

## Dampak Kualitas Udara Dalam Ruangan Terhadap Kejadian ISPA di Kecamatan Medan Denai, Kota Medan

Sri Lestari Ramadhani Nasution<sup>1</sup>, Ermi Girsang<sup>1\*</sup>, Erika Fatrecia Marsaulina Butar-Butar<sup>1</sup>, Nandani Zakia Hafizah<sup>1</sup>, Putranto Manalu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran, Kedokteran Gigi dan Ilmu Kesehatan, Universitas Prima Indonesia, Indonesia

<sup>2</sup>Bagian Kebijakan dan Manajemen Kesehatan, Fakultas Kedokteran, Kedokteran Gigi dan Ilmu Kesehatan, Universitas Prima Indonesia, Indonesia

\*Corresponding author: [ermigirsang@unprimdn.ac.id](mailto:ermigirsang@unprimdn.ac.id)

*Info Artikel: Diterima 20 Januari 2025; Direvisi 30 Juni 2025; Disetujui 17 Juli 2025*

*Tersedia online: 25 Agustus 2025; Diterbitkan secara teratur: Oktober 2025*



**Cara sitasi:** Nasution SLR, Girsang E, Butar-Butar EFM, Hafizah NZ, Manalu P. Dampak Kualitas Udara Dalam Ruangan Terhadap Kejadian ISPA di Kecamatan Medan Denai, Kota Medan. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2025 Oct;24(3):277-286. <https://doi.org/10.14710/jkli.70451>.

### ABSTRAK

**Latar Belakang:** Tingginya angka kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) di Kecamatan Medan Denai diduga kuat berkaitan dengan buruknya kualitas udara dalam ruangan, khususnya di kawasan padat penduduk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara berbagai parameter kualitas udara dalam ruangan dengan kejadian ISPA di wilayah tersebut.

**Metode:** Penelitian ini menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional*. Sampel terdiri dari 300 responden dari rumah-rumah di area padat penduduk Kecamatan Medan Denai yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling. Data mengenai parameter fisik dan kimia kualitas udara serta status ISPA dikumpulkan melalui pengukuran langsung, kuesioner, dan observasi. Data dianalisis menggunakan uji chi-square.

**Hasil:** Ditemukan hubungan signifikan antara kejadian ISPA dengan suhu udara, kelembapan, laju ventilasi, kadar SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, dan paparan asap rokok ( $p < 0,05$ ). Hasil analisis menunjukkan bahwa laju ventilasi yang buruk meningkatkan risiko ISPA sebesar 26,4 kali ( $RR=26,430$ ), kelembapan yang tidak sesuai standar meningkatkan risiko 43,8 kali ( $RR=43,84$ ), dan paparan asap rokok meningkatkan risiko 5,5 kali ( $RR=5,550$ ). Sementara itu, tingkat pencahayaan, kadar timbal (Pb), formaldehida (HCHO), dan *volatile organic compounds* (VOC) tidak menunjukkan hubungan yang signifikan.

**Simpulan:** Kualitas udara dalam ruangan yang tidak memenuhi standar, terutama laju ventilasi yang buruk, secara signifikan meningkatkan risiko kejadian ISPA di Kecamatan Medan Denai. Pemilik rumah direkomendasikan untuk secara aktif meningkatkan sirkulasi udara dengan cara membuka jendela dan pintu secara teratur untuk memastikan pertukaran udara yang memadai. Selain itu, penting untuk mengendalikan sumber polusi di dalam rumah, seperti tidak merokok di dalam ruangan, serta menjaga suhu dan kelembapan pada tingkat yang ideal untuk meminimalkan risiko penyakit pernapasan. Edukasi dan pemantauan berkala oleh pemerintah juga diperlukan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat.

**Kata kunci:** kualitas udara dalam ruangan; parameter fisik; parameter kimia; ISPA

### ABSTRACT

**Title: The Impact of Indoor Air Quality on the Incidence of Acute Respiratory Infections (ARIs) in Medan Denai Sub-district, Medan City**

**Background:** The high incidence of Acute Respiratory Infections (ARIs) in the Medan Denai Sub-district is strongly suspected to be associated with poor indoor air quality, particularly in densely populated areas. This study aimed to analyze the relationship between various indoor air quality parameters and the incidence of ARIs in the region.

**Method:** This research employed an analytical observational design with a cross-sectional approach. The sample comprised 300 respondents from households in densely populated areas of Medan Denai Sub-district, selected using purposive sampling. Data on physical and chemical air quality parameters and ARI status were collected through direct measurements, questionnaires, and observations. The data were analyzed using the chi-square test.

**Result:** A significant relationship was found between the incidence of ARIs and air temperature, humidity, ventilation rate, levels of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, and exposure to tobacco smoke ( $p < 0.05$ ). The results indicate that poor ventilation increases the risk of ARIs by 26.4 times (RR = 26.43), non-standard humidity increases the risk by 43.8 times (RR = 43.84), and exposure to tobacco smoke increases the risk by 5.5 times (RR = 5.55). Conversely, lighting levels, lead (Pb), formaldehyde (HCHO), and volatile organic compounds (VOCs) showed no significant association.

**Conclusion:** Substandard indoor air quality, especially poor ventilation, significantly increases the risk of ARIs in Medan Denai Sub-district. Homeowners are advised to actively improve air circulation by regularly opening windows and doors to ensure adequate air exchange. Furthermore, controlling indoor pollution sources, such as refraining from smoking indoors, and maintaining optimal temperature and humidity levels are crucial to minimizing the risk of respiratory diseases. Public education and regular monitoring by government agencies are essential to raise awareness and promote healthier indoor environments.

**Keywords:** indoor air quality; physical parameters; chemical parameters; acute respiratory infections

## PENDAHULUAN

Kesehatan pernapasan sangat penting untuk kesehatan secara keseluruhan, karena paru-paru memainkan peran penting dalam mengoksigenasi tubuh dan membuang karbon dioksida.<sup>1</sup> Paru-paru yang sehat tidak hanya penting untuk mempertahankan hidup, tetapi juga untuk mendukung aktivitas fisik dan melindungi dari penyakit pernapasan.<sup>2</sup> Penyakit pernapasan sendiri masih menjadi masalah kesehatan global yang signifikan. Lima penyakit pernapasan utama menyumbang 17,4% dari semua kematian di seluruh dunia: PPOK, pneumonia, kanker paru-paru, tuberkulosis, dan asma.<sup>3-5</sup> Lingkungan secara signifikan memengaruhi kesehatan pernapasan, dengan faktor-faktor seperti kualitas udara, polusi, dan alergen yang memengaruhi fungsi paru-paru dan hasil kesehatan secara keseluruhan.<sup>6,7</sup>

Kualitas udara dalam ruangan sangat penting dalam konteks ini. Penelitian kontemporer menyoroti pentingnya kualitas udara dalam ruangan, karena sebagian besar orang menghabiskan 80-90% waktunya di dalam ruangan.<sup>8</sup> Udara dalam ruangan yang buruk dapat menyebabkan berbagai masalah pernapasan, termasuk asma dan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK).<sup>9</sup> Polutan dalam ruangan yang umum, seperti asap, jamur, dan senyawa organik yang mudah menguap (*volatile organic compounds*/VOC), dapat memperburuk kondisi yang sudah ada dan berkontribusi pada masalah kesehatan baru. Oleh karena itu, menjaga kualitas udara dalam ruangan yang baik sangat penting untuk melindungi kesehatan pernapasan dan meningkatkan kualitas hidup.<sup>10-12</sup>

