



KUALITAS UDARA DALAM RUANGAN RUMAH SAKIT: STUDY LITERATUR REVIEW

Wahyu Puput Arisusanto*, Chairil Anwar, Elvi Sunarsih

Program Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sriwijaya,
Jl. Masjid Al Gazali, Bukit Lama, Ilir Barat I, Palembang, Sumatera Selatan 30128, Indonesia

*puput.271084@gmail.com

ABSTRAK

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia, salah satu risiko lingkungan terbesar bagi kesehatan manusia adalah polusi udara. 16% dari semua kematian dan 9 juta kematian dini di seluruh dunia mungkin disebabkan oleh polusi. Memeriksa kualitas udara dalam ruangan rumah sakit adalah tujuan dari penyelidikan ini. Untuk menemukan, memilih, mengevaluasi, dan mengatur data dari studi terbaru tentang kualitas udara dalam ruangan, tinjauan literatur sistematis, atau SLR, dilakukan. Artikel Kualitas Udara Indor (IAQ) yang paling banyak diteliti antara tahun 2020 dan 2022 ditemukan pada tahun 2022 (18,75%, atau hingga 8 artikel), sedangkan jumlah penelitian paling sedikit ditemukan pada tahun 2020 (18,75%, atau hingga 3 artikel). Temuan terbaru konsisten dengan penelitian sebelumnya, yang menemukan bahwa karena individu menghabiskan 80% hingga 90% waktu mereka dalam ruangan karena ekspansi perkotaan, kualitas udara dalam ruangan (IAQ) telah menjadi masalah kesehatan masyarakat yang semakin penting. Mayoritas artikel yang dianalisis (85%) melaporkan data eksperimental, dengan parameter yang paling sering diukur adalah yang terkait dengan kualitas lingkungan (45% studi menganalisis suhu dan kelembaban relatif), beban mikrobiologis (45% artikel menganalisis data tentang bakteri dan jamur, masing-masing), CO₂ (32% studi berfokus pada parameter ini), dan partikel (30% makalah melaporkan data eksperimental).

Kata kunci: fasilitas kesehatan; rumah sakit; kualitas udara; kualitas lingkungan

HOSPITAL INDOOR AIR QUALITY: LITERATURE REVIEW STUDY

ABSTRACT

According to the World Health Organization, one of the greatest environmental risks to human health is air pollution. 16% of all deaths and 9 million premature deaths worldwide may be caused by pollution. Examining hospital indoor air quality was the goal of this investigation. To find, select, evaluate, and organize data from recent studies on indoor air quality, a systematic literature review, or SLR, was conducted. The most researched Indoor Air Quality (IAQ) articles between 2020 and 2022 were found in 2022 (18.75%, or up to 8 articles), while the least number of studies were found in 2020 (18.75%, or up to 3 articles). The latest findings are consistent with previous research, which found that as individuals spend 80% to 90% of their time indoors due to urban expansion, indoor air quality (IAQ) has become an increasingly important public health issue. The majority of analyzed articles (85%) reported experimental data, with the most frequently measured parameters being those related to environmental quality (45% of studies analyzed temperature and relative humidity), microbiological load (45% of articles analyzed data on bacteria and fungi, respectively), CO₂ (32% of studies focused on this parameter), and particulate matter (30% of papers reported experimental data).

Keywords: air quality; environmental quality; hospitals; health facilities.

PENDAHULUAN

Hubungan antara kualitas udara dan kesehatan, WHO telah mengakui polusi udara sebagai salah satu ancaman lingkungan terbesar bagi kesehatan manusia, (Mata, Martins, et al., 2022) Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) dan entitas seperti perkiraan beban penyakit global

Institute for Health Metrics, para peneliti telah dapat mengungkapkan,(World Health Organization, 2022) misalnya, polusi kemungkinan bertanggung jawab atas 9 juta kematian dini secara global dan 16% dari semua kematian.(Richard Fuller, 2022),mengingat bahwa perkiraan ini berfokus pada kumpulan polutan yang relatif kecil, upaya sedang dilakukan untuk memperluasnya dan untuk memperkirakan beban penyakit saat ini dan kemungkinan masa depan dari perubahan iklim.(Hu et al., 2022).

Dengan perkembangan perkotaan, kualitas udara dalam ruangan (IAQ) menjadi perhatian kesehatan masyarakat(Fernández-Agüera et al., 2022) yang berkembang karena fakta bahwa orang menghabiskan 80%-90% dari waktu mereka di dalam ruangan,(Liu et al., 2022), oleh karena itu menjaga kualitas udara dalam ruangan yang memadai sangat penting untuk meminimalkan dampak negatif kesehatan(Mannan & Al-Ghamdi, 2021), Unit perawatan kesehatan tidak berbeda, karena penyedia layanan kesehatan,(Tistad et al., 2022), praktisi medis, staf, dan pasien menghabiskan waktu berjam-jam di fasilitas yang bergantung pada kualitas udara yang melekat pada mereka.(Settimo et al., 2020)

Kualitas udara dalam ruangan (IAQ) adalah masalah yang kompleks dan dinamis(Saad Baqer et al., 2022) yang dipengaruhi oleh berbagai faktor: kualitas udara luar ruangan, aktivitas dalam ruangan, kepadatan penghuni dalam ruangan, praktik ventilasi,(Ilić et al., 2022) emisi intrinsik dalam ruangan (misalnya, peralatan/perabotan/pelapis).(Abdel-Salam, 2022), Kehadiran individu yang rentan dan karakteristik kegiatan yang sedang berlangsung menyoroti pentingnya mengelola IAQ secara memadai di fasilitas kesehatan. (Arikan et al., 2019), sakit kepala, kelelahan, kekeringan dan iritasi pada mata dan kulit adalah keluhan umum dari profesional kesehatan, yang sering dikaitkan dengan IAQ yang buruk.(Jafakesh et al., 2020), Selain itu, rumah sakit beroperasi secara penuh waktu (24 jam per hari, tujuh hari seminggu), tanpa waktu menganggur untuk pulih dari emisi kegiatan dan dampak konsekuensi pada IAQ.(Baurès et al., 2020)

