

PAPARAN UDARA LUAR DAN UDARA DALAM RUANGAN PADA SYSTEM PERNAPASAN

Suhaila Putri Siregar¹, Fauziah Harahap², Retno Dwi Suyanti³

¹Program Studi Pendidikan Dasar, Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Negeri Medan

²Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Negeri Medan

³Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Negeri Medan

Jl. Willem Iskandar Psr. V Medan Estate, Medan, Indonesia, 20221

Email Korespondensi: suhailaputrisrg@gmail.com

Abstract

The human respiratory system is a vital means by which the body takes in oxygen and releases carbon dioxide, essential for life. Air is essential for human life and plays a direct role in the breathing process. Good air quality contributes to the proper functioning of the respiratory system. However, in everyday life, humans are frequently exposed to unhealthy air, both outdoors and indoors. This study aims to analyze the types of outdoor and indoor air exposure that can affect the respiratory system, their impacts, and strategies to mitigate these negative effects. A qualitative literature study approach was used, exploring various relevant scientific sources on air and its relationship to the human respiratory system. The results showed that outdoor air is polluted by several sources, including emissions from motor vehicles (NO₂, CO, and PM_{2.5}), industrial activities that produce SO₂ and O₃, and waste incineration, which releases hazardous particles. Indoor air can also be polluted by cigarette smoke, dust, chemical compounds such as formaldehyde and VOCs from household products, and poor ventilation. Exposure to polluted air can disrupt respiratory function, causing decreased lung capacity, acute respiratory infections (ARI), asthma, chronic bronchitis, and even chronic obstructive pulmonary disease (COPD). To address this, several efforts can be implemented, such as improving air circulation, switching to clean fuels, increasing green areas, and raising public awareness of the importance of maintaining air quality. This research is expected to provide a deeper understanding of the relationship between air and the performance of the human respiratory system.

Keywords:

*Outdoor Air Exposure,
Indoor Air,
Respiratory System,
Air Pollution,
Literature Study.*

Pendahuluan

Udara adalah zat yang sangat penting setelah air dalam mendukung kehidupan di permukaan bumi ini. Selain memberikan oksigen, udara juga berperan sebagai penyalur suara, membantu mendinginkan benda-benda yang panas, bahkan bisa menyebarkan penyakit kepada manusia, hewan, dan tumbuhan. Udara normal terdiri dari sekitar 78,1% nitrogen, 20,93% oksigen, dan 0,03% karbon dioksida. Udara juga mengandung berbagai jenis gas, seperti argon, neon, kripton, xenon, helium, uap air, debu, bakteri, spora, serta bagian dari tumbuhan. Polusi atau pencemaran udara terjadi ketika komponen lain masuk ke dalam udara, baik karena aktivitas manusia secara langsung maupun tidak

langsung, maupun akibat proses alam, sehingga kualitas udara menurun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak bisa berfungsi seperti semestinya. Setiap zat yang bukan bagian dari komposisi udara normal disebut polutan (Chandra dalam Maharani & Aryanta, 2023). Polutan ini berdampak negatif terhadap kesehatan manusia (Fadila dalam Maharani & Aryanta, 2023). Polusi udara telah menjadi salah satu isu lingkungan yang sangat mendesak di seluruh dunia. Peningkatan aktivitas industri, transportasi, dan penggunaan energi fosil menyebabkan keluarnya gas beracun dan partikel ke udara, yang berdampak negatif terhadap kualitas udara yang kita hirup setiap hari. Polusi udara tidak hanya memengaruhi lingkungan, tetapi juga memiliki dampak serius terhadap kesehatan manusia (Maharani & Aryanta, 2023).

