

Analisis Faktor Lingkungan Fisik Sebagai Determinan Transmisi Infeksi Nosokomial Di Rumah Sakit: Tinjauan Sistematis

*Intan Sekar Arumdani ¹, Dwi Fitriani²

¹ Administrasi Rumah Sakit, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Safin Pati, Indonesia

²Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sriwijaya, Indonesia

Correspondence

Address: Jl.Raya Pati - Tayu No.Km 13, Kabupaten Pati, Jawa Tengah, Indonesia | e-mail: intansekar28@gmail.com | Phone Number: +6282354768928

Indexing

Keyword:

Environmental factors;
Healthcare-associated infections (HAIs);
Hospital hygiene;
Nosocomial infections;
systematic review.

Kata kunci:

Faktor lingkungan;
Healthcare-associated infections (HAIs);
Higiene rumah sakit;
Infeksi nosokomial;
tinjauan sistematis.

Submitted: 25 Januari 2026

Revised: 8 Maret 2026

Accepted: 26 Maret 2026

Abstract

Background: Healthcare-associated infections (HAIs) constitute a significant global health challenge, exacerbating morbidity, mortality, and economic burdens. The hospital environment encompassing air quality, water systems, surface contamination, and building design serves as a potential pathogen reservoir and a primary transmission pathway. With HAI prevalence ranging from 3.0% to 20.7% and incidence rates between 5% and 10%,

Aims: this study aims to synthesize scientific evidence from observational studies regarding the influence of environmental factors on the incidence of nosocomial infections..

Methods: This systematic review was conducted in adherence to the PRISMA guidelines. A comprehensive literature search was performed across ScienceDirect, ProQuest, JSTOR, Scopus, Sinta, PubMed, Google Scholar, and Portal Garuda databases. The inclusion criteria prioritized observational studies addressing environmental factors and HAIs. Study quality was evaluated using relevant critical appraisal instruments, followed by a qualitative synthesis of the data.

Results: Thirteen articles met the inclusion criteria. The synthesis indicates that poor air quality, high levels of surface contamination, unmanaged water systems, and suboptimal ward design are significantly correlated with an increased risk of nosocomial infections.

Conclusion: Environmental factors are critical determinants in the transmission of infections within hospital settings. The implementation of strict disinfection protocols, improvements in ventilation systems, and facility designs grounded in infection prevention principles are paramount to enhancing patient safety and ensuring cost-efficiency in healthcare.

Abstrak

Latar belakang: Infeksi nosokomial masih menjadi tantangan kesehatan global yang signifikan dengan tingkat insiden berkisar antara 5% hingga 10% dan prevalensi mencapai 20,7%. Meskipun protokol klinis telah diterapkan, lingkungan fisik rumah sakit seperti kualitas udara, sistem air, kontaminasi permukaan, dan desain bangunan seringkali menjadi reservoir patogen mendukung jalur transmisi utama.

Tujuan: Tinjauan sistematis ini bertujuan untuk mensintesis bukti ilmiah dari studi observasional mengenai pengaruh faktor lingkungan terhadap kejadian infeksi nosokomial di rumah sakit.

Metode: tinjauan sistematis ini dilakukan sesuai protokol PRISMA. Pencarian literatur dilakukan pada database ScienceDirect, ProQuest, JSTOR, Scopus, Sinta, PubMed, Google Scholar, dan Portal Garuda. Kriteria inklusi meliputi studi observasional yang membahas faktor lingkungan dan HAIs. Kualitas studi dinilai menggunakan instrumen penilaian kritis yang relevan, diikuti dengan sintesis kualitatif.

Hasil: Sebanyak 13 artikel memenuhi kriteria inklusi. Kualitas udara yang buruk, kontaminasi permukaan yang tinggi, sistem air yang tidak terkelola, serta desain bangsal yang suboptimal memiliki korelasi signifikan dengan peningkatan risiko infeksi nosokomial.

Kesimpulan: Faktor lingkungan merupakan determinan kritis dalam penyebaran infeksi di rumah sakit. Implementasi protokol disinfeksi yang ketat, perbaikan sistem ventilasi, dan desain fasilitas yang berbasis pencegahan infeksi sangat penting untuk meningkatkan keselamatan pasien serta efisiensi biaya perawatan.

PENDAHULUAN

Infeksi nosokomial, atau *healthcare-associated infections* (HAIs), didefinisikan sebagai infeksi yang didapatkan pasien selama proses perawatan kesehatan yang tidak ada atau tidak dalam masa inkubasi saat masuk rumah sakit (Tobin & Zahra., 2025). Definisi ini dapat muncul 48 jam setelah admisi atau bahkan setelah pasien pulang. HAIs juga mencakup infeksi yang memengaruhi staf rumah sakit (Nur et al., 2025). HAIs merupakan masalah kesehatan masyarakat yang signifikan secara global, dengan prevalensi bervariasi antara 3,0% hingga 20,7% dan tingkat insiden 5% hingga 10%. Di negara maju, sekitar 7 dari 100 pasien rawat inap terinfeksi, sementara di negara berkembang angkanya bisa mencapai 10 dari 100 pasien. (Sandu et al., 2025). Kasus Hais di Amerika Serikat mencapai 1,7 juta setiap tahun, menyebabkan atau berkontribusi pada 99.000 kematian, di Eropa, infeksi Gram-negatif diperkirakan menyebabkan dua pertiga dari 25.000 kematian setiap tahunnya (Moameri et al., 2025).