Kualitas udara dalam ruangan di lingkungan perkotaan dipengaruhi oleh interaksi kompleks berbagai faktor. Kepadatan penduduk yang tinggi, karakteristik infrastruktur perkotaan, dan aktivitas manusia berkontribusi secara signifikan terhadap penurunan kualitas udara dalam ruangan, yang berdampak pada kesehatan masyarakat, terutama kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan individu dengan penyakit kronis. Kepadatan penduduk yang tinggi di perkotaan berbanding lurus dengan tingkat hunian pada tempat tinggal vertikal seperti apartemen dan rumah susun. Kondisi ini meningkatkan potensi akumulasi kontaminan udara dari berbagai sumber secara simultan.<sup>13</sup> Kepadatan bangunan di perkotaan seringkali menghambat ventilasi alami yang optimal sehingga kurang efektif dalam mengurangi konsentrasi polutan di dalam ruangan.<sup>14</sup> Selain itu, aktivitas perkotaan seperti emisi kendaraan bermotor, kegiatan industri, dan proyek konstruksi menghasilkan tingkat polusi eksternal yang tinggi. Partikulat (PM), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), dan polutan lainnya dapat dengan mudah masuk ke dalam bangunan melalui celah dan bukaan, memperburuk kualitas udara dalam ruangan secara signifikan.<sup>15,16</sup> Terbatasnya ruang hijau memperparah akumulasi CO<sub>2</sub> di lingkungan perkotaan.

Selain polutan eksternal, berbagai sumber internal juga berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara dalam ruangan. Literatur melaporkan bahwa peralatan pemanas, kompor, dan perapian menghasilkan emisi seperti karbon dioksida, karbon monoksida, dan senyawa organik volatil.<sup>11</sup> Produk pembersih dan perawatan pribadi juga melepaskan senyawa kimia yang dapat terakumulasi di dalam

ruangan.<sup>17</sup> Lingkungan lembab, yang umum ditemukan di kamar mandi dan ruang bawah tanah, memicu pertumbuhan jamur yang melepaskan spora dan memperburuk masalah pernapasan.<sup>13</sup> Beberapa penelitian juga menyimpulkan Polusi udara dalam ruangan sering kali melebihi tingkat di luar ruangan, sehingga menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan. Faktor-faktor seperti penggunaan bahan kimia rumah tangga, asap rokok, dan kelembapan yang berlebihan berkontribusi terhadap kualitas udara yang buruk, terutama di daerah padat penduduk.<sup>18,19</sup>

Sekitar 6,99% penduduk Kota Medan tinggal di Kecamatan Medan Denai. Pada tahun 2022, kecamatan ini dihuni oleh 171.908 jiwa, menjadikannya kawasan terpadat ke-4 di kota dengan kepadatan 18.995 jiwa/km<sup>2</sup>.<sup>20</sup> Kecamatan Medan Denai mencatat angka kasus penyakit pernapasan yang mengkhawatirkan, dengan infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) mencapai 8.961 kasus pada tahun 2023. Tingginya angka ini diduga berkaitan erat dengan kualitas udara dalam ruangan yang buruk di banyak rumah. Beberapa faktor berkontribusi terhadap kondisi ini, antara lain kepadatan penduduk, ventilasi yang kurang memadai, dan rendahnya kesadaran masyarakat akan pentingnya kualitas udara dalam ruangan. Kualitas udara dalam ruangan dapat diukur melalui berbagai parameter, meliputi parameter fisik (misalnya partikulat dan suhu), kimia (misalnya SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan CO), dan biologis (misalnya bakteri dan jamur).<sup>21</sup>

Pemahaman dan penanganan masalah kualitas udara dalam ruangan sangat krusial untuk meminimalkan risiko penyakit pernapasan dan meningkatkan kesehatan masyarakat secara menyeluruh. Dampak kualitas udara dalam ruangan terhadap kesehatan pernapasan menjadi isu krusial, terutama di lingkungan perkotaan padat seperti Kecamatan Medan Denai. Studi awal terhadap 30 rumah di beberapa perumahan padat penduduk di Kecamatan Medan Denai mengidentifikasi beberapa faktor utama penyebab buruknya kualitas udara dalam ruangan. Faktor-faktor tersebut meliputi ventilasi alami yang kurang memadai atau sirkulasi udara yang buruk, yang memicu penumpukan polutan dan partikel berbahaya. Kontribusi lain berasal dari penggunaan produk rumah tangga yang mengandung bahan kimia (misalnya pembersih dan cat), asap rokok, penggunaan bahan bakar fosil pada peralatan rumah tangga (seperti kompor gas dan alat pemanas), serta kelembaban berlebihan yang mendukung pertumbuhan jamur dan bakteri. Oleh karena itu, penelitian dan intervensi yang berfokus pada perbaikan kualitas udara dalam ruangan sangat dibutuhkan untuk menekan angka kasus penyakit pernapasan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Studi ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kualitas udara dalam ruangan dengan kejadian ISPA pada penduduk di Kecamatan Medan Denai, Kota Medan.

Pemilihan parameter-parameter kualitas udara didasarkan pada urgensi untuk mengidentifikasi polutan dan kondisi lingkungan yang paling relevan

dengan lokasi penelitian dan potensi dampaknya terhadap kesehatan pernapasan. Pengukuran partikulat (PM) dianggap krusial mengingat kepadatan lalu lintas dan aktivitas perkotaan lainnya yang dapat menjadi sumber utama polusi partikel halus yang berbahaya bagi paru-paru. Parameter kimia seperti SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dipilih untuk mengevaluasi dampak emisi pembakaran dari kendaraan dan aktivitas lain. Sementara itu, pengukuran CO penting untuk mendeteksi potensi risiko dari penggunaan peralatan pembakaran di dalam ruangan. Dengan memahami keterkaitan antara kualitas udara dalam ruangan dengan kesehatan dan kesejahteraan manusia, para pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan dapat menerapkan strategi yang efektif untuk mengurangi dampak buruk kualitas udara yang buruk terhadap kesehatan pernapasan di lingkungan perkotaan, seperti Kota Medan.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan desain *cross sectional*, yang bertujuan untuk menganalisis dampak kualitas udara dalam ruang terhadap kesehatan pernapasan di lingkungan perumahan di Kecamatan Medan Denai, Kota Medan. Pemilihan lokasi ini didasari oleh tingginya angka kesakitan penyakit saluran pernapasan berdasarkan data Puskesmas Medan Denai, serta temuan survei awal yang mengindikasikan kualitas udara dalam ruangan yang buruk di banyak rumah. Penelitian dilaksanakan pada bulan September hingga Desember 2023, dengan pengumpulan data dilakukan pada bulan November 2023.

