secara eksponensial selama masa wabah (Ilyas et al., 2020; Peng et al., 2020)

Visualisasi *co-occurrence* melalui VOSviewer mengidentifikasi empat kluster tematik dominan yang saling berinteraksi: (1) pengelolaan limbah biomedis dan pelatihan tenaga kesehatan, (2) respons pandemi COVID-19 dan disposisi limbah infeksius, (3) keberlanjutan lingkungan dan inovasi teknologi, serta (4) strategi pengendalian infeksi komprehensif di fasilitas kesehatan. Integrasi kata kunci seperti *biomedical waste*, *infection control*, *sustainability*, dan *IoT* menunjukkan pergeseran paradigma dari pendekatan konvensional menuju sistem manajemen limbah yang holistik, berbasis teknologi, dan berorientasi pada pencegahan sekunder infeksi nosokomial (Wawale et al., 2022) (Mohamed et al., 2023). Temuan ini sejalan dengan analisis *overlay visualization* yang menempatkan *hospital medical waste management*, *training*, dan

sustainability sebagai node dengan *total link strength* tertinggi, mengindikasikan posisi sentral ketigakonsept tersebut dalam diskursus ilmiah terkini.

Tinjauan terhadap 23 studi empiris mengungkapkan bahwa efektivitas pengelolaan limbah infeksius sangat bergantung pada tiga pilar utama: infrastruktur, kapasitas sumber daya manusia, dan regulasi. Studi di negara berkembang seperti Tanzania dan Ethiopia melaporkan bahwa ketidakfungsian insinerator (82,1%), rendahnya kepatuhan segregasi (64,3%), serta keterbatasan APD menjadi hambatan struktural utama dalam implementasi protokol IPC (Anicetus et al., 2022) (Tiruneh et al., 2024). Di sisi lain, inovasi teknologi seperti sistem IoT berbasis RFID dan klasifikasi *fuzzy* terbukti meningkatkan akurasi pelacakan limbah hingga 80-90% serta mengurangi *human error* dalam kategorisasi limbah berbahaya (Wawale et al., 2022). Namun, adopsi teknologi ini masih terbatas pada fasilitas kesehatan dengan kapasitas finansial memadai, sehingga memperlebar kesenjangan implementasi antara negara maju dan berkembang (Mohamed et al., 2023)

Aspek pelatihan dan edukasi muncul sebagai variabel moderating yang signifikan dalam meningkatkan kepatuhan praktik pengelolaan limbah. Intervensi pelatihan terstruktur dilaporkan meningkatkan kepatuhan pemilahan limbah secara signifikan, meskipun tantangan persisten pada *labeling* dan *traceability* masih memerlukan perhatian lebih (Bannour et al., 2024). Temuan serupa meskipun >75% tenaga kesehatan telah menerima pelatihan, kesenjangan antara pengetahuan dan praktik tetap tinggi, terutama dalam kepatuhan cuci tangan dan penggunaan *safety box* (Alfarizky et al., 2023; Mazzi Juliet & Namutebi, 2023). Hal ini mengindikasikan bahwa pelatihan satu kali (*one-off training*) tidak cukup; diperlukan program edukasi berkelanjutan (*continuous medical education*) yang terintegrasi dengan sistem supervisi dan insentif kinerja.

Dari perspektif keberlanjutan, studi penelitian (Anjum et al., 2024; Thakur, 2021) menekankan pentingnya pendekatan *multi-criteria decision-making* dalam memilih teknologi pengolahan limbah yang tidak hanya efektif secara klinis, tetapi juga ramah lingkungan dan ekonomis. Pilihan *recycling* dan penggunaan bioplastik untuk APD dinilai memiliki potensi tinggi dalam mendukung target *net-zero emission*, meskipun memerlukan validasi empiris lebih lanjut terkait risiko kontaminasi silang (Rowan & Laffey, 2021). Integrasi analisis PESTEL dan *fuzzy-MICMAC* juga direkomendasikan untuk memetakan interdependensi faktor politik, ekonomi, sosial, teknologi, lingkungan, dan hukum dalam merancang kebijakan pengelolaan limbah yang adaptif terhadap dinamika krisis kesehatan (Thakur, 2021).

KESIMPULAN DAN SARAN

Tren pengelolaan limbah infeksius untuk pencegahan infeksi nosokomial kini telah bergeser dari pendekatan yang bersifat teknis-operasional menuju sistem terintegrasi yang mensinergikan aspek teknologi, sumber daya manusia, regulasi, dan keberlanjutan lingkungan. Pandemi COVID-19 turut mendorong percepatan kajian terkait penanganan limbah dalam jumlah besar serta adaptasi protokol pencegahan dan pengendalian infeksi (IPC). Efektivitas pencegahan infeksi nosokomial tidak dapat dicapai melalui satu intervensi saja, melainkan memerlukan pendekatan sistemik yang memadukan kebijakan berbasis bukti, investasi infrastruktur, peningkatan kapasitas tenaga kesehatan, serta penerapan teknologi yang sesuai dengan konteks lokal.