Dampak klinis HAIs sangat luas, mencakup peningkatan morbiditas, mortalitas, dan beban ekonomi yang signifikan pada sistem perawatan kesehatan.¹ Komplikasi umum meliputi sepsis, endokarditis, osteomielitis, gagal ginjal, pneumonia terkait ventilator (VAP), infeksi aliran darah terkait jalur sentral (CLABSI), infeksi saluran kemih terkait kateter (CAUTI), dan infeksi luka operasi (SSI) (Ray et al., 2015) Infeksi ini dapat memperpanjang lama rawat inap pasien secara signifikan, dengan studi menunjukkan perpanjangan rata-rata 8 hari di Australia, 6,3 hari di Jerman, atau bahkan 14 hari di Indonesia. Secara finansial, HAIs juga membebankan biaya medis tambahan yang besar, seperti \$6.669 di Australia, lebih dari \$14.000 di Jerman, atau \$11.475 per HAI yang didapat di ICU. Selain dampak langsung pada pasien dan biaya, terdapat dampak yang lebih luas dari HAIs. Infeksi ini dapat menular kepada kerabat pasien melalui kontak biasa, memperluas cakupan masalah kesehatan di luar lingkungan rumah sakit (Samira Raoofi et al., 2023). Lebih lanjut, HAIs secara signifikan berkontribusi terhadap krisis resistensi antimikroba (AMR) global, yang diperparah oleh penggunaan antibiotik yang tidak tepat (Nur et al., 2025) Peningkatan insiden infeksi yang memerlukan pengobatan antibiotik mendorong tekanan selektif bagi bakteri untuk mengembangkan resistensi. Dengan demikian, pengendalian infeksi nosokomial tidak hanya tentang keselamatan pasien langsung tetapi juga tentang menjaga efektivitas antibiotik untuk masa depan, menjadikannya komponen penting dari keamanan kesehatan global.

Lingkungan rumah sakit memainkan peran yang sangat penting dalam transmisi dan pencegahan HAIs. Lingkungan pasien berfungsi sebagai reservoir utama mikroorganisme patogen. (Otter et al., 2015) Permukaan yang sering disentuh seperti pegangan tempat tidur, meja samping tempat tidur, dan kenop pintu dapat menjadi sumber penularan patogen secara langsung melalui kontak pasien atau tidak langsung melalui tangan atau sarung tangan petugas kesehatan. Faktor lingkungan lain seperti kualitas air, sistem ventilasi, suhu, dan kelembaban juga memengaruhi kelangsungan hidup dan penyebaran mikroorganisme di fasilitas kesehatan (World Health Organization, 2016). Efektivitas pengendalian lingkungan sangat terkait dengan kepatuhan manusia terhadap protokol kebersihan. Lingkungan yang dibersihkan dengan cermat dapat dengan cepat terkontaminasi kembali jika praktik kebersihan tangan petugas kesehatan tidak memadai (Dara et al., 2024) Sebaliknya, kebersihan tangan yang ketat dapat mengurangi risiko bahkan di lingkungan yang kurang ideal. Keterkaitan ini menunjukkan bahwa intervensi pencegahan dan pengendalian infeksi (PPI) yang efektif harus bersifat multimodal, menangani baik lingkungan fisik (misalnya, pembersihan, ventilasi, manajemen air) maupun faktor perilaku manusia (misalnya, pelatihan, pemantauan kepatuhan, perubahan budaya) untuk secara komprehensif memutuskan rantai transmisi. Pendekatan terintegrasi dan holistik ini sangat penting untuk keberhasilan program PPI.

Beberapa studi terdahulu telah meneliti faktor risiko infeksi nosokomial secara umum, namun sintesis komprehensif yang berfokus secara spesifik pada faktor lingkungan fisik seperti kualitas udara, air, dan desain bangunan dari studi observasional masih sangat terbatas (Isigi et al., 2023). Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada pendekatan multidimensi lingkungan fisik dalam satu tinjauan sistematis, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan protokol pencegahan dan pengendalian infeksi yang lebih menyeluruh.

Metode

Tinjauan sistematis ini dilakukan sesuai dengan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020 (Page et al., 2021). Proses seleksi dilakukan melalui empat tahap diagram alir PRISMA yakni identifikasi, skrining, kelayakan, dan inklusi. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada database elektronik utama: Science Direct, Proquest, JSTOR, Scopus, Sinta, Pubmed, Google Scholar, dan Portal Garuda. Kombinasi Medical Subject Headings (MeSH terms) dan kata kunci bebas digunakan untuk memastikan pencarian yang komprehensif. Contoh string pencarian meliputi: ("nosocomial infection", "healthcare-associated infection", "hospital-acquired infection", "nosocomial infection", "healthcare-associated infection", "hospital-acquired infection", "environmental factors", "environmental hygiene"). Pencarian akan difokuskan pada publikasi dari tahun 2013 hingga 2026 untuk memastikan relevansi dan aktualitas data. Proses seleksi studi akan mengikuti diagram alir PRISMA 2020. Tahap pertama melibatkan skrining judul dan abstrak dari semua artikel yang diidentifikasi dari pencarian database. Sebanyak dua orang peneliti melakukan skrining judul dan abstrak secara mandiri untuk meminimalisir bias. Artikel yang dianggap berpotensi relevan akan dilanjutkan ke tahap kedua, yaitu skrining teks lengkap. Pada tahap ini, teks lengkap setiap artikel akan dievaluasi terhadap kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria Inklusi pada penelitian ini meliputi : menggunakan studi observasional (kohort, kasus-kontrol, *cross-sectional*), meneliti hubungan antara faktor lingkungan di rumah sakit dan kejadian infeksi nosokomial, penelitian dilakukan di rumah sakit, menggunakan bahasa Inggris atau Indonesia, dapat diakses teks lengkap. Kriteria Eksklusi pada penelitian ini meliputi: studi non-observasional, hanya tersedia dalam bentuk abstrak, duplikasi publikasi.