Populasi target dalam penelitian ini adalah seluruh rumah di Kecamatan Medan Denai yang berjumlah 50.477 rumah. Dari populasi tersebut, dipilih 892 rumah yang berlokasi di daerah padat penduduk (rumah kumuh) sebagai populasi sasaran, mengingat potensi penghuninya lebih tinggi untuk menderita penyakit pernapasan.<sup>22</sup> Penentuan besar sampel dalam penelitian ini didasarkan pada rumus Lemeshow<sup>23</sup> dan diperoleh besar sampel minimal untuk studi ini adalah 257 orang. Untuk mengantisipasi *non-response* dan memastikan representasi sampel yang memadai, jumlah sampel minimal yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah 300 responden. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling*. Proses penentuan sampel dimulai dengan mengidentifikasi rumah-rumah penduduk yang berlokasi di perumahan dengan kualitas udara dalam ruangan yang buruk. Lokasi ini menjadi fokus utama karena berkaitan langsung dengan topik penelitian, yaitu dampak kualitas udara dalam ruangan terhadap kesehatan atau aspek lainnya yang diteliti. Setelah identifikasi lokasi, peneliti kemudian menyeleksi calon responden berdasarkan kriteria inklusi: 1) Responden memiliki Kartu Tanda Penduduk (KTP) atau Kartu Keluarga (KK) yang menunjukkan bahwa mereka merupakan warga Kecamatan Medan Denai; 2) Responden berumur 21 tahun ke atas; 3) Responden dapat berkomunikasi menggunakan bahasa Indonesia;

dan 4) Responden secara sukarela bersedia berpartisipasi dalam penelitian.

Data penelitian ini diperoleh melalui pengumpulan data langsung dari responden dengan metode wawancara, penyebaran kuesioner, dan observasi. Data yang dikumpulkan mencakup informasi mengenai kualitas udara dalam ruangan dan kesehatan pernafasan responden. Pengukuran Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) untuk kualitas udara dalam ruangan mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan.<sup>24</sup> Parameter fisik kualitas udara dalam ruangan meliputi empat aspek penting yang diukur: 1) Suhu udara diukur dengan termometer dalam satuan derajat Celsius (°C), idealnya antara 18-30°C; 2) Tingkat pencahayaan diukur dengan *lux meter* dalam satuan Lux, dengan standar minimal 60 Lux; 3) Kelembapan diukur dengan higrometer dalam satuan persentase relatif (% Rh), idealnya antara 40-60% Rh; dan 4) Laju ventilasi diukur dengan anemometer dalam satuan meter per detik, idealnya antara 0,15-0,25 meter/detik. Selanjutnya hasil ukur pada masing-masing variabel diberi kode 0 untuk hasil ukur yang memenuhi SBMKL dan kode 1 untuk hasil ukur yang tidak memenuhi SBMKL.

Sedangkan parameter kimia mengukur komposisi dan kontaminan kimia di udara yang terdiri dari: 1) Kadar sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) diukur dengan *passive sampler* dalam satuan ppm (parts per million) dan kadar yang dipersyaratkan adalah 0,1 ppm (dalam 24 jam); 2) Kadar nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) diukur dengan spektrofotometer dalam satuan ppm (kadar yang dipersyaratkan adalah 0,04 ppm dalam 24 jam); 3) Kadar karbon monoksida (CO) diukur dengan *CO Analyser Pro* dalam satuan ppm dan kadar yang dipersyaratkan adalah 9,00 ppm (dalam 8 jam); 4) Kadar karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) diukur dengan *CO<sub>2</sub> Meter* dalam satuan ppm dan kadar yang dipersyaratkan adalah 1000 ppm (dalam 8 jam); 5) Kadar timbal (Pb) diukur dengan spektrofotometer dalam satuan µg/m<sup>3</sup> (mikrogram per meter kubik) dengan kadar yang dipersyaratkan adalah 1,5 µg/m<sup>3</sup> (dalam 15 menit); 6) Asap rokok (*Environmental Tobacco Smoke/ETS*) diukur dengan *smoke detector* dalam satuan µg/m<sup>3</sup> (kadar yang dipersyaratkan adalah 35 µg/m<sup>3</sup> dalam 24 jam); 7) Kadar formaldehida (HCHO) diukur dengan formaldemeter dalam satuan ppm dan kadar yang dipersyaratkan adalah 0,1 ppm (dalam 30 menit); dan 9) Kadar volatil (VOC) diukur dengan *VOC Sensor* dalam satuan ppm dan kadar yang dipersyaratkan adalah 3 ppm (dalam 8 jam). Selanjutnya hasil ukur pada masing-masing variabel diberi kode 0 untuk hasil ukur yang memenuhi SBMKL dan kode 1 untuk hasil ukur yang tidak memenuhi SBMKL. Kondisi saluran pernafasan diukur melalui kuesioner dan observasi, dikategorikan secara nominal sebagai: 0 (tidak menderita ISPA) atau 1 (menderita ISPA).

Pada studi ini, uji *chi square* digunakan untuk menguji hubungan antara kualitas udara dalam ruangan (parameter fisik dan parameter kimia) dan kejadian ISPA. Penelitian ini telah lolos uji kelayakan etik dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan Universitas Prima Indonesia (No: 014/KEPK/UNPRI/VI/2024).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menganalisis kondisi lingkungan rumah dan hubungannya dengan kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) pada 300 responden (Tabel 1). Untuk parameter fisik, suhu udara rata-rata adalah 27.67°C dengan standar deviasi 1.55°C. Mayoritas responden (60.7%) tinggal di rumah dengan suhu yang memenuhi Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL). Tingkat pencahayaan rata-rata adalah 127.35 Lux dengan standar deviasi 21.05 Lux. Menariknya, meskipun rata-rata pencahayaan tinggi, mayoritas responden (88.3%) tinggal di rumah dengan pencahayaan yang tidak memenuhi SBMKL, sementara hanya 11.7% yang memenuhi standar. Ini mungkin mengindikasikan bahwa meskipun nilai rata-rata secara keseluruhan tinggi, ada sebagian besar rumah yang memiliki masalah pencahayaan yang kurang memadai. Kelembapan rata-rata tercatat 47.98% Rh dengan standar deviasi 6.13% Rh. Sebagian besar responden (66.3%) tinggal di rumah dengan kelembapan yang memenuhi SBMKL. Laju ventilasi rata-rata adalah 0.17 m/dtk dengan standar deviasi 0.02 m/dtk. Mayoritas responden (71.3%) tinggal di rumah dengan laju ventilasi yang memenuhi standar.