Kontaminasi kimia dapat berasal dari pembersihan, desinfektan dan sterilisasi produk yang mengandung etilen oksida,(Bharti et al., 2022), glutaraldehid, formaldehida dan alkohol, serta penggunaan gas anestesi dan bahan kimia lainnya yang digunakan dalam prosedur medis.(Gola et al., 2019), Kontaminasi biologis dalam ruangan muncul dari penyebaran patogen mikrobiologis,(Sousa, 2022)di lingkungan klinis, dengan potensi menyebabkan infeksi nosokomial dan penyakit pernapasan terkait pekerjaan.(Asif et al., 2018), Suhu udara dan kelembaban(Mata, Felgueiras, et al., 2022) relatif sering dipantau di fasilitas kesehatan karena hubungan langsung parameter ini dengan pertumbuhan mikroba.(Abbasi et al., 2020), (Fonseca et al., 2019)

Studi yang berfokus pada IAQ di rumah sakit atau fasilitas Kesehatan,(Abdelrahman et al., 2022)lainnya sangat langka jika dibandingkan dengan studi IAQ di bangunan tempat tinggal, sekolah, atau bangunan komersial.(Luciulli et al., 2020)di lingkungan perawatan kesehatan, banyak ahli mendukung penilaian bahwa kurang,(Kim et al., 2022), perhatian diberikan pada pemantauan dan analisis polutan kimia,(Kesehatan Lingkungan et al., 2020) bila dibandingkan dengan studi kontaminasi biologis.(Staszowska, 2022), ada juga kesulitan yang diakui dalam mendamaikan strategi untuk mengatasi polutan udara dalam ruangan(Sultan et al., 2022), yang berbeda yang terjadi secara bersamaan. kekhawatiran baru-baru ini telah muncul mengenai pembentukan polutan dalam ruangan sekunder dari reaksi antara polutan primer dan/atau senyawa lain(Martic et al., 2022) yang ada di dalam ruangan atau diperkenalkan oleh ventilasi. Ada peningkatan minat penelitian dalam desain dan rehabilitasi infrastruktur kesehatan, mengingat pengaruh bahan konstruksi dan finishing di IAQ.(Capolongo et al., 2020)

Mengingat pentingnya topik penelitian ini, tujuan utama dari tinjauan ini adalah: (i) untuk memberikan gambaran tentang literatur terbaru tentang kualitas udara dalam ruangan dalam perawatan kesehatan. fasilitas; untuk mengidentifikasi faktor-faktor penentu utama kualitas udara dalam ruangan di fasilitas kesehatan; (iii) untuk mengidentifikasi jalur penelitian masa depan tentang topik ini. Melalui tinjauan literatur sistematis yang berfokus pada penelitian terbaru (2015-2020), tinjauan ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan penelitian berikut: RQ1: Fasilitas kesehatan mana yang sedang dipelajari?, RQ2: Apa kontribusi masing-masing negara untuk penelitian tentang topik ini?, RQ3: Parameter IAQ mana yang sedang dianalisis?, RQ4: Apa tren penelitian tentang hal ini?, Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa IAQ di fasilitas kesehatan merupakan topik penelitian yang penting, dengan jalur penelitian yang menjanjikan yang dapat mengarah pada perbaikan yang berdampak pada keselamatan pasien dan kesehatan kerja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat kualitas udara dalam ruangan rumah sakit.

METODE

Tinjauan sistematis memilih database elektronik PubMed, Scopus, Google Scholer menemukan, memilih, menganalisis, dan mengatur data dari studi terbaru tentang kualitas udara dalam ruangan di institusi kesehatan dilakukan dengan tinjauan literatur sistematis (SLR). SLR dibangun di sekitar proses yang transparan, ilmiah, dan berulang yang terdiri dari tiga tahap: (i) mengatur proses peninjauan; (ii) melakukan proses peninjauan; dan (iii) melaporkan dan membagikan temuan. Tubuh pengetahuan area penelitian tertentu dapat disintesis oleh SLR, mengungkapkan pola penelitian, kesenjangan di lapangan, dan area yang membutuhkan studi lebih lanjut. String pencarian yang akan digunakan dipilih untuk merancang prosedur peninjauan selama tahap pertama SLR. B-on, Science Direct, dan Web of Science adalah tiga database yang dikonsultasikan. 'Udara dalam ruangan' atau 'IAQ' atau 'IEQ'} dipasangkan dengan 'rumah sakit' atau 'perawatan kesehatan' atau 'klinik' atau 'perawatan kesehatan'} adalah string pencarian yang digunakan, sesuai dengan tujuan penelitian. Kata "kualitas lingkungan dalam ruangan" (IAQ) menjadi string pencarian dalam analisis karena penelitian yang berfokus pada IEQ dapat menggabungkan IAQ. Peer review berfungsi sebagai kriteria seleksi.

HASIL

Artikel yang paling banyak meneliti tentang Indor Air Quality (IAQ)

Tabel 1.