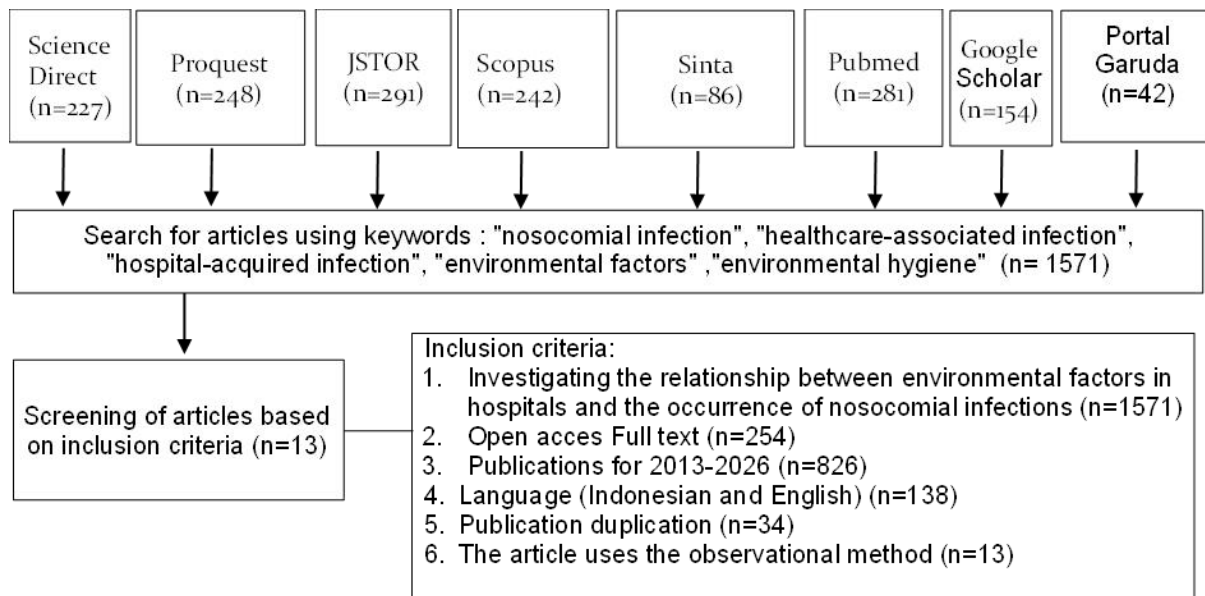


Figure 1. Article selection flowchart

Sintesis data dilakukan menggunakan metode sintesis naratif, dimana temuan dari berbagai studi observasional dikelompokkan berdasarkan variabel lingkungan (udara, air, permukaan dan desai) untuk mengidentifikasi pola hubungan yang konsisten dengan kejadian HAIs.

Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Temuan Artikel Berdasarkan Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Judul & Lokasi Penelitian	Penulis & Tahun Diterbitkan	Metode	Populasi/ Sampel Penelitian	Hasil Penelitian
Hubungan berbagai faktor dengan jumlah kuman udara di ruang Perawatan Intensif di Rumah Sakit Telogorejo Semarang (Sintawati, 2020)	Sintawati, 2017	Observasional analitik dengan pendekatan <i>cross sectional</i>	Semua kuman udara di ruang perawatan intensif RS Telogorejo Semarang. Sampel udara diambil secara <i>purposive sampling</i> .	Terdapat hubungan signifikan antara jumlah petugas kesehatan dengan jumlah kuman udara ($p=0,44$, $r=0.998$). Tidak ada hubungan antara jumlah pasien dan jumlah pengunjung dengan jumlah kuman udara.
Hubungan angka kuman	Ningsih, 2022	Observasional analitik dengan	Angka kuman udara di ruang	Angka kuman udara di ruang

udara dengan kualitas lingkungan fisik di udara di ruang operasi RSUD Namlea (Ningsih & Assagaff, 2022)		rancangan <i>cross sectional</i>	operasi RSUD Namlea.	operasi RSUD Namlea belum memenuhi syarat Permenkes No. 7 tahun 2019. Suhu, kelembaban, dan pencahayaan ruangan tidak memiliki hubungan bermakna dengan angka kuman udara (p-value > 0.05).
Hubungan Kelembaban dan Pencahayaan dengan Indeks Angka Kuman Udara di Ruang Operasi RS Sumber Hidup (Noya et al., 2020)	Noya, 2020.	Observasional analitik	Angka kuman udara, kelembaban, dan pencahayaan di ruang operasi RS Sumber Hidup.	Angka kuman udara di ruang operasi RS Sumber Hidup tidak memenuhi syarat (<10 CF/m ³). Tidak ada korelasi signifikan antara kelembaban (p=0.91) dan pencahayaan (p=0.67) dengan indeks angka kuman udara di ruang operasi.
Identifikasi Bakteri Penyebab Infeksi Nosokomial di Rumah Sakit Umum GMIM Pancaran Kasih Manado (Konoralma et al., 2019)	Ketrina Konoralma, 2019	Observasional deskriptif	Sampel dari dinding, meja, lantai, dan udara di Ruang ICU dan Ruang Perawatan Hanna RSUD GMIM Pancaran Kasih Manado.	Permukaan seperti dinding, meja, lantai, dan udara terkontaminasi oleh <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella sp</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Enterobacter</i>

*sp, Proteus sp,
Shigella sp,
Yersinia
enterocolitica,
dan Coccus
gram
positif/negatif.*