Tabel 1. Distribusi Kondisi Lingkungan Dalam Rumah dan Kejadian ISPA (n=300)

| Variabel                          | n   | %    | Mean   | SD     |
|-----------------------------------|-----|------|--------|--------|
| Suhu udara (°C)                   |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 182 | 60,7 | 27,67  | 1,55   |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 118 | 39,3 |        |        |
| Tingkat pencahayaan (Lux)         |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 35  | 11,7 | 127,35 | 21,05  |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 265 | 88,3 |        |        |
| Kelembapan (%Rh)                  |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 199 | 66,3 | 47,98  | 6,13   |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 101 | 33,7 |        |        |
| Laju ventilasi (m/dtk)            |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 214 | 71,3 | 0,17   | 0,02   |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 86  | 28,7 |        |        |
| Kadar SO <sub>2</sub> (ppm)       |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 201 | 67,0 | 0,14   | 0,03   |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 99  | 33,0 |        |        |
| Kadar NO <sub>2</sub> (ppm)       |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 206 | 68,7 | 0,06   | 0,02   |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 94  | 31,3 |        |        |
| Kadar CO (ppm)                    |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 205 | 68,3 | 4,41   | 1,84   |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 95  | 31,7 |        |        |
| Kadar CO <sub>2</sub> (ppm)       |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 206 | 68,7 | 518,78 | 137,95 |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 94  | 31,3 |        |        |
| Kadar timbal (µg/m <sup>3</sup> ) |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 116 | 38,7 | 1,63   | 0,16   |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 184 | 61,3 |        |        |
| Asap rokok (µg/m <sup>3</sup> )   |     |      |        |        |
| Memenuhi SBMKL                    | 181 | 60,3 | 29,83  | 5,48   |
| Tidak memenuhi SBMKL              | 119 | 39,7 |        |        |
| Kadar formaldehida (HCHO) (ppm)   |     |      | 0,28   | 0,11   |

| Variabel                   | n   | %    | Mean | SD   |
|----------------------------|-----|------|------|------|
| Memenuhi SBMKL             | 66  | 22,0 |      |      |
| Tidak memenuhi SBMKL       | 234 | 78,0 |      |      |
| Kadar volatil (VOC) (ppm)  |     |      |      |      |
| Memenuhi SBMKL             | 227 | 77,7 | 3,39 | 0,50 |
| Tidak memenuhi SBMKL       | 73  | 24,3 |      |      |
| Kondisi saluran pernapasan |     |      |      |      |
| Tidak menderita ISPA       | 207 | 69   |      |      |
| Menderita ISPA             | 93  | 31   |      |      |

Tabel 1 menunjukkan bahwa, untuk parameter kimia, kadar sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) memiliki rata-rata 0,14 ppm dengan standar deviasi 0,03 ppm. Meskipun 67,0% responden tinggal di rumah dengan kadar SO<sub>2</sub> yang memenuhi SBMKL, masih ada 33,0% yang terpapar di atas ambang batas. Kadar nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) rata-rata 0,06 ppm dengan standar deviasi 0,02 ppm, di mana 68,7% responden memenuhi SBMKL, namun 31,3% tidak. Kadar karbon monoksida (CO) rata-rata 4,41 ppm dengan standar deviasi 1,84 ppm, dengan 68,3% memenuhi SBMKL. Kadar karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) rata-rata adalah 518,78 ppm dengan standar deviasi 137,95 ppm, dengan 68,7% memenuhi SBMKL. Namun, untuk kadar timbal (Pb), rata-rata adalah 1,63 µg/m<sup>3</sup> dengan standar deviasi 0,16 µg/m<sup>3</sup>, dan mayoritas responden (61,3%) tinggal di rumah dengan kadar timbal di atas standar. Kadar asap rokok rata-rata 29,83 µg/m<sup>3</sup> dengan standar deviasi 5,48 µg/m<sup>3</sup>, di mana 60,3% responden tinggal di rumah dengan kadar yang memenuhi SBMKL. Yang mengkhawatirkan, kadar formaldehida (HCHO) rata-rata adalah 0,28 ppm dengan standar deviasi 0,11 ppm, dan proporsi tertinggi (78,0%) responden tinggal di rumah dengan kadar HCHO di atas standar yang direkomendasikan. Akhirnya, kadar volatil (VOC) rata-rata 3,39 ppm dengan standar deviasi 0,50 ppm, di mana 77,7% responden memenuhi standar. Sebanyak 31% (93 orang) didiagnosis menderita ISPA, sementara 69% (207 orang) tidak.

Jika mengacu pada Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, terlihat bahwa untuk parameter fisik, kondisi rata-rata suhu udara, kelembapan, dan laju ventilasi di rumah responden secara umum berada dalam batas ideal. Namun, data menunjukkan adanya kontradiksi pada tingkat pencahayaan, di mana rata-rata tinggi tetapi mayoritas rumah dilaporkan tidak memenuhi SBMKL. Untuk parameter kimia, meskipun kadar CO dan CO<sub>2</sub> rata-rata masih di bawah batas SBMKL, terdapat masalah yang jelas pada kadar SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan timbal (Pb) yang rata-ratanya sedikit melampaui batas standar. Yang paling signifikan adalah kadar formaldehida (HCHO) yang rata-rata jauh melebihi SBMKL, menunjukkan adanya paparan yang mengkhawatirkan di sebagian besar rumah responden. Kadar VOC juga sedikit di atas standar. Meskipun paparan asap rokok rata-rata masih di bawah batas, persentase responden yang tidak memenuhi standar menunjukkan adanya masalah paparan di sebagian rumah.

Tabel 2 menyajikan hasil uji *chi-square* antara kondisi lingkungan dalam rumah dengan kejadian ISPA pada 300 responden. Beberapa faktor lingkungan dalam rumah seperti suhu udara ( $p=0,000$ ), kelembapan ( $p=0,000$ ), laju ventilasi ( $p=0,000$ ), kadar SO<sub>2</sub> ( $p=0,000$ ), kadar NO<sub>2</sub> ( $p=0,000$ ), kadar CO ( $p=0,000$ ), kadar CO<sub>2</sub> ( $p=0,000$ ), dan asap rokok ( $p=0,000$ ) memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian ISPA. Sementara itu, tingkat pencahayaan ( $p=0,741$ ), kadar timbal ( $p=0,310$ ), HCHO ( $p=0,643$ ), dan VOC ( $p=0,855$ ) tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dalam penelitian ini.

Suhu udara dalam rumah terbukti memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian ISPA. Orang yang tinggal di rumah dengan suhu di atas 28°C berisiko hampir tiga belas kali lipat terkena ISPA dibandingkan mereka yang tinggal di rumah bersuhu antara 26°C-28°C. Mayoritas responden yang tidak terkena ISPA tinggal di rumah dengan suhu ideal (26°C-28°C), sementara mayoritas yang terkena ISPA tinggal di rumah dengan suhu di atas 28°C. Dengan kata lain, suhu rumah yang terlalu panas meningkatkan risiko terkena ISPA. Temuan ini serupa dengan hasil studi tinjauan sistematis yang menyatakan bahwa suhu udara meningkatkan risiko ISPA hingga 2,829 kali.<sup>25</sup> Penelitian di DKI Jakarta menemukan hubungan signifikan antara suhu udara dan kejadian ISPA ( $p=0,001$ ) dengan korelasi sedang ( $r=0,432$ ).<sup>26</sup> Suhu ekstrem, baik dingin maupun panas, berpotensi memengaruhi penyakit menular, termasuk pada saluran pernapasan.<sup>27</sup> Perubahan iklim juga telah dikaitkan dengan perubahan epidemiologi patogen pernapasan, dengan kejadian cuaca ekstrem yang berpotensi mengubah kejadian infeksi.<sup>28</sup>