Distribusi Frekuensi Artikel yang paling banyak meneliti tentang Indor Air Quality (IAQ) (n=16)

Tahun	f	%
2020	3	18,75
2021	5	31,25
2022	8	50

Tabel 1, diketahui dari Tahun 2020 - 2022 artikel Indor Air Quality (IAQ) yang paling banyak di teliti yaitu pada tahun 2022 sebanyak 50% atau sebanyak 8 Artikel sedangkan yang Paling sedikit yaitu pada Tahun 2020 yaitu sebesar 18,75 % atau sebanyak 3 artikel.

Artikel yang banyak di teliti selain IAQ

Tabel 2, diketahui Artikel yang paling banyak meneliti selain Indor Air Quality (IAQ) yaitu artikel tentang konsentrasi Co2 yaitu sebesar 38,88% atau sebanyak 7 artikel sedangkan artikel yang paling sedikit meneliti selain Indor Air Quality (IAQ) yaitu tentang HBM dan BTEX yaitu masing – masing sebesar 5,56% atau sebanyak masing – masing 1 artikel.

Tabel 2.
Distribusi Frekuensi Artikel yang paling banyak meneliti selain Indor Air Quality (IAQ)
(n=18)

Jenis Artikel	f	%
Person Centred Care (PCC)	3	16,67
Konsentrasi CO2	7	38,88
tehnik Strelisasi	2	11,11
HBM	1	5,56
BTEX	1	5,56
Sick Building Syndrome (SBS)	4	22,22

PEMBAHASAN

Sepengetahuan kami, ini adalah tinjauan sistematis pertama dan meta-analisis untuk secara kuantitatif memeriksa hubungan antara mikroba di udara dan parameter IAQ di lingkungan rumah sakit. Meskipun pentingnya memastikan IAQ yang baik untuk meminimalkan penularan mikroorganisme di udara diakui (Morawska et al., 2020), kami menemukan bahwa ada sejumlah kecil penelitian yang melakukan pengukuran kuantitatif yang cukup untuk menilai hubungan antara mikroorganisme di udara dan parameter lingkungan secara andal. Sebagian besar penelitian mempertimbangkan bakteri dan / atau jamur, dan tidak ada penelitian yang memiliki data yang cukup untuk menilai korelasi antara virus di udara dan parameter IAQ di rumah sakit.

Pendekatan pengambilan sampel

Ada dua pendekatan utama yang digunakan dalam pengambilan sampel udara, pengambilan sampel aktif dan pengambilan sampel pasif. Sebagian besar studi dalam literatur menggunakan pengambilan sampel aktif untuk manfaat yang ditawarkannya karena cepat dan tidak tergantung pada pola aliran udara ruangan lokal. Selain itu, pengambilan sampel aktif memberikan hasil yang serupa dengan hanya perbedaan yang dapat diabaikan terlepas dari jenis, laju aliran udara, dan produsen perangkat (Haig et al., 2016). Dengan demikian, hasil dari kertas yang menggunakan berbagai jenis sampler aktif masih dapat digunakan dalam perbandingan dan masih dapat memberikan informasi yang berguna. Penelitian lain menggunakan sampling pasif yang bergantung pada sedimentasi gravitasi untuk mengumpulkan mikroorganisme di udara, biasanya ke cawan petri terbuka. Pengambilan sampel pasif lebih mudah diakses karena murah, dapat dilakukan di beberapa tempat pada saat yang sama, dan, bertentangan dengan pengambilan sampel aktif, diam sehingga dapat digunakan pada malam hari. Mikroorganisme di udara yang tidak dihilangkan dengan ventilasi dapat Akhirnya mengendap ke permukaan, dan angka-angka yang mengendap diharapkan berkorelasi dengan jumlah mikroorganisme yang ada di udara.

Agar pengambilan sampel pasif dapat memberikan hasil yang lebih bermakna, persamaan matematika diperlukan untuk menghitung laju pengendapan dalam hal cfu / m³ (Fekadu & Getachewu, 2015; Hsu et al., 2012), durasi sampel dan interval di antara mereka merupakan faktor yang berkontribusi yang mempengaruhi hasil dan yang perlu dipertimbangkan ketika melakukan analisis dan perbandingan. Sebuah studi sebelumnya menunjukkan fluktuasi konsentrasi mikroba di udara dengan waktu di lokasi yang sama, dengan interval 15 menit dan durasi masing-masing 5 menit selama 8 jam pengambilan sampel.8 menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian menyajikan temuan mereka berdasarkan pengambilan sampel udara snapshot daripada secara intensif melakukan beberapa sampel dalam waktu yang lama. Hal ini menyebabkan kesimpulan yang menyesatkan karena hasilnya terlalu sedikit untuk mencerminkan korelasi yang akurat.

Sumber dan aktivitas

Bakteri dan jamur (ACC dan TF) dapat dihasilkan dari pasien dan aktivitas HCW, penumpahan manusia dan dari lingkungan yang mengelilingi lokasi pengambilan sampel. Studi menunjukkan variabilitas tinggi dalam pengukuran antara studi yang berbeda di lokasi yang berbeda yang mungkin dipengaruhi oleh beberapa parameter. Sejumlah kecil penelitian menunjukkan fluktuasi seiring waktu di lokasi yang sama dan menunjukkan kompleksitas interaksi, dengan mikroorganisme, partikel, dan konsentrasi CO₂ semuanya dipengaruhi oleh jumlah orang dan aktivitas yang terjadi. Namun, sementara manusia dianggap sebagai sumber utama bakteri di rumah sakit, sebagian besar jamur di udara di rumah sakit NHS berasal dari lingkungan luar, tangki air, atau dari jamur yang diizinkan untuk mencemari area lembab (dan tidak dibersihkan dengan benar). Dengan demikian, korelasi antara bakteri dan jamur dapat menyesatkan jika penelitian tidak memperhitungkan jenis lingkungan, aktivitas, dan interval pengambilan sampel.