Pola Kuman Pada Manset Sphygmomanometer: Studi Deskriptif Di RSD Mangusada (Suarmayasa, 2023)	I. N. Suarmayasa, 2023.	Observasional deskriptif	Mikroorganisme pada manset Sphygmomanometer di RSD Mangusada.	Ditemukan berbagai jenis kuman pada manset Sphygmomanometer, menunjukkan potensi sebagai media penularan HAIs.
Kelimpahan Bakteri Udara di Ruang Operasi RS Abepura dan RS Dian Harapan tahun 2020 (Sahli,dkk 2021)	Sahli, 2021	Deskriptif dengan pendekatan observasional laboratorium	Bakteri udara di ruang operasi RS Abepura dan RS Dian Harapan.	Angka kuman udara di ruang operasi masih memenuhi syarat Permenkes No. 7 tahun 2019, namun beberapa hasil masih di atas standar 10 CFU/m ³ . Tidak ada perbedaan signifikan kualitas bakteri udara antara kedua RS.
Hubungan Suhu, Kelembaban dan Pencahayaan dengan Angka Kuman Lantai	Wulandari, 2024	Observasional analitik	Suhu, kelembaban, pencahayaan, dan angka kuman lantai di ruang rawat inap RSUD	Suhu yang tidak memenuhi syarat memiliki peluang risiko angka kuman lantai 0,500

di Ruang Rawat Inap RSUD Kertosono (Wulandari et al., 2024)			Kertosono.	kali lipat. Tidak ada hubungan signifikan antara kelembaban ($p=0,222$) dan pencahayaan ($p=1,000$) dengan angka kuman lantai.
Impact of climate on surgical site infections after discharge: a retrospective cohort study (Liou et al., 2022)	Raymond, 2022	Retrospective cohort study	Pasien yang menjalani prosedur bedah yang dipantau NHSN dan kondisi iklim terkait dari 2007 hingga 2014 di AS.	Setiap peningkatan 10 cm curah hujan harian maksimum menghasilkan peningkatan 1,09 <i>odds</i> SSI setelah keluar. Setiap peningkatan 1 g/kg kelembaban spesifik menghasilkan peningkatan 1,03 <i>odds</i> risiko SSI setelah keluar.
The Seasonal Variability in Surgical Site Infections and the Association With Warmer Weather: A Population-Based Investigation (Anthony et al., 2017)	Chris, 2017	Retrospective cohort analysis	Semua pasien keluar rumah sakit dengan diagnosis utama SSI dari 1998 hingga 2011 (National Inpatient Sample database).	Insiden SSI sangat musiman, dengan insiden tertinggi pada bulan Agustus dan terendah pada bulan Januari. Peningkatan 2,1% <i>odds</i> admisi SSI per setiap peningkatan 2,8°C (5°F) suhu rata-rata bulanan.

<p>Hospital admissions as a function of temperature, other weather phenomena and pollution levels in an urban setting in China(Chan et al., 2013)</p>	<p>Emily, 2013</p>	<p>Observational study (time-series data)</p>	<p>Data admisi rumah sakit harian dan suhu di Hong Kong SAR, China, 1998–2009.</p>	<p>Selama musim panas, admisi meningkat 4,5% untuk setiap peningkatan 1°C di atas 29°C. Selama musim dingin, admisi meningkat 1,4% untuk setiap penurunan 1°C dalam rentang 8,2–26,9°C. Admisi untuk penyakit pernapasan dan infeksi meningkat selama suhu ekstrem.</p>
<p>Nosocomial Infection in MICU: An Observational Study (Dara et al., 2024)</p>	<p>Chennakesavu lu Dara et al., 2024</p>	<p>Prospective observational study</p>	<p>Pasien yang dirawat di MICU ESIC Medical College Hospital, Hyderabad, selama 6 bulan (Oktober 2021 - Maret 2022).</p>	<p>Insiden infeksi nosokomial di MICU adalah 14,9%. Lama rawat ICU lebih tinggi pada pasien dengan infeksi nosokomial (15,42 ± 6,93 hari) dibandingkan tanpa infeksi (6,7 ± 5,14 hari).</p>

<p>Environmental contamination with methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i> and vancomycin-resistant enterococci in hospital rooms: a comparison of infected and colonized patients(Knelson et al., 2015)</p>	<p>Lauren P. Knelson et al., 2015</p>	<p>Observational study</p>	<p>1.023 permukaan lingkungan dari 45 kamar pasien yang terinfeksi atau terkolonisasi MRSA atau VRE di Duke University Medical Center dan UNC Health Care.</p>	<p>Pasien yang terkolonisasi memiliki median total CFU target (MRSA atau VRE) yang lebih tinggi (median 25 CFU) dibandingkan pasien yang terinfeksi (median 0 CFU) (P = 0,033). 73% kamar pasien terkolonisasi memiliki satu atau lebih situs lingkungan positif MRSA atau VRE, dibandingkan 33% kamar pasien terinfeksi.</p>
<p>A Nosocomial Outbreak of <i>Burkholderia cepacia</i> complex Linked to Contaminated Intravenous Medications in a Tertiary Care Hospital(Nur et al., 2025)</p>	<p>Nur, 2025</p>	<p>Retrospective cohort study</p>	<p>77 kasus <i>Burkholderia cepacia complex</i> (Bcc) dan 77 kontrol yang cocok di rumah sakit tersier di Turki.</p>	<p>Sumber kontaminasi diidentifikasi pada obat intravena siap pakai yang digunakan dalam prosedur IR. Transmisi sekunder memengaruhi 28 pasien non-IR melalui fomites, lingkungan bersama, dan kemungkinan kelalaian.</p>

Studi-studi yang disertakan menunjukkan keragaman dalam distribusi geografis, mencakup penelitian dari negara maju dan berkembang, termasuk Indonesia. Sebagian besar publikasi terkonsentrasi setelah tahun 2010, mencerminkan peningkatan fokus pada infeksi nosokomial dan faktor lingkungannya dalam dekade terakhir. Desain studi meliputi *cross-sectional* dan kohort, diikuti oleh studi kasus-kontrol.