Pada studi ini, kelembapan udara dalam rumah berhubungan erat dengan kejadian ISPA. Kelembapan yang tidak sesuai standar dapat meningkatkan risiko ISPA hampir 44 kali lipat. Temuan serupa dijumpai pada studi di Marunda yang menyimpulkan bahwa kelembapan udara dalam ruangan yang tidak memenuhi standar kesehatan berdampak pada peningkatan risiko ISPA pada penghuni rumah.<sup>29</sup> Penelitian di Hong Kong menyoroti pentingnya kelembapan absolut dalam ruangan sebagai faktor risiko ARI pada lansia, terutama selama musim dingin, dan menekankan perlunya intervensi untuk menjaga tingkat kelembapan yang optimal di lingkungan rumah tangga.<sup>30</sup> Dalam sebuah laporan yang dirilis oleh Pemerintah Kota Medan pada tahun 2023, rata-rata kelembapan udara di Kota Medan adalah 79,68% dan mengindikasikan bahwa tingkat kelembapan di wilayah tersebut cukup tinggi.<sup>31</sup> Kondisi tersebut merupakan karakteristik umum dari iklim tropis. Kelembapan udara secara umum dapat memfasilitasi pertumbuhan dan aktivitas patogen virus yang menyerang saluran pernapasan. Namun, efektivitas kelembapan dalam memicu kejadian ISPA dapat dipengaruhi oleh kombinasi faktor lingkungan lainnya.<sup>32</sup>

Laju ventilasi yang buruk sangat terkait dengan kejadian ISPA. Rumah dengan ventilasi yang buruk meningkatkan risiko ISPA lebih dari 26 kali. Hal ini menunjukkan pentingnya sirkulasi udara yang memadai dalam mencegah infeksi saluran pernapasan akut. Hasil observasi menunjukkan bahwa mayoritas rumah responden mengandalkan ventilasi alami melalui bukaan. Namun, jumlah dan ukuran bukaan ventilasi terbatas, terutama pada rumah kecil di area padat, yang berpotensi menurunkan pertukaran udara. Kepadatan bangunan yang tinggi juga mempersempit jarak antar rumah, menghambat aliran udara dan ventilasi silang. Selain itu, desain rumah dengan banyak sekat internal dan minim bukaan antar ruang dapat menghalangi pergerakan udara di dalam, meskipun bukaan eksternal cukup. Literatur menyebutkan bahwa ventilasi berfungsi untuk menyediakan udara segar dan mengeluarkan udara kotor. Ventilasi yang baik membantu menjaga keseimbangan oksigen dan membebaskan ruangan dari bakteri patogen. Kurangnya ventilasi dapat menyebabkan pengap dan meningkatkan kemungkinan penularan penyakit pernapasan.<sup>33-35</sup> Beberapa studi menunjukkan hubungan signifikan antara kondisi ventilasi dengan kejadian ISPA, dengan p-value yang menunjukkan adanya hubungan kuat antara kedua variabel tersebut.<sup>36,37</sup> Misalnya, penelitian di Pondok Pesantren Amanatul Ummah menemukan bahwa responden dengan ventilasi tidak memenuhi syarat memiliki kemungkinan 11,125 kali lebih besar untuk mengalami ISPA dibandingkan dengan mereka yang memiliki ventilasi memadai.<sup>38</sup>

Kadar polutan udara seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub> memiliki hubungan signifikan dengan kejadian ISPA pada studi ini. Jika kadar SO<sub>2</sub> tidak memenuhi standar, risiko ISPA dapat meningkat hampir 19 kali lebih tinggi. Lebih jauh, NO<sub>2</sub> yang tidak terkontrol meningkatkan risiko ISPA hingga lebih dari 65 kali lipat. Yang paling ekstrim adalah CO, di mana risiko

ISPA melonjak hampir 98 kali di lingkungan yang tidak memenuhi standar. Demikian pula, CO<sub>2</sub> yang berlebihan dapat meningkatkan risiko ISPA lebih dari 65 kali. Sebuah penelitian di Surabaya, Indonesia mengungkapkan korelasi positif antara tingkat SO<sub>2</sub> dan kejadian ARI.<sup>39</sup> Di Cina, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan CO berhubungan positif dengan berbagai dampak pernapasan akut, termasuk infeksi saluran pernapasan atas dan pneumonia.<sup>40</sup> NO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, mengiritasi saluran pernapasan dan memicu gejala seperti batuk dan dispnea, terutama pada konsentrasi tinggi. Lebih lanjut, NO<sub>2</sub> memperburuk kondisi asma dan meningkatkan kerentanan terhadap infeksi virus seperti influenza melalui penurunan imunitas lokal.<sup>41,42</sup> Studi ilmiah menunjukkan bahwa paparan NO<sub>2</sub> menurunkan resistensi saluran pernapasan terhadap infeksi, khususnya pada populasi rentan seperti anak-anak dan penderita penyakit paru obstruktif kronis.<sup>43</sup> SO<sub>2</sub>, yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar bersulfur, juga menginduksi iritasi pada membran mukosa dan saluran pernapasan, memicu eksaserbasi asma, dan meningkatkan insiden ISPA. Efek patofisiologis SO<sub>2</sub> mencakup peningkatan resistensi saluran napas dan penurunan parameter fungsi paru.<sup>44,45</sup> Selain itu, polutan lain seperti karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) juga berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara dan berdampak negatif pada sistem pernapasan. CO, dengan afinitas tinggi terhadap hemoglobin, menyebabkan hipoksia jaringan dan gejala seperti sakit kepala dan pusing.<sup>46</sup> Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar CO<sub>2</sub>, meskipun tidak secara langsung beracun pada konsentrasi rendah, dapat secara signifikan memengaruhi kesehatan pernapasan. Paparan jangka panjang terhadap peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat menyebabkan gejala pernapasan, penurunan fungsi paru-paru, dan memperburuk kondisi yang sudah ada.<sup>47,48</sup>

Tabel 2. Hubungan Kondisi Lingkungan Dalam Rumah dengan Kejadian ISPA (n=300)

| Variabel              | Kondisi saluran pernapasan |      |                |      | p     | RR     |
|-----------------------|----------------------------|------|----------------|------|-------|--------|
|                       | Tidak menderita ISPA       |      | Menderita ISPA |      |       |        |
|                       | n                          | %    | n              | %    |       |        |
| Suhu udara            |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL        | 172                        | 57,3 | 10             | 3,3  | 0,000 | 12,810 |
| Tidak memenuhi SBMKL  | 35                         | 11,7 | 83             | 27,7 |       |        |
| Tingkat pencahayaan   |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL        | 25                         | 8,3  | 10             | 3,3  | 0,741 | 1,096  |
| Tidak memenuhi SBMKL  | 182                        | 60,7 | 83             | 27,7 |       |        |
| Kelembapan            |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL        | 195                        | 65,0 | 4              | 1,3  | 0,000 | 43,84  |
| Tidak memenuhi SBMKL  | 12                         | 4,0  | 89             | 29,7 |       |        |
| Laju ventilasi        |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL        | 206                        | 68,7 | 8              | 2,7  | 0,000 | 26,430 |
| Tidak memenuhi SBMKL  | 1                          | 0,3  | 85             | 28,3 |       |        |
| Kadar SO <sub>2</sub> |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL        | 192                        | 64,0 | 9              | 3,0  | 0,000 | 18,940 |
| Tidak memenuhi SBMKL  | 15                         | 5,0  | 84             | 28,0 |       |        |