Suhu dan kelembaban

Meta-analisis menunjukkan ada hubungan positif yang signifikan antara konsentrasi bakteri di udara dan suhu, sementara tidak ada hubungan yang signifikan secara statistik antara konsentrasi mikroba di udara dan kelembaban relatif. Untuk konsentrasi jamur di udara, korelasi dengan suhu dan kelembaban relatif tidak ditemukan signifikan. Perkiraan efek gabungan rendah, dan interval kepercayaan luas yang berarti bahwa kepercayaan dalam hubungan antara mikroorganisme dan suhu dan kelembaban rendah. Ini masuk akal secara fisik karena sebagian besar mikroorganisme menyukai kondisi yang lebih hangat untuk replikasi yang lebih cepat meskipun banyak yang bertahan dengan baik pada suhu ruangan yang lebih dingin. Sebuah penelitian sebelumnya telah menemukan bahwa peningkatan suhu dari 15 ° C menjadi 25 ° C dan 34% dan 75% mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter calcoaceticus*, *Corynebacteria*, *Staphylococcus* sp., dan *Staphylococcus aureus* pada permukaan kaca berbeda tergantung pada jenis mikroba dari tidak ada perbedaan hingga hubungan yang sedikit negatif (McEldowney & Fletcher, 1988). Studi lain menemukan bahwa tidak ada hubungan yang signifikan antara suhu atmosfer (16°C dan 24°C) dan tingkat kelangsungan hidup *Serratia marcescens*, *Escherichia*, dan *Bacillus subtilis* di udara (Ehrlich et al., 1970).

Banyak bakteri dan jamur menyukai kondisi kelembaban yang lebih tinggi tetapi penelitian menunjukkan bahwa respons mikroorganisme terhadap kelembaban lebih kompleks; spesies yang berbeda tidak menanggapi kelembaban relatif dengan cara yang sama sehubungan dengan kelangsungan hidup (Zoz et al., 2016). Misalnya, kelangsungan hidup *Escherichia* (penghasil Shigatoxin) pada suhu 20 ° C dan kelembaban relatif yang berbeda (44%, 70%, 85% dan 98%) memiliki respons bentuk-U di mana kelangsungan hidup terendah adalah pada 85% RH (Mørretrø et al., 2010). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa virus memiliki respons yang lebih kompleks terhadap kelembaban, dengan virus amplop lipid bertahan lebih lama pada kelembaban rendah (20% – 30% RH) sementara virus yang diselubungi non-lipid lebih memilih kelembaban yang lebih tinggi (70% – 90% RH) (Tang, 2009). Beberapa virus juga mengekspresikan respons berbentuk U dengan kelangsungan hidup terendah pada kelembaban kisaran menengah (40% – 60% RH) (Tang, 2009). Kelembaban juga dapat memiliki efek lebih lanjut di mana mikroorganisme dilepaskan ke udara melalui aerosolisasi dari cairan, dengan kelembaban yang lebih rendah menghasilkan aerosol yang lebih kecil yang dapat ditangguhkan lebih lama di lingkungan (Tang, 2009).

Rekomendasi untuk suhu dan kelembaban di rumah sakit bervariasi menurut negara, musim, strategi ventilasi, dan area klinis rumah sakit. Panduan untuk rumah sakit Inggris merekomendasikan 18-28 ° C di daerah bangsal, dengan 18-25 di sebagian besar ruang klinis. Tidak ada rekomendasi khusus yang diberikan untuk kelembaban, dan jarang kelembaban dikendalikan (Hsu et al., 2012). Di Amerika Serikat, ASHRAE merekomendasikan 21-24 ° C di kamar pasien dan juga tidak menentukan kontrol kelembaban dan namun di area klinis, mereka biasanya merekomendasikan 30% – 60% RH (Sheerin MP, 2017). Rekomendasi untuk kamar pasien di Jepang bervariasi berdasarkan musim dengan suhu (24– 27 ° C) dan kelembaban (50% – 60% RH) direkomendasikan untuk musim panas dibandingkan dengan musim dingin (20– 24 ° C, 40% – 50% RH) (Tang, 2009).

Kurangnya korelasi yang jelas antara beban mikroba di udara dan suhu dan kelembaban kemungkinan mencerminkan berbagai macam mikroorganisme yang ada di rumah sakit dan respons mereka yang berbeda terhadap kondisi lingkungan. Data lebih lanjut yang mengukur prevalensi spesies mikroba tertentu akan membantu untuk memahami bagaimana hubungan ini bergantung pada mikroorganisme tertentu. Pemahaman tentang bagaimana suhu dan kelembaban mempengaruhi penguapan aerosol mikroba juga menimbulkan pertanyaan, apakah rentang suhu yang lebih besar dan kelembaban relatif musim dingin yang lebih rendah (20% – 35%) terlihat di lingkungan rumah sakit berventilasi alami di iklim dingin memiliki tingkat suspensi mikroorganisme yang lebih tinggi di udara, tingkat pengendapan yang lebih rendah pada permukaan, atau tingkat kelangsungan hidup patogen udara yang lebih rendah daripada di ruang dengan tingkat kontrol yang lebih tinggi melalui sistem HVAC bangunan. Sebuah studi mendalam di berbagai lingkungan yang sebanding akan diperlukan untuk menjawab pertanyaan ini.