Berdasarkan data yang tersedia di portal Kualitas Udara Dunia IQAir 2024 yang dikeluarkan pada tahun 2025, Indonesia berada di peringkat ke-15 sebagai negara dengan polusi terparah di dunia. Sementara itu, kota Medan memiliki Indeks Kualitas Udara (AQI) sebesar 119, yang masuk dalam kategori tidak sehat bagi kelompok yang sensitif. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat atau energi dari sumber lain ke dalam udara sekitar akibat aktivitas manusia, sehingga kualitas udara sekitar tidak bisa memenuhi fungsinya. Sementara itu, polutan adalah suatu zat atau bahan yang konsentrasinya melebihi batas yang telah ditetapkan dan terjadi pada waktu serta tempat yang tidak tepat, sehingga menjadi bahan yang mencemari lingkungan, seperti bahan kimia, debu, panas, dan suara (Yanti dalam Nailah *et al.*, 2025). Polusi udara terdiri dari berbagai zat seperti partikel kecil (PM_{2.5}), partikel besar (PM₁₀), oksida nitrogen (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), dan ozon di atmosfer bumi (O₃). Polusi udara menjadi salah satu masalah lingkungan yang terjadi di berbagai belahan dunia. Kenaikan aktivitas manusia bisa membuat polusi udara semakin parah. Jika seseorang terus terpapar polutan dari udara, berbagai jenis penyakit bisa muncul. Menurut data dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), pada tahun 2019 terdapat sekitar 6,7 juta orang yang meninggal akibat terpapar polusi udara di sekitar rumah dan lingkungan. Hal ini menunjukkan betapa berbahayanya udara yang kita hirup setiap hari. Saat manusia bernapas, udara masuk ke dalam paru-paru melalui hidung atau mulut. Jika udara yang masuk mengandung polutan, zat-zat itu akan masuk ke dalam paru-paru dan merusak jaringan di dalamnya, sehingga menyebabkan gangguan pada pernapasan (Nailah *et al.*, 2025).

Pencemaran udara di dalam ruangan juga perlu diperhatikan, karena seseorang bisa menghabiskan sekitar 90% dari waktunya di dalam ruangan (Hutter *et al* dalam Syamiyah & Wahyuni, 2021). Polusi udara dalam ruangan merupakan masalah besar bagi kesehatan masyarakat di seluruh dunia (Bruce *et al* dalam Syamiyah & Wahyuni, 2021). Menurut penelitian EPA, tingkat kontaminasi udara di dalam ruangan bisa mencapai 2 hingga 5 kali, bahkan sampai 100 kali lebih tinggi dibandingkan polusi udara di luar ruangan. Menurut Badan Perlindungan Lingkungan (EPA), sekitar 40% dari waktu kita setiap hari, kita berada di dalam ruangan seperti rumah, kantor, kendaraan, supermarket, sekolah, dan tempat umum lainnya. Penelitian menunjukkan bahwa kualitas udara di dalam ruangan tidak sepenuhnya bebas dari kontaminan seperti bakteri, virus, debu, dan lainnya. Di negara-negara maju, jumlah kematian per tahun akibat pencemaran udara dalam ruangan sekitar 67% di daerah pedesaan dan 23% di daerah perkotaan, sedangkan di negara berkembang, angka kematian akibat pencemaran udara dalam ruangan di daerah perkotaan sekitar 9% sedangkan di daerah pedesaan hanya 1% dari total kematian. Selain itu, kualitas udara dalam ruangan juga dipengaruhi oleh kegiatan yang dilakukan di dalam ruangan, seperti penggunaan energi yang tidak ramah lingkungan, penggunaan sumber energi yang murah seperti batubara dan biomassa (kayu, limbah ternak, serta sisa pertanian), kebiasaan merokok di dalam ruangan, penggunaan pestisida, bahan pembersih, dan kosmetika. Bahan kimia tersebut bisa mengeluarkan polutan yang bisa bertahan cukup lama di dalam ruangan. Meskipun manusia bisa menggunakan indra untuk memperkirakan apakah udara di sekitar kita normal atau tercemar, namun untuk memantau secara terus-menerus, manusia dibatasi oleh waktu

dan ruang. Untuk memantau secara real-time dan mendapatkan data mengenai kualitas udara, kita bisa membuat suatu perangkat keras yang terhubung dengan sistem pemantauan kualitas udara (Rumampuk *et al.*, 2021)

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur. Metode penelitian ini dilaksanakan dengan menelaah, mengkaji, dan menganalisis berbagai sumber ilmu pengetahuan yang relevan, seperti jurnal, buku, dan laporan ilmu pengetahuan yang membahas tentang paparan di udara luar dan dalam ruangan serta hubungannya dengan sistem pernapasan manusia. Data yang digunakan adalah data sekunder, kemudian dianalisis secara deskriptif untuk memahami jenis polutan, sumber penyebab polusi, dampak terhadap kesehatan pernapasan, serta cara-cara yang bisa dilakukan untuk mengurangi bahaya tersebut. Pendekatan ini dipilih karena dapat memberikan gambaran yang lengkap berdasarkan hasil penelitian sebelumnya tanpa harus melakukan eksperimen langsung di lapangan.