| Variabel                  | Kondisi saluran pernapasan |      |                |      | p     | RR     |
|---------------------------|----------------------------|------|----------------|------|-------|--------|
|                           | Tidak menderita ISPA       |      | Menderita ISPA |      |       |        |
|                           | n                          | %    | n              | %    |       |        |
| Kadar NO <sub>2</sub>     |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL            | 203                        | 67,7 | 3              | 1,0  | 0,000 | 65,570 |
| Tidak memenuhi SBMKL      | 4                          | 1,3  | 90             | 30,0 |       |        |
| Kadar CO                  |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL            | 203                        | 67,7 | 2              | 0,7  | 0,000 | 98,140 |
| Tidak memenuhi SBMKL      | 4                          | 1,3  | 91             | 30,3 |       |        |
| Kadar CO <sub>2</sub>     |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL            | 203                        | 67,7 | 3              | 1,0  | 0,000 | 65,570 |
| Tidak memenuhi SBMKL      | 4                          | 1,3  | 90             | 30,0 |       |        |
| Kadar timbal (Pb)         |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL            | 84                         | 28,0 | 32             | 10,7 | 0,310 | 1,201  |
| Tidak memenuhi SBMKL      | 123                        | 41,0 | 61             | 20,3 |       |        |
| Asap rokok                |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL            | 161                        | 53,7 | 20             | 6,7  | 0,000 | 5,550  |
| Tidak memenuhi SBMKL      | 46                         | 15,3 | 73             | 24,3 |       |        |
| Kadar formaldehida (HCHO) |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL            | 44                         | 14,7 | 22             | 7,3  | 0,643 | 0,910  |
| Tidak memenuhi SBMKL      | 163                        | 54,3 | 71             | 23,7 |       |        |
| Kadar volatil (VOC)       |                            |      |                |      |       |        |
| Memenuhi SBMKL            | 156                        | 52,0 | 71             | 23,7 | 0,855 | 0,963  |
| Tidak memenuhi SBMKL      | 51                         | 17,0 | 22             | 7,3  |       |        |

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa paparan asap rokok secara signifikan berkaitan dengan kejadian ISPA. Orang yang tinggal di rumah dengan kadar ETS di atas ambang batas aman ( $>30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) berisiko 5,55 kali lebih tinggi terkena ISPA dibandingkan dengan yang tinggal di rumah dengan paparan asap rokok yang lebih rendah. Asap rokok mengandung berbagai zat berbahaya yang dapat meningkatkan peradangan di saluran napas. Konsentrasi asap rokok dalam ruangan tertutup dapat memperburuk kualitas udara dan kesehatan pernapasan.<sup>49,50</sup> Penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asap rokok di dalam rumah, semakin besar risiko untuk terjangkit ISPA. Faktor-faktor seperti jumlah perokok di rumah dan ventilasi ruangan juga mempengaruhi tingkat paparan.<sup>51</sup>

Pada studi ini, tingkat pencahayaan ruangan tidak memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian ISPA. Artinya, baik ruangan yang terang maupun redup, tidak berpengaruh secara nyata terhadap risiko seseorang terkena ISPA. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pencahayaan alami berfungsi untuk mengurangi kelembapan dan membunuh kuman penyebab penyakit.<sup>33,52</sup> Namun, dalam studi ini, meskipun ada proporsi tinggi rumah dengan pencahayaan kurang, tidak ditemukan hubungan langsung yang signifikan dengan kejadian ISPA secara keseluruhan. Hal ini bisa disebabkan oleh faktor-faktor lain yang lebih dominan dalam mempengaruhi kesehatan pernapasan, seperti ventilasi dan kepadatan hunian.<sup>53,54</sup>

Pada studi ini, hasil analisis menunjukkan tidak ada hubungan yang berarti antara kadar timbal (Pb) dengan kejadian ISPA. Timbal terutama berdampak pada sistem saraf dan fungsi kognitif daripada secara

langsung mempengaruhi kesehatan pernapasan. Meskipun paparan kronis dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, hubungan antara timbal dan infeksi saluran pernapasan seperti ISPA tidak begitu jelas dibandingkan dengan faktor risiko lain seperti paparan asap rokok atau kondisi tempat tinggal yang buruk.<sup>55,56</sup> Demikian juga dengan temuan pada studi bahwa paparan formaldehida (HCHO) tidak berhubungan signifikan dengan kejadian ISPA. Paparan formaldehida (HCHO) memang menunjukkan adanya hubungan dengan berbagai masalah kesehatan, terutama yang berkaitan dengan masalah pernapasan dan alergi, tetapi hubungannya dengan kejadian ISPA sangat kompleks dan beragam. Satu studi yang secara khusus meneliti hubungan antara paparan formaldehida dan asma pada anak-anak, menemukan bahwa meskipun formaldehida memang meningkatkan risiko asma, namun hal ini terjadi melalui mekanisme seperti sensitisasi terhadap alergen, dan bukannya penyebab langsung penyakit pernapasan akut.<sup>57</sup> Kadar volatil juga tidak berhubungan signifikan dengan kejadian ISPA. Meskipun volatil dapat berkontribusi pada masalah pernapasan, korelasi langsungnya dengan kejadian ISPA tidak terlalu jelas dibandingkan dengan faktor risiko lainnya. Tinjauan sistematis menemukan bukti yang tidak konsisten dan studi berkualitas buruk, dengan jumlah studi yang kurang lebih sama yang melaporkan peningkatan risiko dan tidak ada hubungan antara paparan VOC dan perkembangan atau eksaserbasi asma/alergi.<sup>58</sup>

## SIMPULAN

Hasil studi menunjukkan bahwa suhu udara, kelembapan, laju ventilasi, serta kadar SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, dan asap rokok (ETS) memiliki kaitan signifikan