Tingkat ventilasi

Hubungan signifikan moderat dan positif antara konsentrasi bakteri di udara dan CO₂ menggunakan perkiraan gabungan adalah menengah, dan interval kepercayaan ketat $r = 0,53$ (95% CI = [0,40; 0,64]), $p < 0,001$. Hasil ini menyoroti kemungkinan pentingnya (1) ventilasi, yang merupakan proses menipiskan, menghilangkan dan mengganti udara di area tertentu secara alami atau mekanis, dan (2) hunian ruangan yang akan berkontribusi pada pembentukan bakteri melalui sumber pernapasan, penumpahan kulit alami, dan kegiatan seperti pembuatan tempat tidur yang dapat menanggulangi mikroorganisme (Dougall et al., 2019; Park et al., 2013; Yang et al., 2014).

Sebaliknya, tidak ada hubungan antara konsentrasi TF dan tingkat CO₂. Hasil ini dapat ditafsirkan menurut penelitian sebelumnya yang menemukan orang menumpahkan setengah jumlah bakteri sebagai jamur (Cundell, 2018). Kemungkinan juga bahwa dalam banyak pengaturan, TF dipengaruhi oleh jamur di udara luar dan karenanya hanya akan dipengaruhi oleh ventilasi jika ada filtrasi yang efektif di tempat (Tambekar et al., 2007). Penelitian telah menunjukkan bahwa tingkat tingkat CO₂ memiliki korelasi positif dengan kamar yang ditempati, suhu kamar, dan kelembaban relatif. (Al-Shahwani, 2005; Park et al., 2013; Yang et al., 2014) Meskipun dimungkinkan untuk memperkirakan tingkat ventilasi menggunakan tingkat CO₂ yang dihembuskan sebagai proksi, mengukur tingkat ventilasi tidak langsung. Tingkat ventilasi yang direkomendasikan di bangsal rumah sakit bervariasi di seluruh dunia dan tergantung pada iklim dan pendekatan ventilasi. Di Amerika Serikat, ASHRAE merekomendasikan 6 ACH dan namun hanya 2 ACH yang diperlukan untuk menjadi segar udara dan 4 ACH sisanya dapat disirkulasikan ulang dengan filtrasi yang sesuai. Rumah sakit Inggris merekomendasikan 6 ACH udara segar penuh, tetapi mengizinkan ventilasi alami yang akan bervariasi. (Demirel et al., 2017) Tingkat ventilasi di banyak rumah sakit tidak selalu

memenuhi standar ini dan mencerminkan standar pada saat konstruksi dan pemeliharaan sistem ventilasi.

Partikulat

Materi partikulat udara dapat menjadi indikasi transportasi dan pengendapan mikroorganisme di udara, dan di mana mikroorganisme dilepaskan bersamaan dengan aktivitas pembangkit partikel lainnya, penting untuk memahami apakah pengukuran partikel merupakan proksi yang berguna untuk mikroorganisme. Jelaslah bahwa partikel berukuran $<5 \mu\text{m}$ kemungkinan besar akan sangat penting karena mereka termasuk dalam kisaran ukuran bioaerosol yang dapat tetap berada di udara untuk jangka waktu yang lama (antara 100 dan 1000 detik). (Mingotti et al., 2020) Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada korelasi positif yang cukup signifikan antara mikroorganisme di udara, konsentrasi massa partikel (≤ 5) $\mu\text{g} / \text{m}^3$, dan konsentrasi partikel diameter (≤ 5 dan $>5 \mu\text{m}$) partikel/ m^3 , meskipun tidak signifikan. Cantly berkorelasi dengan konsentrasi massa partikel $>5 \mu\text{g}$. Sulit untuk menentukan apakah hubungan antara mikroorganisme di udara dan partikel ini secara langsung atau tidak langsung merupakan hasil dari lingkungan rumah sakit.

Penelitian sebelumnya menggambarkan bahwa peningkatan aktivitas di bangsal rumah sakit (misalnya, pasien mandi atau toilet luka di balik tirai tertutup) berkorelasi dengan peningkatan konsentrasi bioaerosol dan partikel; Bangsal umumnya penuh dengan pasien, petugas kesehatan, dan pengunjung yang menyebabkan kontaminasi dan kontaminasi ulang lingkungan. (Hathway et al., 2011) Selain itu, hunian manusia memiliki hubungan yang kuat dengan konsentrasi massa partikel dalam ruangan (Licina et al., 2016). Namun, konsentrasi massa partikel yang jauh lebih tinggi dapat dikaitkan dengan polusi udara luar ruangan yang diperkirakan tidak berkorelasi dengan sumber mikroorganisme di bangsal rumah sakit. Akibatnya, metode DAG menunjukkan bahwa ini bisa menjadi faktor yang dapat dikontrol dalam studi pengukuran di masa depan. Sebuah studi baru-baru ini berdasarkan percobaan model yang disederhanakan menyoroti bahwa pergerakan orang mungkin memainkan peran penting dalam penyebaran aerosol berukuran 5-10 μm sejauh 15 m dari sumber asli di koridor dan kemungkinan di ruangan bangunan (Mingotti et al., 2020).