Hasil dan Pembahasan

Bernapas adalah cara tubuh mengambil udara yang berisi oksigen dan melepaskan karbon dioksida dari paru-paru. Oksigen ini sangat penting bagi manusia untuk tetap hidup. Banyak kegiatan sehari-hari, seperti memakan makanan, bergerak, atau bahkan berpikir, membutuhkan oksigen. Menurut American Lung Association, sistem pernapasan manusia bertugas memberikan oksigen secara terus-menerus agar semua bagian tubuh dapat berfungsi dengan baik (Handayani, 2021).

Sistem pernapasan adalah rangkaian proses kompleks yang terjadi di dalam tubuh manusia. Fungsi utamanya adalah mempertukarkan gas penting, seperti oksigen (O_2) yang dibutuhkan untuk proses metabolisme sel, serta karbon dioksida (CO_2) yang merupakan hasil samping dari metabolisme. Proses ini terjadi melalui berbagai struktur anatomi, seperti paru-paru, trakea, bronkus, dan kapiler darah. Oksigen yang dihirup dari udara masuk ke dalam aliran darah, sedangkan CO_2 yang merupakan limbah dari metabolisme dibuang keluar tubuh. Proses ini penting untuk menjaga keseimbangan kimia dalam tubuh agar semua fungsi tubuh dapat berjalan optimal.

Pernapasan terdiri dari beberapa tahap utama, yaitu inspirasi (pengambilan oksigen), ekspirasi (pelepasan karbon dioksida), dan pemanfaatan energi dalam tubuh. Ini adalah fungsi vital yang mengatur pertukaran gas yang diperlukan untuk kehidupan. Struktur anatomi sistem pernapasan mencakup organ-organ seperti hidung, faring, laring, trakea, bronkus, bronkiolus, dan paru-paru. Setiap organ memiliki peran yang berbeda dalam proses pernapasan. Sementara itu, fisiologi sistem pernapasan menjelaskan cara kerja organ-organ tersebut secara bersama-sama untuk memastikan pertukaran gas antara oksigen dan karbon dioksida berjalan optimal dalam tubuh manusia.

Sistem pernapasan manusia terbagi menjadi dua bagian utama. Bagian pertama adalah saluran nafas bagian atas, di mana udara yang masuk dihangatkan, disaring, dan dilembabkan sebelum mencapai saluran nafas bagian bawah. Bagian kedua, Saluran nafas bagian bawah, atau paru-paru, adalah tempat utama terjadinya pertukaran gas. Di sini, oksigen yang masuk dari udara dihirup diserap oleh tubuh, sedangkan karbon dioksida yang dihasilkan dari metabolisme sel dibuang keluar tubuh. Proses ini memastikan tubuh mendapatkan pasokan oksigen yang cukup dan limbah CO_2 dikeluarkan secara efisien. Struktur yang menyusun sistem pernapasan meliputi beberapa organ penting yang mendukung proses pernapasan secara efektif dan efisien. Organ-organ ini meliputi hidung, faring, laring, trakea, bronkus, bronkiolus, dan alveolus. Masing-masing bagian dari sistem pernapasan

berperan unik dalam membantu udara masuk dan keluar dari tubuh serta melakukan pertukaran gas yang vital untuk proses metabolisme sel. Contohnya, hidung berfungsi sebagai saluran udara masuk pertama yang mengatur suhu dan kelembaban udara. Sementara itu, alveolus memiliki peran penting dalam proses pertukaran gas yang efisien di dalam paru-paru (Linda *et al.*, 2024).