Tabel 2. Ringkasan Karakteristik Studi yang Memenuhi Kriteria

Karakteristik	Detail
Jumlah Studi yang Dimasukkan	13
Jenis Desain Studi	Studi <i>Cross-sectional</i> , Studi Kohort, Studi Kasus-Kontrol
Rentang Tahun Publikasi	2013 - 2026
Distribusi Geografis	Global (termasuk Asia Tenggara, Eropa, Amerika Utara, Afrika)
Jenis HAIs yang Paling Sering Ditinjau	Infeksi Saluran Kemih (ISK), Pneumonia Terkait Ventilator (VAP), Infeksi Luka Operasi (SSI), Infeksi Aliran Darah Terkait Kateter (CLABSI)
Faktor Lingkungan Utama yang Dinilai	Kualitas udara (ventilasi, bioaerosol), Sistem air (kontaminasi, biofilm), Kontaminasi permukaan (permukaan <i>high-touch</i>), Praktik kebersihan/disinfeksi, Desain rumah sakit (ruang privat, kepadatan pasien), Suhu dan kelembaban

Kualitas Udara dan Ventilasi

Kualitas udara di rumah sakit merupakan faktor lingkungan yang signifikan dalam transmisi infeksi nosokomial. Bakteri dan jamur di udara dapat menjadi agen penyebar penyakit, terutama jika konsentrasinya melebihi batas aman (Escombe et al., 2007), misalnya, 200-500 CFU/m³ untuk standar kualitas udara mikrobiologis yang mengacu pada peraturan Menteri Kesehatan No. 7 Tahun 2019 tentang kesehatan lingkungan Rumah Sakit (Kementerian Kesehatan RI, 2019). Sistem ventilasi yang tidak memadai, termasuk sistem pendingin udara yang jarang dibersihkan, dapat menjadi tempat berkembang biaknya mikroorganisme seperti *Legionella spp.*, *Pseudomonas spp.*, dan jamur (Halaby et al., 2017). Ventilasi yang buruk juga meningkatkan risiko transmisi patogen melalui aerosol, seperti SARS-CoV-2. (Emmanuel et al., 2020) Penggunaan filter HEPA dan sistem ventilasi tekanan negatif di area berisiko tinggi (misalnya, ruang isolasi, ruang operasi) secara signifikan mengurangi konsentrasi aerosol infeksius dan risiko infeksi (Limaylla et al., 2019).

Sistem Air

Sistem air di rumah sakit, termasuk keran, saluran pembuangan, dan peralatan medis yang menggunakan air, dapat menjadi reservoir utama bagi patogen seperti *Legionella spp.* dan *Pseudomonas aeruginosa* (Mehtar et al., 2018). Pembentukan biofilm dalam pipa dan *dead legs* (bagian pipa yang tidak terpakai) menyediakan lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan mikroba, yang kemudian dapat menyebar melalui percikan air atau aerosol. Outbreak infeksi *Burkholderia cepacia complex* telah dikaitkan dengan larutan intravena yang terkontaminasi, menyoroti risiko dari produk medis yang berhubungan dengan air.¹ Pencegahan melibatkan pembersihan dan disinfeksi sistem air secara teratur, pencegahan stagnasi, dan penggunaan filter *point-of-use* (Ohannessian, Robin MD; Gustin, Marie-Paule PhD; Bénet, 2018).

Kontaminasi Permukaan

Permukaan di lingkungan pasien, terutama permukaan yang sering disentuh (*high-touch surfaces*) seperti pegangan tempat tidur, meja samping tempat tidur, dan kenop pintu, terbukti terkontaminasi secara ekstensif dengan patogen nosokomial (Otter et al., 2015). Mikroorganisme seperti *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA), *Vancomycin-resistant Enterococci* (VRE), *Clostridioides difficile*, dan *Acinetobacter spp.* dapat bertahan hidup di permukaan ini selama berminggu-minggu hingga berbulan-bulan. Kontak dengan permukaan yang terkontaminasi ini dapat mentransfer patogen ke tangan atau sarung tangan petugas kesehatan, yang kemudian menyebarkannya ke pasien lain. Studi menunjukkan bahwa pasien yang dirawat di kamar yang sebelumnya ditempati oleh pasien yang terkolonisasi atau terinfeksi patogen ini memiliki risiko lebih tinggi untuk mengakuisisi patogen yang sama. (Weber & Anderson, Deverickc Rutala, 2013).

Praktik Kebersihan dan Disinfeksi

Implementasi praktik kebersihan dan disinfeksi lingkungan yang ketat adalah intervensi fundamental untuk mencegah HAIs. Ini mencakup pembersihan rutin (saat kamar ditempati) dan pembersihan terminal (setelah pasien keluar) (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2024). Penggunaan deterjen dan disinfektan yang tepat, termasuk disinfektan berbasis klorin, hidrogen peroksida, dan teknologi "tanpa sentuhan" seperti sinar UV-C atau uap hidrogen peroksida, terbukti efektif dalam mengurangi kontaminasi mikroba di permukaan. Pemantauan kepatuhan kebersihan menggunakan metode seperti penanda fluoresen atau uji ATP (adenosine triphosphate) sangat penting untuk memastikan efektivitas program kebersihan dan memberikan umpan balik kepada staf (Han et al., 2015).