Keterbatasan

Untuk sebagian besar analisis, data diambil dari sejumlah kecil penelitian, meskipun jumlah total sampel di semua studi lebih besar. Studi-studi ini dilakukan di beberapa rumah sakit yang berbeda di 11 negara yang berbeda dan berbagai bangsal dan ruang klinis yang berbeda. Negara-negara ini semua akan memiliki sistem perawatan kesehatan yang berbeda, desain rumah sakit, manajemen rumah sakit, dan campuran pasien. Oleh karena itu mungkin bahwa korelasi negatif dan positif yang diamati dapat dikaitkan dengan variabel perancu yang mengubah arah dan kekuatan hubungan (Hunter & Schmidt, 2022). Pekerjaan sebelumnya menunjukkan bahwa status infeksi pasien (tidak dijajah, terinfeksi, dan / atau dijajah) dan kegiatan perawatan klinis keduanya berkorelasi dengan peningkatan konsentrasi mikroorganisme di udara (Dougall et al., 2019; Hathway et al., 2011; Sexton et al., 2006) Oleh karena itu, variabel perancu, seperti kondisi pasien, jumlah orang, aktivitas petugas kesehatan, dan area dalam ruangan yang diteliti, perlu dikontrol dalam analisis. Misalnya, melalui penggunaan regresi multivariat untuk memperkirakan ukuran efek. Seperti dibahas di atas, desain sistem ventilasi, pemanas, dan pendingin udara perawatan kesehatan akan bervariasi di setiap negara dan ini akan berdampak lebih lanjut pada beban mikroba yang diukur serta parameter IAQ. Karena jumlah penelitian kecil, parameter ini tidak dapat dikelompokkan untuk mengendalikan potensi pembaur ini.

Ulasan ini menyoroiti kurangnya data yang baik tentang hubungan antara mikroorganismen dan kondisi lingkungan dari pengaturan perawatan kesehatan, dengan sebagian besar pengetahuan tentang faktor-faktor ini berasal dari studi laboratorium terkontrol. Meskipun ada banyak penelitian yang telah mengambil sampel mikroorganismen di rumah sakit, ada sangat sedikit penelitian yang dirancang untuk dapat menangkap berbagai informasi lingkungan, aktivitas, dan mikroba. Terlepas dari kenyataan bahwa ada beberapa makalah yang menunjukkan pengaruh kehadiran dan aktivitas petugas kesehatan dalam melepaskan atau menyebarkan mikroorganismen,8 ini biasanya terjadi selama snapshot pengambilan sampel, dan ada sedikit data tentang pengaruh kegiatan ini pada penyebaran dan pengendapan mikroorganismen dari waktu ke waktu. Beberapa penelitian dapat memberikan bukti tentang sebab-akibat, dan oleh karena itu, penelitian di masa depan perlu menyelidiki mekanisme gabungan dalam pengaturan dunia nyata yang mendukung atau menyebabkan parameter IAQ mempengaruhi dispersi, kelangsungan hidup, dan pengendapan mikroorganismen. Selain itu, penelitian juga perlu mempertimbangkan implikasi dari setiap hubungan untuk pengendalian infeksi. Untuk mencapai hal ini, kolaborasi lintas disiplin antara ahli mikrobiologi, spesialis pengendalian infeksi dengan keahlian dalam ventilasi, dan IAQ sangat penting untuk merancang studi yang efektif.

SIMPULAN

Kami telah secara sistematis meninjau studi yang mengambil sampel mikroorganismen di udara di bangsal rumah sakit dan menyajikan data kuantitatif dengan satu atau lebih parameter IAQ (suhu, kelembaban relatif, CO₂, konsentrasi massa partikel, dan ukuran partikel). Kami menemukan bahwa hanya ada sejumlah kecil penelitian yang menyediakan data kuantitatif untuk menilai hubungan antara mikroorganismen di udara dan parameter IAQ dari pengukuran yang dilakukan di rumah sakit di luar pengaturan dengan ventilasi spesialis (misalnya, ruang operasi). Secara keseluruhan, kita dapat menyimpulkan hal berikut dari meta-analisis: Kemungkinan ada korelasi positif antara bakteri di udara dan jenis mikroorganismen lainnya, terutama jamur. Ada korelasi positif antara bakteri dan jamur di udara, diukur sebagai ACC, dan beberapa parameter IAQ (suhu, CO₂, partikel berukuran ≤ 5 dan $> 5 \mu\text{m}$, dan konsentrasi massa partikel $\leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Namun, data tidak menunjukkan korelasi yang jelas dengan kelembaban relatif, dan korelasi antara parameter TF dan IAQ lemah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, F., Samaei, M. R., Manoochehri, Z., at all (2020). The effect of incubation temperature and growth media on index microbial fungi of indoor air in a hospital building in Shiraz, Iran. *Journal of Building Engineering*, 31, 101294. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101294>
- Abdelrahman, H., Abu-Rub, L., al Mana, H., at all (2022). Assessment of Indoor Air Quality of Four Primary Health Care Centers in Qatar. *Microorganisms*, 10(10), 2055. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102055>
- Abdel-Salam, M. M. M. (2022). Relationship between residential indoor air quality and socioeconomic factors in two urban areas in Alexandria, Egypt. *Building and Environment*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108425>
- Al-Shahwani, M. F. (2005). *العالمية للصحة منظمة، للتوسط لشر للصحية*. ٢٠٠٥، ٥-٦، العدد ٥٠-٦٠، *مجلة* Bacterial distribution analysis of the atmosphere of two hospitals in Ibb, Yemen *مجلة* *العالمية للصحة منظمة، للتوسط لشر للصحية* ٢٠٠٥، ٥-٦، العدد ٥٠-٦٠، *مجلة* .Mediterranean Health Journal (Vol. 11, Issue 5)