Sistem pernapasan bagian atas terdiri dari, 1) Hidung, hidung adalah pintu utama bagi udara masuk dan keluar. Di dalamnya terdapat rambut halus yang menyaring kotoran dari udara yang kita hirup. Saat hidung tersumbat, udara tetap bisa masuk melalui mulut. 2) Sinus, sinus adalah ruang udara yang terletak di dalam tulang tengkorak. Fungsi sinus adalah mengatur suhu dan kelembapan udara yang masuk melalui hidung. 3) Adenoid, adenoid merupakan kelenjar getah bening yang terletak di tenggorokan. Tugasnya adalah menyaring kuman dan memproduksi sel limfosit yang membantu tubuh melawan infeksi. 4) Tonsil (Amandel), tonsil adalah kelenjar getah bening yang terletak di dinding bagian belakang tenggorokan. Fungsi tonsil membantu melindungi tubuh, tetapi jika sering mengalami peradangan, kadang diperlukan untuk diangkat. 5) Faring, faring adalah saluran udara yang terletak di belakang hidung dan mulut. Faring mengarah ke trakea dan berfungsi mengalirkan udara ke paru-paru. 6) Epiglotis, Epiglotis adalah katup berbentuk tulang rawan yang terletak di atas laring. Epiglotis berfungsi menutup saluran napas saat kita menelan makanan agar makanan tidak masuk ke dalam paru-paru. Sedangkan sistem pernapasan bagian bawah terdiri dari, 1) Laring (Kotak Suara), Tempat dimana pita suara bergetar untuk membuat suara dan mengatur aliran udara ke tenggorokan. 2) Trakea (Batang Tenggorokan), Saluran udara yang menghubungkan laring dengan bronkus, membawa udara ke paru-paru dan kembali lagi. 3) Tulang Rusuk, Bantalan yang melindungi jantung dan paru-paru, serta membantu pernapasan dengan mengembang dan mengempis. 4) Paru-Paru, Dua buah organ di dalam rongga dada yang menampung udara dan menyalurkan oksigen ke dalam darah untuk dibawa ke seluruh tubuh. 5) Pleura, Lapisan tipis yang menjaga paru-paru, menjadikannya lebih licin agar bisa bergerak dengan lancar saat bernapas. 6) Bronkiolus, Saluran kecil yang muncul dari bronkus, membawa udara ke alveoli serta mengatur jumlah udara saat bernapas. 7) Alveoli, Kantung udara kecil di dalam paru-paru yang bertugas mengganti oksigen dan karbon dioksida antara paru-paru dan darah. 8) Tabung Bronkial, Saluran udara dengan rambut halus dan lendir yang menyaring debu dan kuman agar tidak masuk ke dalam paru-paru. 9) Diafragma, Otot di bawah paru-paru yang berkontraksi untuk menarik udara masuk dan mengembangkannya paru-paru saat bernapas.

Proses kerja sistem pernapasan manusia juga dikenal sebagai respirasi. Seperti yang dijelaskan oleh *National Heart, Lung, and Blood Institute*, pernapasan dimulai ketika manusia menghirup udara dari sekitar masuk melalui hidung dan masuk ke tenggorokan. Setelah itu, udara akan turun melewati laring dan masuk ke dalam trakea. Saat manusia menarik napas, diafragma dan otot-otot di antara tulang rusuk manusia akan mengencang, sehingga membuat ruang kosong di dalam rongga dada. Tujuannya adalah agar paru-paru bisa menarik udara yang dihirup. Setelah udara masuk dan bergerak sampai ke ujung trakea, udara akan melewati bronkus dan masuk ke kedua paru-paru. Setelah itu, udara mengalir ke bronkiolus, yang terus menerus menebal hingga akhirnya mencapai ujung cabang. Di ujung bronkiolus terdapat kantung kecil udara yang disebut alveoli. Ketika udara mencapai alveoli, oksigen akan masuk melalui membran ke dalam pembuluh darah kecil yang disebut kapiler. Sebaliknya, karbon dioksida dari darah di kapiler akan keluar dan masuk ke alveoli. Setelah terjadi pertukaran oksigen dan karbon dioksida di alveoli, otot diafragma akan mengendur, sehingga diafragma kembali ke posisi semula. Hal ini memungkinkan karbon dioksida bergerak naik untuk kemudian dikeluarkan melalui paru-paru dan dihembuskan melalui hidung (Handayani, 2021).