Adapun saran yaitu penerapan model pengelolaan limbah infeksius yang adaptif, khususnya untuk fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas; integrasi sistem digital seperti *Internet of Things* (IoT) dan *Radio Frequency Identification* (RFID) dengan protokol manual, yang diperkuat melalui mekanisme audit berkala; penyempurnaan regulasi berbasis standar fleksibel yang disertai insentif fiskal untuk mendorong adopsi teknologi ramah lingkungan; penguatan kolaborasi multidisiplin dalam pengembangan model prediktif berbasis *big data* guna mengantisipasi risiko infeksi nosokomial; dan pengembangan modul pelatihan yang

mengintegrasikan kearifan lokal untuk meningkatkan partisipasi aktif tenaga kesehatan dalam praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim peneliti, institusi pendukung, dan database ilmiah yang telah menyediakan sumber daya dan informasi penting bagi kelancaran penelitian ini. Terimakasih juga kepada para editor dan reviewer yang telah memberikan masukan berharga untuk penyempurnaan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abalkhail, A., & Alslamah, T. (2022). Institutional Factors Associated with Infection Prevention and Control Practices Globally during the Infectious Pandemics in Resource-Limited Settings. In *Vaccines* (Vol. 10, Number 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/vaccines10111811>
- Alfarizky, A., Yanova, S., Viareco, H., Lingkungan, T., Sains, F., Jambi Muaro Jambi, U., & Korespondensi, I. (2023). Strategi Pengelolaan Limbah Infus Infeksius di Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) H. Abdul Manap Kota Jambi Abstrak Informasi Artikel. *Jurnal Pelita Teknologi*, *18*(1), 24–32.
- Anicetus, H., Manyele, S., Saria, J., Habtu, M., Saguti, G. E., Yoti, Z., Kiyunge, A., & Subi, L. (2022). Performance of Healthcare Facilities of Different Levels towards Safe Healthcare Waste Management as Linked to Infection Prevention and Control Standards in Tanzania. *Journal of Environmental Protection*, *13*(10), 732–749. <https://doi.org/10.4236/jep.2022.1310047>
- Anjum, M., Min, H., & Ahmed, Z. (2024). Healthcare Waste Management through Multi-Stage Decision-Making for Sustainability Enhancement. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(11). <https://doi.org/10.3390/su16114872>
- Bannour, R., Cheikh, A. Ben, Bhiri, S., Ghali, H., Khefacha, S., Rejeb, M. Ben, & Laatiri, H. S. (2024). Impact Of An Educational Training About Healthcare Waste Management On Practices Skills Of Healthcare Workers: A Preexperimental Study In A Tertiary Tunisian Hospital. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, *13*(1). <https://doi.org/10.1186/s13756-024-01446-w>
- Browne, K., & Mitchell, B. G. (2023). Multimodal Environmental Cleaning Strategies To Prevent Healthcare-Associated Infections. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, *12*(1). <https://doi.org/10.1186/s13756-023-01274-4>
- Choi, U. Y., Kwon, Y. M., Kang, H. J., Song, J. H., Lee, H. Y., Kim, M. S., Kahm, S. H., Kwon, J. Y., Kim, S. H., Lee, S. H., Choi, J. H., & Lee, J. (2021). Surveillance Of The Infection Prevention And Control Practices Of Healthcare Workers By An Infection Control Surveillance-Working Group And A Team Of Infection Control Coordinators During The COVID-19 Pandemic. *Journal of Infection and Public Health*, *14*(4), 454–460. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.01.012>
- Demo, J. S. G., Ayu, N. F., Rahayu, S. T., Juliana, N., Nursetiawan, Sudirman, F., Azis, W. A., Suma, J., Miswan, Laelasari, E., & Salmawati. (2025). *Sanitasi Rumah Sakit*. Bandung: Media Sains Indonesia.
- Edwin, N. (2024). Assessment of Hospital Infection Prevention and Control Practices: Insights from Kampala International University Teaching Hospital, Ishaka, Uganda. *International Journal Of Biological And Applied Sciences (NIJBAS)*. <https://doi.org/10.59298/NIJBAS/2024/5.1.11811>