- Arikan, İ., Tekin, Ö. F., & Erbas, O. (2019). Relationship between sick building syndrome and indoor air quality among hospital staff. *La Medicina Del Lavoro*, 109(6), 435. <https://doi.org/10.23749/MDL.V110I6.7628>
- Asif, A., Zeeshan, M., Hashmi, I., at all (2018). Microbial quality assessment of indoor air in a large hospital building during winter and spring seasons. *Building and Environment*, 135, 68–73. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.03.010>
- Baurès, E., Blanchard, O., Mercier, F., at all (2020). Indoor air quality in two French hospitals: Measurement of chemical and microbiological contaminants. *Science of The Total Environment*, 642, 168–179. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.06.047>
- Bharti, B., Li, H., Ren, Z., at all (2022). Recent advances in sterilization and disinfection technology: A review. *Chemosphere*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136404>
- Capolongo, S., Gola, M., Brambilla, A., at all (2020). COVID-19 and healthcare facilities: A decalogue of design strategies for resilient hospitals. *Acta Biomedica*, 91, 50–60. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i9-S.10117>
- Cundell, A. M. (2018). Microbial Ecology of the Human Skin. *Microbial Ecology*, 76(1), 113–120. <https://doi.org/10.1007/S00248-016-0789-6/METRICS>
- Demirel, R., Sen, B., Kadaifciler, D., at all (2017). Indoor airborne fungal pollution in newborn units in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(7), 1–11. <https://doi.org/10.1007/S10661-017-6051-Y/METRICS>
- Dougall, L. R., Booth, M. G., Khoo, E., at all (2019). Continuous monitoring of aerial bioburden within intensive care isolation rooms and identification of high-risk activities. *Journal of Hospital Infection*, 103(2), 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2019.05.010>
- Ehrlich, R., Miller, S., & Walker, R. L. (1970). Relationship Between Atmospheric Temperature and Survival of Airborne Bacteria. In *APPLIED MICROBIOLOGY* (Vol. 19, Issue 2). <https://journals.asm.org/journal/am>
- Fekadu, S., & Getachewu, B. (2015). Microbiological Assessment of Indoor Air of Teaching Hospital Wards: A case of Jimma University Specialized Hospital. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, 25(2), 117–122. <https://doi.org/10.4314/ejhs.v25i2.3>
- Fernández-Agüera, J., Domínguez-Amarillo, S., Campano, at all (2022). Effects of covid-induced lockdown on inhabitants' perception of indoor air quality in naturally ventilated homes. *Air Quality, Atmosphere and Health*. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01239-3>
- Fonseca, A., Abreu, I., Guerreiro, M. J., at all (2019). Indoor air quality and sustainability management-Case study in three Portuguese healthcare units. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/su11010101>
- Gola, M., Settimo, G., & Capolongo, S. (2019). Indoor Air Quality in Inpatient Environments: A Systematic Review on Factors that Influence Chemical Pollution in Inpatient Wards. In *Journal of Healthcare Engineering* (Vol. 2019). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2019/8358306>

- Haig, C. W., Mackay, W. G., Walker, at all (2016). Bioaerosol sampling: Sampling mechanisms, bioefficiency and field studies. In *Journal of Hospital Infection* (Vol. 93, Issue 3, pp. 242–255). W.B. Saunders Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2016.03.017>
- Hathway, E. A., Noakes, C. J., Fletcher, at all (2011). The Role of Nursing Activities on the Bioaerosol Production in Hospital Wards. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/1420326X11428088*, 22(2), 410–421. <https://doi.org/10.1177/1420326X11428088>
- Hsu, Y. C., Kung, P. Y., Wu, T. N., at all (2012). Characterization of indoor-air bioaerosols in Southern Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(4), 651–661. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.03.0070>
- Hu, H., Cohen, G., Sharma, B., Dalam, K., & Kesehatan, P. (2022). Hao Yin,4,5 dan Rob McConnell1 Tinjauan Tahunan Lingkungan dan Sumber Daya. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112320>
- Hunter, J. E., & Schmidt, F. L. (2022). Fixed Effects vs. Random Effects Meta-Analysis Models: Implications for Cumulative Research Knowledge.
- Ilić, P., Markić, D. N., Bjelić, L. S., at all (2022). Ventilation strategies for healthy indoors in hospitals. *Viruses, Bacteria and Fungi in the Built Environment: Designing Healthy Indoor Environments*, 273–287. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85206-7.00010-1>
- Jafakesh, S., Mirhadian, L., Pasha, A., at all (2020). Sick Building Syndrome in Nurses of Intensive Care Units and Its Associated Factors. *Journal of Holistic Nursing and Midwifery*, 29(3), 145–152. <https://doi.org/10.32598/JHNM.29.3.145>
- Kesehatan Lingkungan, D., Kesehatan Masyarakat Norwegia, I., ak FOPH, N., Federal Kesehatan Masyarakat, K., ap, S., manusia Komisi, B., Penelitian Gabungan, P., Luar Angkasa, D., dan Migrasi, K., Pusat Radiasi, B., Kimia dan Lingkungan, B., Masyarakat Inggris, K., Irlandia Ekonomi melingkar, I., & Perilaku Kesehatan Lingkungan, L. (2020). Campuran bahan kimia. <https://www.hbm4eu.eu/>
- Kim, Y. K., Abdou, Y., Abdou, A., at all (2022). Indoor Environmental Quality Assessment and Occupant Satisfaction: A Post-Occupancy Evaluation of a UAE University Office Building. *Buildings*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/buildings12070986>
- Licina, D., Bhangar, S., Brooks, B., at all (2016). Concentrations and sources of airborne particles in a neonatal intensive care unit. *PLoS ONE*, 11(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154991>
- Liu, F., Yan, L., Meng, at all (2022). A review on indoor green plants employed to improve indoor environment. *Journal of Building Engineering*, 53, 104542. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.104542>
- Lucialli, P., Marinello, S., Pollini, E., at all (2020). Indoor and outdoor concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in some Italian schools evaluation of areas with different air pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 11(11), 1998–2010. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2020.08.007>
- Mannan, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Indoor air quality in buildings: A comprehensive review on the factors influencing air pollution in residential and commercial structure. In