Desain Rumah Sakit dan Kepadatan Pasien

Desain fisik rumah sakit memiliki dampak langsung pada pengendalian infeksi (Weber et al., 2010). Ruang perawatan pasien tunggal (privat) dikaitkan dengan penurunan tingkat HAIs karena mengurangi kontaminasi silang antar pasien (Sherif & Iskandar, 2025). Tata letak ruangan, alur pasien, staf, dan material yang dirancang dengan baik dapat mencegah penyebaran mikroorganisme (Barbosa, 2018). Kepadatan pasien yang tinggi dan transfer pasien antar unit juga meningkatkan risiko infeksi nosokomial (Isigi et al., 2023). Ketersediaan ruang isolasi untuk pasien infeksius atau imunokompromais sangat penting (Weber & Anderson, Deverickc Rutala, 2013).

Suhu dan Kelembaban

Suhu dan kelembaban di lingkungan rumah sakit memengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan mikroorganisme (Dawson Zulveritha, Yuli Peristipwati, 2025). Standar yang direkomendasikan untuk ruang perawatan adalah suhu 22-23°C dan kelembaban 40-60%.

Kelembaban yang tidak ideal (terlalu tinggi atau terlalu rendah) dapat meningkatkan pertumbuhan mikroba di permukaan dan di udara. Studi observasional menunjukkan korelasi antara fluktuasi suhu dan kelembaban dengan insiden infeksi tertentu, termasuk infeksi luka operasi (Noya et al., 2020).

Mekanisme Kausal dan Rantai Transmisi

Rantai transmisi infeksi nosokomial di rumah sakit adalah fenomena kompleks yang melibatkan interaksi dinamis antara lingkungan fisik dan perilaku manusia. Lingkungan fisik, dengan permukaannya yang terkontaminasi, sistem air, dan kualitas udara, berfungsi sebagai reservoir utama bagi patogen. Patogen ini dapat bertahan hidup di permukaan selama periode yang bervariasi, dari jam hingga bulan, menunggu kesempatan untuk ditransfer (Otter et al., 2015). Namun, transmisi ke pasien seringkali terjadi melalui perantara manusia, terutama tangan petugas kesehatan. Petugas kesehatan yang menyentuh permukaan terkontaminasi dapat memindahkan patogen ke pasien lain jika kebersihan tangan tidak dilakukan dengan benar. Ini menunjukkan bahwa meskipun lingkungan adalah sumber, perilaku manusia adalah vektor utama yang melengkapi rantai transmisi. Efektivitas langkah-langkah pengendalian lingkungan, seperti pembersihan dan disinfeksi, bergantung pada kepatuhan staf terhadap protokol. Lingkungan yang baru saja dibersihkan dapat dengan cepat terkontaminasi ulang jika praktik kebersihan tangan tidak ketat, dan sebaliknya, kebersihan tangan yang cermat dapat mengurangi risiko bahkan di lingkungan yang tidak sepenuhnya steril. Oleh karena itu, strategi pencegahan infeksi harus secara simultan menargetkan kedua aspek ini: mengurangi beban patogen di lingkungan dan memastikan kepatuhan terhadap praktik kebersihan pribadi. Pendekatan terintegrasi ini sangat penting untuk secara efektif memutus rantai transmisi dan mencegah penyebaran infeksi di fasilitas perawatan kesehatan (Collins, 1991).

Implikasi Klinis dan Kebijakan

Temuan tinjauan ini memiliki implikasi yang mendalam bagi praktik klinis dan perumusan kebijakan kesehatan. Pertama, beban infeksi nosokomial melampaui dampak langsung pada pasien dan biaya rumah sakit. HAIs dapat menular kepada kerabat pasien melalui kontak biasa, memperluas dampak kesehatan ke komunitas (Samira Raoofi et al., 2023). Lebih lanjut, HAIs secara signifikan memperburuk krisis resistensi antimikroba (AMR) global. Setiap infeksi yang terjadi dan memerlukan pengobatan antibiotik memberikan tekanan selektif pada bakteri, mendorong evolusi resistensi. Ini menciptakan lingkaran umpan balik negatif di mana faktor lingkungan yang buruk meningkatkan infeksi, yang pada gilirannya meningkatkan penggunaan antibiotik, mempercepat AMR, dan membuat infeksi di masa depan semakin sulit diobati. Oleh karena itu, mengelola faktor lingkungan bukan hanya tentang mencegah infeksi langsung, tetapi juga tentang melindungi efektivitas antibiotik dan menjaga keamanan kesehatan masyarakat secara luas (Nur et al., 2025).

Implikasi ini menekankan perlunya program pencegahan dan pengendalian infeksi (PPI) yang komprehensif. Yang pertama, dengan implementasi protokol pembersihan berbasis bukti, melalui pelatihan staf yang berkelanjutan, dan pemantauan kepatuhan yang ketat (World Health Organization, 2016). Yang kedua, penggunaan teknologi canggih seperti UV-C dan hidrogen peroksida dapat menjadi pelengkap yang efektif (Berhanu Y. Wondmagegn et al., 2021). Yang ketiga, memastikan sistem ventilasi yang memadai 12 *air changes per hour*, penggunaan filter HEPA di area berisiko tinggi, dan pemeliharaan rutin sistem HVAC untuk mencegah akumulasi mikroba. Yang keempat, dengan implementasi program manajemen air untuk mencegah kolonisasi patogen seperti *Legionella* dan *Pseudomonas*, termasuk pembersihan rutin, disinfeksi, dan pencegahan stagnasi (Chen et al., 2014). Yang terakhir, mendorong desain ruang perawatan pasien tunggal, tata letak yang meminimalkan kontaminasi silang, dan ketersediaan fasilitas kebersihan tangan di setiap titik

perawatan (Barbosa, 2018). Pendekatan holistik ini, yang mengintegrasikan aspek fisik lingkungan dengan praktik perilaku, akan secara signifikan mengurangi insiden HAIs, meminimalkan beban ekonomi, dan memperlambat laju resistensi antimikroba, yang pada akhirnya meningkatkan keselamatan pasien dan keberlanjutan sistem kesehatan.