- Ilyas, S., Srivastava, R. R., & Kim, H. (2020). Disinfection Technology And Strategies For COVID-19 Hospital And Bio-Medical Waste Management. *Science of the Total Environment*, 749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141652>
- Janmaimool, P., Chontanawat, J., & Chudech, S. (2024). The Effects Of Perceptions Of Environmental Health Risk And Environmental Risk On Sustainable Infectious Waste Management Behaviours Among Citizens In Bangkok, Thailand. *Cleaner and Responsible Consumption*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2024.100175>
- Khan, H. A., Baig, F. K., & Mehboob, R. (2017). Nosocomial infections: Epidemiology, prevention, control and surveillance. In *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* (Vol. 7, Number 5, pp. 478–482). Hainan Medical University. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.01.019>
- Mazzi Juliet, B., & Namutebi, F. (2023). Knowledge, Attitude And Practices On Nosocomial Infection Prevention And Control Amongst Health Workers In Mubende Regional Referral hospital, Mubende District. A Cross-Sectional Study. *Student's Journal of Health Research Africa*, 4(12). <https://doi.org/10.51168/sjhrafrika.v4i12.813>
- Mohamed, N. H., Khan, S., & Jagtap, S. (2023). Modernizing Medical Waste Management: Unleashing the Power of the Internet of Things (IoT). In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Number 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su15139909>
- Motta, O., Z. I., C. R., C. M., & D. C. (2018). A New Strategy To Control The Proliferation Of Microorganisms In Solid Hospital Waste And The Diffusion Of Nosocomial Infections. *Infez Med*, 26(3), 210–215.
- Peng, J., Wu, X., Wang, R., Li, C., Zhang, Q., & Wei, D. (2020). Medical Waste Management Practice During The 2019-2020 Novel Coronavirus Pandemic: Experience In A General Hospital. *American Journal of Infection Control*, 48(8), 918–921. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.05.035>
- Rowan, N. J., & Laffey, J. G. (2021). Unlocking The Surge In Demand For Personal And Protective Equipment (PPE) And Improvised Face Coverings Arising From Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic – Implications For Efficacy, Re-Use And Sustainable Waste Management. In *Science of the Total Environment* (Vol. 752). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142259>
- Sharafi, N. (2023). Improving the Environmental Effects of Nosocomial Infectious Effluents by Using Disposable Suction Liner Bags. *Journal of Biomedical and Allied Research*. [https://doi.org/10.37191/mapsci-2582-4937-5\(2\)-036](https://doi.org/10.37191/mapsci-2582-4937-5(2)-036)
- Singh, H., YT, K., Mishra, A. K., Singh, M., Mohanto, S., Ghumra, S., Seelan, A., Mishra, A., Kumar, A., Pallavi, J., Ahmed, M. G., Sangeetha, J., & Thangadurai, D. (2024). Harnessing The Foundation Of Biomedical Waste Management For Fostering Public Health: Strategies And Policies For A Clean And Safer Environment. In *Discover Applied Sciences* (Vol. 6, Number 3). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05735-2>
- Srova, Dr. R., Sachdeva, Dr. T., Lovedeep, Dr., & Shahi, A. (2025). Awareness of Healthcare Workers Regarding Biomedical Waste Management (BMW) at Guru Gobind Singh Medical College, Faridkot (Punjab). *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*, 5(3), 368–373. <https://doi.org/10.62225/2583049x.2025.5.3.4236>
- Su, L. X., Wang, X. T., Pan, P., Chai, W. Z., & Liu, D. W. (2019). Infection Management Strategy Based On Prevention And Control Of Nosocomial Infections In Intensive Care Units. In *Chinese Medical Journal* (Vol. 132, Number 1, pp. 115–119). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/CM9.000000000000029>

- Thakur, V. (2021). Framework For PESTEL Dimensions Of Sustainable Healthcare Waste Management: Learnings From COVID-19 Outbreak. *Journal of Cleaner Production*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125562>
- Tiruneh, Y. A., Modiba, L. M., & Zuma, S. M. (2024). Solid Health Care Waste Management Practice In Ethiopia, A Convergent Mixed Method Study. *BMC Health Services Research*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-024-11444-8>
- Wawale, S. G., Shabaz, M., Mehbodniya, A., Soni, M., Deb, N., Elashiri, M. A., Dwivedi, Y. D., & Naved, M. (2022). Biomedical Waste Management Using IoT Tracked and Fuzzy Classified Integrated Technique. *Human-Centric Computing and Information Sciences*, 12. <https://doi.org/10.22967/HGIS.2022.12.032>
- Zimba, M. M., Dorothy, C. O., Mulubwa, C., & Ngoma-Hazemba, A. (2022). Infection Prevention and Control practices; an exploratory qualitative study of experiences of health care providers and support staff at the University Teaching Hospital, Lusaka, Zambia. *MedRxiv*, 2022-2023.