- International Journal of Environmental Research and Public Health (Vol. 18, Issue 6, pp. 1–24). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063276>
- Martic, I., Jansen-Dürr, P., & Cavinato, M. (2022). Effects of Air Pollution on Cellular Senescence and Skin Aging. In *Cells* (Vol. 11, Issue 14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cells11142220>
- Mata, T. M., Felgueiras, F., Martins, A. A., at all (2022). Indoor Air Quality in Elderly Centers: Pollutants Emission and Health Effects. In *Environments - MDPI* (Vol. 9, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/environments9070086>
- Mata, T. M., Martins, A. A., Calheiros, at all (2022). Indoor Air Quality: A Review of Cleaning Technologies. In *Environments - MDPI* (Vol. 9, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/environments9090118>
- McEldowney, S., & Fletcher, M. (1988). The effect of temperature and relative humidity on the survival of bacteria attached to dry solid surfaces. *Letters in Applied Microbiology*, 7(4), 83–86. <https://doi.org/10.1111/J.1472-765X.1988.TB01258.X>
- Mingotti, N., Wood, R., Noakes, at all (2020). The mixing of airborne contaminants by the repeated passage of people along a corridor. *Journal of Fluid Mechanics*, 903. <https://doi.org/10.1017/jfm.2020.671>
- Morawska, L., Tang, J. W., Bahnfleth, W., at all (2020). How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? In *Environment International* (Vol. 142). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- Møretrø, T., Heir, E., Mo, K. R., Habimana, at all (2010). Factors affecting survival of Shigatoxin-producing *Escherichia coli* on abiotic surfaces. *International Journal of Food Microbiology*, 138(1–2), 71–77. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2010.01.002>
- Park, D. U., Yeom, J. K., Lee, W. J., at all (2013). Assessment of the levels of airborne bacteria, gram-negative bacteria, and fungi in hospital lobbies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(2), 541–555. <https://doi.org/10.3390/ijerph10020541>
- Richard Fuller, P. J. L. K. B. G. B. S. B.-O. M. B. J. C. T. C. A. C. L. C. M. C. G. F. J. H. (2022). *Polusi dan kesehatan: pembaruan kemajuan*.
- Saad Baqer, N., Mohammed, H. A., Albahri, at all (2022). Development of the Internet of Things sensory technology for ensuring proper indoor air quality in hospital facilities: Taxonomy analysis, challenges, motivations, open issues and recommended solution. *Measurement*, 192, 110920. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2022.110920>
- Settimo, G., Gola, M., & Capolongo, S. (2020). The relevance of indoor air quality in hospital settings: From an exclusively biological issue to a global approach in the Italian context. *Atmosphere*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/atmos11040361>
- Sexton, T., Clarke, P., O'Neill, E., at all (2006). Environmental reservoirs of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in isolation rooms: correlation with patient isolates and implications for hospital hygiene. *Journal of Hospital Infection*, 62(2), 187–194. <https://doi.org/10.1016/J.JHIN.2005.07.017>

- Sheerin MP, G. F. A. D. (2017). EBSCOhost | 139716003 | A History of the Changing Concepts on Health-Care Ventilation. <https://web.s.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00012505&AN=139716003&h=KHAN%2b%2fu4VeAqau45tkQYWokyvQEmHv%2b9gub%2fDi4eOTaIRK6GJ3h8j13Rutxiq3dBKgExYP8IOFcKuJxB7AEWPg%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d00012505%26AN%3d139716003>
- Sousa, J. (2022). Association between home characteristics and occupant's behaviours and concentrations of bacteria, fungi and endotoxins. *Journal of Building Engineering*, 45, 103409. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103409>
- Staszowska, A. (2022). Microbiological Quality of Indoor and Outdoor Air in a Municipal Wastewater Treatment Plant – A Case Study. *Journal of Ecological Engineering*, 23(2), 185–190. <https://doi.org/10.12911/22998993/145202>
- Sultan, Z., Li, J., Pantelic, J., at all (2022). Indoor Air Pollution of Outdoor Origin: Mitigation Using Portable Air Cleaners in Singapore Office Building. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(10), 220204. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220204>
- Tambekar, D. H., Gulhane, P. B., & Bhokare, D. D. (2007). Studies on environmental monitoring of microbial air flora in the hospitals. *Journal of Medical Sciences*, 7(1), 67–73. <https://doi.org/10.3923/jms.2007.67.73>
- Tang, J. W. (2009). The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. In *Journal of the Royal Society Interface* (Vol. 6, Issue SUPPL. 6). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0227.focus>
- Tistad, M., Wallin, L., & Carlström, E. (2022). A comparison of three organisational levels in one health care region in Sweden implementing person-centred care: coupled, decoupled or recoupled in a complex organisation. *BMC Health Services Research*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-022-07548-8>
- World Health Organization. (2022). Optimizing brain health across the life course. <http://apps.who.int/bookorders>.
- Yang, C. T., Liao, C. J., Liu, at all (2014). Construction and application of an intelligent air quality monitoring system for healthcare environment. *Journal of Medical Systems*, 38(2), 1–10. <https://doi.org/10.1007/S10916-014-0015-3/METRICS>
- Zoz, F., Iaconelli, C., Lang, E., at all (2016). Control of relative air humidity as a potential means to improve hygiene on surfaces: A preliminary approach with *Listeria monocytogenes*. *PLoS ONE*, 11(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148418>