Tabel 1. Paparan Udara Paparan Udara Luar dan Udara Dalam Ruangan Pada System Pernapasan

| ASPEK | UDARA LUAR RUANGAN | UDARA DALAM RUANGAN |
|---|--|---|
| SUMBER UTAMA | <ul style="list-style-type: none"> a. Emisi kendaraan bermotor (NO₂, CO, PM2.5) b. Aktivitas industri (SO₂, O₃) c. Pembakaran sampah dan limbah d. Kebakaran hutan dan erupsi gunung berapi | <ul style="list-style-type: none"> a. Asap rokok b. Penggunaan bahan kimia rumah tangga (formaldehida, VOC) c. Debu, jamur, bakteri d. Kurangnya ventilasi e. Gas hasil pembakaran kompor dan pemanas (CO, NO₂) |
| JENIS POLUTAN | NO ₂ , CO, SO ₂ , O ₃ , PM2.5, PM10 | CO, formaldehida, VOC, debu, radon, jamur, allergen |
| PROSES MASUK KE TUBUH | Terhirup melalui hidung → masuk ke trakea → bronkus → alveolus | Sama seperti udara luar, tetapi polutan lebih mudah terperangkap di ruang tertutup karena ventilasi buruk |
| DAMPAK FISILOGIS PADA SISTEM PERNAPASAN | <ul style="list-style-type: none"> a. Mengiritasi saluran pernapasan atas b. Menurunkan fungsi paru-paru c. Menyebabkan ISPA, asma, bronkitis, PPOK d. Dapat memicu kanker paru (paparan jangka panjang) | <ul style="list-style-type: none"> a. Menyebabkan batuk kronis, sesak napas b. Infeksi saluran pernapasan akibat bakteri/jamur c. Reaksi alergi dan asma d. Penurunan kapasitas paru-paru pada anak-anak |
| KANDUNGAN GAS YANG BERBAHAYA | <ul style="list-style-type: none"> a. NO₂: menyebabkan iritasi dan kesulitan bernapas pada paparan >5 ppm b. SO₂: menimbulkan batuk, edema paru, hingga kematian (pada 20 ppm) | <ul style="list-style-type: none"> a. CO: menghambat transportasi oksigen dalam darah b. Formaldehida & VOC: merusak jaringan paru dan memicu kanker |
| EFEK JANGKA PANJANG | Gangguan paru kronis, penurunan daya tahan tubuh, risiko kematian dini | Asma kronis, alergi, infeksi pernapasan berulang |
| UPAYA PENCEGAHAN | <ul style="list-style-type: none"> a. Penggunaan energi bersih dan kendaraan listrik b. Penghijauan dan area hijau kota c. Pemantauan kualitas udara (AQI) d. Edukasi masyarakat dan penggunaan masker | <ul style="list-style-type: none"> a. Meningkatkan ventilasi ruangan b. Tidak merokok di dalam rumah c. Gunakan bahan pembersih alami d. Pasang penyaring udara atau tanaman penyerap polutan |

Dari tabel diatas dapat diuraikan sebagai berikut, jenis pencemaran udara di luar ruangan yang sering terjadi di lingkungan perkotaan, 1) Keluarnya gas dari kendaraan, seperti gas beracun nitrogen dioksida (NO₂) dan karbon monoksida (CO), serta partikel halus (PM2.5) yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar kendaraan; 2) Aktivitas industri, terutama di sekitar pabrik; Proses produksi yang menggunakan bahan bakar fosil menghasilkan emisi berbahaya seperti sulfur dioksida (SO₂), ozon (O₃), serta partikel yang dapat merusak kualitas udara; 3) Pembakaran sampah dan limbah, baik secara ilegal maupun pembakaran lahan untuk pertanian atau pembangunan. Proses ini menghasilkan asap

dan partikel berbahaya yang bisa terhirup oleh masyarakat, terutama yang tinggal dekat lokasi pembakaran (Pane Sakila Kirey Randita Pane & Usiono, 2024).