Kesimpulan

Faktor lingkungan fisik terutama kualitas udara dan kontaminasi permukaan merupakan determinan utama infeksi nosokomial. Temuan ini menegaskan bahwa pengendalian infeksi tidak boleh hanya berfokus pada perilaku petugas, tetapi harus mengintegrasikan perbaikan sistem ventilasi sesuai standar Permenkes No 7 tahun 2019 dan desain fasilitas yang mendukung sanitasi. Intervensi lingkungan yang terstandarisasi menjadi kunci efisiensi biaya perawatan dan keselamatan pasien jangka panjang.

References

- Anthony, C., Peterson, R., & Polgreen, L. A. (2017). The Seasonal Variability in Surgical Site Infections and the Association With Warmer Weather: A Population-Based Investigation. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 7(38), 1–8. <https://doi.org/10.1017/ice.2017.84>
- Barbosa, B. P. P. (2018). The Role of Engineering Design in the Infection Control for Hospitals. *Trends in Civil Engineering and Its Architecture*, 1(2).
- Berhanu Y. Wondmagegn, J. X., Dear, K., Williams, S., & Hansen, A. (2021). Increasing impacts of temperature on hospital admissions, length of stay, and related healthcare costs in the context of climate change in Adelaide, South Australia. *Science of The Total Environment*, 773. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145656>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). *Global Cleaning in Healthcare: Environmental Cleaning Procedures*.
- Chan, E. Y. Y., Goggins, W. B., Yue, S. K., & Lee, P. (2013). Hospital admissions as a function of temperature , other weather phenomena and pollution levels in an urban setting in China. *Research*, September 2012, 576–584. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2471/BLT.12.113035>
- Chen, C., Zhu, J., Qu, Z., Lin, C., Jiang, Z., & Chen, Q. (2014). Systematic study of person-to-person contaminant transport in mechanically ventilated spaces (RP-1458). *HVAC&R Research*, 20, 80–91.
- Collins, A. S. (1991). Preventing Health Care–Associated Infections. In *Patient Safety and Quality: An Evidence-Based Handbook for Nurses* (2nd ed., pp. 547–576). National Library of Medicine.
- Dara, C., Darivemula, S. B., Sandepogu, T. S., Saranya, M., Vijayalakshmi, N., & Swetha, S. (2024). Nosocomial Infection in MICU : An Observational Study. *Journal of Internal Medicine*, 12(3), 150–154. <https://doi.org/10.4103/ajim.ajim>
- Dawson Zulveritha, Yuli Peristipwati, N. A. A. (2025). Pengaruh Pengetahuan, Motivasi, Supervisi Dengan Kinerja Perawat Terhadap Pencegahan Infeksi Nosokomial Di Ruang Rawat Gawat Darurat Rsud Tarutung. *Research & Learning in Nursing Science*, 9(3), 3793–3807.
- Emmanuel, U., Osondu, E. D., & Kalu, K. C. (2020). Architectural design strategies for infection prevention and control (IPC) in health-care facilities : towards curbing the spread of

Covid-19. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18, 1699–1707. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s40201-020-00580-y>

Escombe, A. R., Oeser, C. C., Gilman, R. H., Navincopa, M., Ticona, E., Pan, W., Chacaltana, J., Rodri, R., Moore, D. A. J., & Friedland, J. S. (2007). Natural Ventilation for the Prevention of Airborne Contagion. *PLoS MEDICINE*, 4(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040068>

Halaby, T., Naiemi, N., Beishuizen, B., Verkooijen, R., Ferreira, J. A., & Klont, R. (2017). Impact of single room design on the spread of multi-drug resistant bacteria in an intensive care unit. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 6(117), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13756-017-0275-z>

Han, J., Sullivan, N., Leas, B. F., & Pegues, D. A. (2015). Cleaning Hospital Room Surfaces to Prevent Health Care–Associated Infections: A Technical Brief. *Annals of Internal Medicine*, 163(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.7326/M15-1192>

Isigi, S. S., Parsa, A. D., Alasqah, I., Mahmud, I., Kabir, R., & Bukairiyah, A. (2023). Predisposing Factors of Nosocomial Infections in Hospitalized Patients in the United Kingdom: Systematic Review. *JMIR Public Health Surveill*, 9(9), 1–15. <https://doi.org/10.2196/43743>

Kementerian Kesehatan RI. (2019). *PERMENKES RI NOMOR 7 TAHUN 2019 TENTANG KESEHATAN LINGKUNGAN RUMAH SAKIT*.

Knelson, L. P., Williams, D. A., Gergen, M. F., Ascp, M. T., Carolina, N., Hill, C., & Carolina, N. (2015). *HHS Public Access*. 35(7), 872–875. <https://doi.org/10.1086/676861.A>

Konoralma, K., Analis, P. D., Poltekkes, K., & Manado, K. (2019). Identifikasi Bakteri Penyebab Infeksi Nosokomial Di Rumah Sakit Umum Gmim Pancaran Kasih Manado. *Jurnal Kesmas*, 8(1), 23–35.