dengan ISPA. Sebaliknya, pencahayaan, kadar Pb, formaldehida, dan VOC tidak menunjukkan hubungan signifikan. Faktor paling dominan adalah laju ventilasi; rumah dengan sirkulasi buruk berisiko 15 kali lebih tinggi menyebabkan ISPA. Risiko ISPA juga meningkat hampir 3 kali lipat pada suhu di atas 28°C, lebih dari 5 kali lipat pada kelembapan di atas 50%Rh, hampir 6 kali lipat pada kadar SO<sub>2</sub> tinggi, dan 13 kali lipat pada kadar CO dan CO<sub>2</sub> tinggi (meskipun kasusnya sedikit). Paparan asap rokok meningkatkan risiko hampir 1,5 kali lipat. Secara keseluruhan, suhu, kelembapan, sirkulasi udara, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, dan ETS secara bersama-sama memengaruhi kesehatan pernapasan. Untuk mencegah ISPA, disarankan untuk memperbaiki sirkulasi udara dan mengendalikan suhu serta kelembapan ruangan dengan ventilasi yang baik dan menjaga suhu ideal. Selain itu, pengendalian pencemaran udara dapat dilakukan dengan mengurangi paparan asap rokok dan memantau kualitas udara. Pemerintah perlu melakukan edukasi dan pemantauan berkala untuk meningkatkan pemahaman masyarakat mengenai kualitas udara dan pencegahan ISPA.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Brinkman JE, Toro F, Sharma S. Physiology, Respiratory Drive. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
2. Booth S, Johnson MJ. Improving the quality of life of people with advanced respiratory disease and severe breathlessness. *Breathe*. 2019 Sep 1;15(3):198–215. <https://doi.org/10.1183/20734735.0200-2019>
3. Ebrahimi H, Aryan Z, Saeedi Moghaddam S, Bisignano C, Rezaei S, Pishgar F, et al. Global, regional, and national burden of respiratory tract cancers and associated risk factors from 1990 to 2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Respir Med*. 2021 Sep;9(9):1030–49. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(21\)00164-8](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(21)00164-8)
4. Chen X, Zhou CW, Fu YY, Li YZ, Chen L, Zhang QW, et al. Global, regional, and national burden of chronic respiratory diseases and associated risk factors, 1990–2019: Results from the Global Burden of Disease Study 2019. Vol. 10, *Frontiers in Medicine*. 2023. p. 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1066804>
5. Momtazmanesh S, Moghaddam SS, Ghamari SH, Rad EM, Rezaei N, Shobeiri P, et al. Global burden of chronic respiratory diseases and risk factors, 1990–2019: An update from the Global Burden of Disease Study 2019. *eClinicalMedicine*. 2023 May;59:101936. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.101936>
6. Tran HM, Tsai FJ, Lee YL, Chang JH, Chang LT, Chang TY, et al. The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence. *Sci Total Environ*. 2023 Nov;898:166340. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166340>
7. Behinaein P, Hutchings H, Knapp T, Okereke IC. The growing impact of air quality on lung-related illness: a narrative review. *J Thorac Dis*. 2023 Sep;15(9):5055–63. <https://doi.org/10.21037/jtd-23-544>
8. Saini J, Dutta M, Marques G. A comprehensive review on indoor air quality monitoring systems for enhanced public health. *Sustain Environ Res*. 2020 Dec 29;30(1):6. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-0047-y>
9. Raju S, Siddharthan T, McCormack MC. Indoor Air Pollution and Respiratory Health. *Clin Chest Med*. 2020 Dec;41(4):825–43. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2020.08.014>
10. Hulin M, Simoni M, Viegi G, Annesi-Maesano I. Respiratory health and indoor air pollutants based on quantitative exposure assessments. *Eur Respir J*. 2012 Oct;40(4):1033–45. <https://doi.org/10.1183/09031936.00159011>
11. Tran V Van, Park D, Lee YC. Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Apr 23;17(8):2927. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082927>
12. Alford KL, Kumar N. Pulmonary Health Effects of Indoor Volatile Organic Compounds—A Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Feb 7;18(4):1578. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041578>
13. Kozielska B, Ferdyn-Grygierek J, Slezakova K, Sowa J, Hassan SKM. Editorial: Indoor environmental air quality in urban areas. *Front Environ Sci*. 2024 Mar 12;12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1393997>
14. Golubić D, Meile W, Brenn G, Kozmar H. Wind-tunnel analysis of natural ventilation in a generic building in sheltered and unsheltered conditions: Impact of Reynolds number and wind direction. *J Wind Eng Ind Aerodyn*. 2020 Dec;207:104388. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104388>
15. Bekierski D, Kostyrko KB. The Influence of Outdoor Particulate Matter PM<sub>2.5</sub> on Indoor Air Quality: The Implementation of a New Assessment Method. *Energies*. 2021 Sep 30;14(19):6230. <https://doi.org/10.3390/en14196230>
16. Mohammadi M, Calautit J. Quantifying the Transmission of Outdoor Pollutants into the Indoor Environment and Vice Versa—Review of Influencing Factors, Methods, Challenges and Future Direction. *Sustainability*. 2022 Aug 31;14(17):10880. <https://doi.org/10.3390/su141710880>
17. Karr G, Nicolas M, Maupetit F, Ramel M. Cleaning product emissions and indoor built environments: Exposure and health risk assessments from experiments under realistic indoor conditions. *Build Environ*. 2021 Dec;206:108384.

- <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108384>
18. Vardoulakis S, Giagloglou E, Steinle S, Davis A, Smeuwenhoek A, Galea KS, et al. Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Dec 2;17(23):8972. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238972>
  19. Perera F. Children's Health and the Peril of Climate Change. New York: Oxford University Press; 2022. <https://doi.org/10.1093/oso/9780197588161.001.0001>
  20. Badan Pusat Statistik Kota Medan. Kota Medan Dalam Angka 2022. Kota Medan; 2023.
  21. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/Menkes/PER/V/2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia; 2011.
  22. Syaputra I. Analisis Struktural Permukiman Penghuni Liar di Kecamatan Medan TALENTA Conference Series Analisis Struktural Permukiman Penghuni Liar di Kecamatan Medan Denai. *Talent Conf Ser Energy Eng*. 2022;5(1):75–9. <https://doi.org/10.32734/ee.v5i1.1445>
  23. Lemeshow S. Adequacy of sample size in health studies. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd; 1997.
  24. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia; 2023.
  25. Nabihah PZ, Azizah R, Zulkarnain OF, Rizaldi MA, Febriani AK, Nugraheni WP, et al. Risk analysis of temperature, humidity, ventilation, use of mosquito repellent, and smoking behaviour on the incidence of acute respiratory infections (ARI) in Toddlers. *J Air Pollut Heal [Internet]*. 2023 Dec 28;8(4):501–16. <https://doi.org/10.18502/japh.v8i4.14543>
  26. Ernyasih E, Fajrini F, Latifah N. Analisis Hubungan Iklim (Curah Hujan, Kelembaban, Suhu Udara dan Kecepatan Angin) dengan Kasus ISPA di DKI Jakarta Tahun 2011 – 2015. *J Ilmu Kesehat Masy*. 2018 Sep 20;7(3):167–73. <https://doi.org/10.33221/jikm.v7i3.125>
  27. Xu Z, Hu W, Tong S. Temperature variability and childhood pneumonia: an ecological study. *Environ Heal*. 2014 Dec 11;13(1):51. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-51>
  28. Mirsaeidi M, Motahari H, Taghizadeh Khamesi M, Sharifi A, Campos M, Schraufnagel DE. Climate Change and Respiratory Infections. *Ann Am Thorac Soc*. 2016 Aug;13(8):1223–30. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201511-729PS>
  29. Anggraeni SN, Iriani DU. Indoor Air Quality And Symptoms of Acute Respiratory Infection In Children Under Five In Marunda Public Flats North Jakarta. In: *Proceedings of the 1st International Integrative Conference on Health, Life and Social Sciences (ICHLAS 2017)*. Paris, France: Atlantis Press; 2017. <https://doi.org/10.2991/ichlas-17.2017.16>
  30. Han L, Ran J, Chan KH, Mak YW, Suen L, Cowling BJ, et al. Indoor Environmental Factors and Acute Respiratory Illness in a Prospective Cohort of Community-Dwelling Older Adults. *J Infect Dis*. 2020 Aug 17;222(6):967–78. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa188>
  31. Pemerintah Daerah Kota Medan. Laporan Penyelenggaraan Pemerintah Daerah Tahun 2023. Kota Medan: Pemerintah Daerah Kota Medan; 2023.
  32. Sari DA, Budiyo B, Darundiati YH. Hubungan antara Kualitas Udara dalam Ruang dengan Kejadian Pneumonia pada Bayi di Wilayah Kerja Puskesmas Bandarharjo Kota Semarang. *Media Kesehat Masy Indones*. 2019 Jul 4;18(3).
  33. Yustati E. Hubungan Kepadatan Hunian, Ventilasi Dan Pencahayaan Dengan Kejadian ISPA Pada Balita Di Desa Talang Jawa Wilayah Kerja UPTD Puskesmas Tanjung Agung Kecamatan Baturaja Barat Kabupaten Ogan Komering Ulu Tahun 2020. *Cendekia Med*. 2020 Sep 30;5(2):107–12. <https://doi.org/10.52235/cendekiamedika.v5i2.71>
  34. Nur Aryanti RF. Literature Review: The relationship of the physical quality of the environment in the dwelling to the incidence of Acute Respiratory Infection (ARI). *Media Gizi Kesmas*. 2021 Jun 1;10(1):118. <https://doi.org/10.20473/mgk.v10i1.2021.118-137>
  35. Zhu S, Jenkins S, Addo K, Heidarinejad M, Romo SA, Layne A, et al. Ventilation and laboratory confirmed acute respiratory infection (ARI) rates in college residence halls in College Park, Maryland. *Environ Int*. 2020 Apr;137:105537. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105537>
  36. Rafaditya SA, Saptanto A, Ratnaningrum K. Ventilasi dan Pencahayaan Rumah Berhubungan dengan Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) pada Balita: Analisis Faktor Lingkungan Fisik. *Medica Arter*. 2022 Feb 27;3(2):115. <https://doi.org/10.26714/medart.3.2.2021.115-121>
  37. Fitriyah L. Hubungan Kualitas Debu dan Ventilasi Rumah dengan Kejadian Penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Atas (ISPA) di Bekas Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Keputih. *J Kesehat Lingkung*. 2016;8(2):137–47. <https://doi.org/10.20473/jkl.v8i2.2016.137-147>
  38. Istifaiyah A, Adriansyah AA, Handayani D. Hubungan ventilasi dengan kejadian penyakit ISPA pada santri di Pondok Pesantren Amanatul Ummah Surabaya. *IKESMA J Ilmu Kesehat Masy*. 2019 Sep 24;15(2):113.

- <https://doi.org/10.19184/ikesma.v15i2.17552>
39. Firdaus AP, Sulistyono L. Correlation between SO<sub>2</sub> with Acute Respiratory Infection in Surabaya City 2013–2015. *J Kesehat Lingkung*. 2018 Jul 27;9(1):40. <https://doi.org/10.20473/jkl.v9i1.2017.40-47>
40. Li R, Jiang N, Liu Q, Huang J, Guo X, Liu F, et al. Impact of Air Pollutants on Outpatient Visits for Acute Respiratory Outcomes. *Int J Environ Res Public Health*. 2017 Jan 5;14(1):47. <https://doi.org/10.3390/ijerph14010047>
41. Bowatte G, Lodge C, Lowe AJ, Erbas B, Perret J, Abramson MJ, et al. The influence of childhood traffic-related air pollution exposure on asthma, allergy and sensitization: a systematic review and a meta-analysis of birth cohort studies. *Allergy*. 2015 Mar 31;70(3):245–56. <https://doi.org/10.1111/all.12561>
42. Cai J, Zhao A, Zhao J, Chen R, Wang W, Ha S, et al. Acute effects of air pollution on asthma hospitalization in Shanghai, China. *Environ Pollut*. 2014 Aug;191:139–44. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.04.028>
43. Kurt OK, Zhang J, Pinkerton KE. Pulmonary health effects of air pollution. *Curr Opin Pulm Med*. 2016 Mar;22(2):138–43. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000248>
44. Khalaf EM, Mohammadi MJ, Sulistiyani S, Ramírez-Coronel AA, Kiani F, Jalil AT, et al. Effects of sulfur dioxide inhalation on human health: a review. *Rev Environ Health*. 2024 Jun 25;39(2):331–7. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0237>
45. Nurhisnahan S, Hasyim H. Environmental health risk assessment of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) at workers around in combined cycle power plant (CCPP). *Heliyon*. 2022 May;8(5):e09388. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09388>
46. Rose JJ, Wang L, Xu Q, McTiernan CF, Shiva S, Tejero J, et al. Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Directions of Therapy. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017 Mar 1;195(5):596–606. <https://doi.org/10.1164/rccm.201606-1275CI>
47. Krismanuel H. Correlation between carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and respiratory issues: A literature review. *J Penelit dan Karya Ilm Lemb Penelit Univ Trisakti*. 2024 Jan 15;9(1):159–68. <https://doi.org/10.25105/pdk.v9i1.17646>
48. Santus P, Russo A, Madonini E, Allegra L, Blasi F, Centanni S, et al. How air pollution influences clinical management of respiratory diseases. A case-crossover study in Milan. *Respir Res*. 2012 Dec 18;13(1):95. <https://doi.org/10.1186/1465-9921-13-95>
49. Lugade AA, Bogner PN, Thatcher TH, Sime PJ, Phipps RP, Thanavala Y. Cigarette Smoke Exposure Exacerbates Lung Inflammation and Compromises Immunity to Bacterial Infection. *J Immunol*. 2014 Jun 1;192(11):5226–35. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1302584>
50. Cha SR, Jang J, Park SM, Ryu SM, Cho SJ, Yang SR. Cigarette Smoke-Induced Respiratory Response: Insights into Cellular Processes and Biomarkers. *Antioxidants*. 2023 Jun 3;12(6):1210. <https://doi.org/10.3390/antiox12061210>
51. Jiang C, Chen Q, Xie M. Smoking increases the risk of infectious diseases: A narrative review. *Tob Induc Dis*. 2020 Jul 14;18(7):80. <https://doi.org/10.18332/tid/123845>
52. Dita Rahmadanti, Rony Darmawansyah Alnur. Hubungan Kepadatan Hunian dan Pencapaian Kamar dengan Kejadian ISPA pada Balita di Wilayah Kerja UPTD Puskesmas Babelan 1. *SEHATMAS J Ilm Kesehat Masy*. 2023 Oct 30;2(4):1025–32. <https://doi.org/10.55123/sehatmas.v2i4.2604>
53. Wimalasena NN, Chang-Richards A, Wang KIK, Dirks KN. Housing Risk Factors Associated with Respiratory Disease: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2021 Mar 10;18(6):2815. <https://doi.org/10.3390/ijerph18062815>
54. Lorentzen JC, Johanson G, Björk F, Stensson S. Overcrowding and Hazardous Dwelling Condition Characteristics: A Systematic Search and Scoping Review of Relevance for Health. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Nov 23;19(23):15542. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315542>
55. Hauptman M, Bruccoleri R, Woolf AD. An Update on Childhood Lead Poisoning. *Clin Pediatr Emerg Med*. 2017 Sep;18(3):181–92. <https://doi.org/10.1016/j.cpem.2017.07.010>
56. Mulyadi, Nugroho HSW. Risk Factors at Home on Acute Respiratory Infection (ARI) Incidence in Children Under Five in Sapuli Island, South Sulawesi. *Indian J Public Heal Res Dev*. 2018;9(6):210. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2018.00551.X>
57. Rumchev KB, Spickett JT, Bulsara MK, Phillips MR, Stick SM. Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children. *Eur Respir J*. 2002 Aug;20(2):403–8. <https://doi.org/10.1183/09031936.02.00245002>
58. Nurmatov UB, Tagiyeva N, Semple S, Devereux G, Sheikh A. Volatile organic compounds and risk of asthma and allergy: a systematic review. *Eur Respir Rev*. 2015 Mar 28;24(135):92–101. <https://doi.org/10.1183/09059180.00000714>