Limaylla, D. C., Silva, M. D. O., Magno, C., & Branco, C. (2019). Temperature, humidity, and climate control in hospital units: A clue for understanding the seasonality of healthcare-associated pathogens. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 40, 829–830. <https://doi.org/10.1017/ice.2019.97>

Liou, R. J., Earley, M. J., & Forrester, J. D. (2022). Effect of climate on surgical site infections and anticipated increases in the United States. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24255-w>

Mehtar, S., Hopman, J., & Duse, A. (2018). *GUIDE TO INFECTION CONTROL IN THE HEALTHCARE SETTING Patient Areas and Environmental Cleaning*.

Moameri, H., Salehi, S., & Haghdooost, A. A. (2025). The Future of Nosocomial Infections. *Iran J Public Health*, 54(4), 881–884. <https://doi.org/10.18502/ijph.v54i4.18427>

Ningsih, T. A., & Assagaff, F. (2022). Kualitas udara di ruangan rsud namlea kabupaten buru provinsi maluku. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kesehatan Terpadu (JITKT)*, 2(1), 46–54.

Noya, L. Y. J., W, N. E., & Joko, T. (2020). Pemeriksaan Kualitas Udara Ruang Yang Berhubungan Dengan Angka Kuman Di Ruang Operasi Rumah Sakit Sumber Hidup Di Kota Ambon 2020. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(5), 679–687.

Nur, H., Parlayan, K., Aksoy, F., Ozdemir, M. N., & Ozkaya, E. (2025). A Nosocomial Outbreak of Burkholderia cepacia complex Linked to Contaminated Intravenous Medications in a Tertiary Care Hospital. *Antibiotics*, 14(774), 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/antibiotics14080774>

- Ohannessian, Robin MD; Gustin, Marie-Paule PhD; Bénet, T. M. (2018). Estimation of Extra Length of Stay Attributable to Hospital-Acquired Infections in Adult ICUs Using a Time-Dependent Multistate Model. *Critical Care Medicine*, 46(7). <https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000003131>
- Otter, J. A., Yezli, S., & French, G. L. (2015). The Role Played by Contaminated Surfaces in the Transmission of Nosocomial Pathogens. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 32(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.1086/660363>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-wilson, E., Mcdonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews Systematic reviews. *Research Methods and Reporting*. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Ray, S. M., Thompson, D. L., & Wilson, L. E. (2015). Multistate Point-Prevalence Survey of Health Care-Associated Infections. *N Engl J Med*, 370(13), 1198–1208. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1306801>. Multistate
- Sahli, Indra Taufik; Kurniawan, Fajar Bakti; Setiani, Dwi; Asrianto, Asrianto; Hartati, R. (2021). Kualitas Bakteri Udara Ruang Operasi Rumah Sakit di Wilayah Kota Jayapura. *Health Information*, 13(2).
- Samira Raoofi, Kan, F. P., Rafiei, S., Hosseinipalangi, Z., Mejareh, Z. N., Khani, S., Abdollahi, B., Talab, F. S., Id, M. S., Zarabi, F., Dolati, Y., Ahmadi, N., Raoofi, N., Sarhadi, Y., Masoumi, M., Hosseini, B., Vali, N., Gholamali, N., Asadi, S., ... Id, A. G. (2023). PLOS ONE Global prevalence of nosocomial infection : A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, June 2021, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274248>
- Sandu, A. M., Chifiriuc, M. C., Vrancianu, C. O., Cristian, R. E., Alistar, C. F., Constantin, M., Paun, M., Alistar, A., Popa, L. G., Popa, M. I., Tantu, A. C., Sidoroff, M. E., Mihai, M. M., Marcu, A., Popescu, G., & Tantu, M. M. (2025). Healthcare - Associated Infections : The Role of Microbial and Environmental Factors in Infection Control — A Narrative Review. In *Infectious Diseases and Therapy* (Vol. 14, Issue 5). Springer Healthcare. <https://doi.org/10.1007/s40121-025-01143-0>
- Sherif, A., & Iskandar, M. (2025). Design of hospitals for the post-pandemic era : an international survey of design professionals on infection control design strategies. *Architectural Engineering and Design Management*, 21(4), 705–720. <https://doi.org/10.1080/17452007.2024.2385689>
- Sintawati. (2020). Hubungan berbagai faktor dengan jumlah kuman udara di ruang Perawatan Intensif di Rumah Sakit Telogorejo Semarang. *Forikes Journal*, 11(2).
- Suarmayasa, I. N. (2023). Pola Kuman Pada Manset Sphygmomanometer : Studi Deskriptif Di Rsd Mangusada. *Jurnal Riset Kesehatan Nasional*, 7(2), 163–168.
- Tobin, E. H., & Zahra., F. (2025). *Nosocomial Infections* (StatPearls). StatPearls.
- Weber, D. J., & Anderson, Deverickc Rutala, W. (2013). The role of the surface environment in healthcare-associated infections. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 4(26). <https://doi.org/10.1097/QCO.0b013e3283630f04>
- Weber, D. J., Rutala, W. A., Miller, M. B., & Huslage, K. (2010). Role of hospital surfaces in the transmission of emerging health care- associated pathogens : Norovirus , Clostridium difficile , and Acinetobacter species. *American Journal of Infection Control*, 38(5), S25–S33.

<https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.04.196>

World Health Organization. (2016). *Guidelines on Core Components of Infection Prevention and Control Programmes at the National and Acute Health Care Facility Level*. World Health Organization 2016.

Wulandari, E. T., Sari, D., & Yohanan, A. (2024). Kebersihan Dengan Angka Kuman Lantai Ruang Rawat Inap. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Media Husada*, 13(2), 152–161.