Pencemaran udara di luar ruangan di lingkungan buatan terdiri dari beberapa jenis, yaitu: 1) partikel kecil yang berasal dari bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi yang digunakan untuk menghasilkan energi; 2) gas beracun seperti sulfur dioksida, nitrogen oksida, karbon monoksida, asap kimia, dan lainnya; 3) ozon di udara luar, yang merupakan bentuk reaktif dari oksigen dan merupakan bagian utama dari kabut asap di kota; 4) asap rokok. Pencemaran udara di luar ruangan memiliki penyebab yang dibagi menjadi faktor alami dan non alami, berikut penjelasannya: 1) Penyebab pencemaran udara dari kapal adalah, a) gas buang mesin utama akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna yang melepaskan karbon dioksida dan karbon monoksida ke udara; b) penggunaan bahan bakar yang mengandung sulfur tinggi, sehingga menghasilkan sulfur dioksida; c) gas buang dari pembakaran sampah di insinerator yang menghasilkan karbon dioksida dan asap; d) penggunaan bahan bakar gas pada pembakar ketel; e) kloro fluor karbon (CFC) akibat kebocoran pada mesin pendingin, lemari es, dan AC. 2) Kegiatan industri, kegiatan industri sering kali menghasilkan pencemaran udara karena adanya cerobong asap besar yang mengeluarkan asap hitam saat dibakar, menyebabkan asap naik ke atmosfer dan terbentuk hujan asam yang berbahaya bagi makhluk hidup. 3) Erupsi vulkanik, salah satu penyebab pencemaran udara yang berasal dari faktor alam adalah letusan gunung berapi yang mengeluarkan abu vulkanik dan material panas yang bisa mencemari udara dan berbahaya jika terhirup oleh makhluk hidup. Kandungan logam timbal, besi, dan seng bisa merusak paru-paru dan menyebabkan iritasi mata. Letusan yang sangat kuat bisa memengaruhi iklim global. 4) Penggunaan amonia, amonia adalah senyawa kimia berbentuk NH_3 yang merupakan gas tidak berwarna dengan bau menyengat. Amonia sering digunakan dalam berbagai bidang seperti produksi pupuk, pembersih, sistem pendingin, dan laboratorium kimia. Penggunaan amonia secara berlebihan bisa menyebabkan pencemaran udara dan jika terhirup dalam jumlah banyak, bisa menyebabkan penyakit pernapasan seperti bronkitis dan penyakit paru-paru. 5) Kebakaran hutan, kebakaran hutan juga menyebabkan pencemaran udara karena pembakaran kayu menghasilkan asap tebal yang mengandung karbon dioksida (Candrasari *et al.*, 2023).

Menurut *National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH), ada lima jenis polusi di dalam ruangan, yaitu pertama, polusi dari bahan pembersih, pestisida, asap rokok, dan bahan lain yang berasal dari dalam gedung. Kedua, polusi yang datang dari luar gedung, seperti asap dari cerobong atau gas buangan kendaraan. Ketiga, polusi karena bahan bangunan, seperti lem, fiberglass, asbes, formaldehid, dan bahan lain yang digunakan dalam membangun gedung. Keempat, polusi akibat mikroba, seperti jamur, bakteri, protozoa, dan mikroba lain yang menginfeksi saluran udara. Kelima, kurangnya udara segar karena ventilasi yang tidak baik atau kurangnya perawatan terhadap sistem ventilasi (Adler dalam Candrasari *et al.*, 2023). Pembakaran bahan bakar yang digunakan untuk pemanas ruangan dan memasak dapat menghasilkan nitrogen oksida (NO_2), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), hidrokarbon dan partikulat (Kusnoputranto dalam Candrasari *et al.*, 2023).

Polusi udara dalam ruangan adalah bentuk paparan terhadap partikel karbon dioksida dan polutan lainnya yang ada di dalam ruangan, seperti debu. Kotoran udara di luar ruangan bisa masuk ke dalam ruangan melalui jendela, pintu, ventilasi, atau jalur lainnya. Contoh polusi udara dalam ruangan yaitu, 1) Gas seperti karbon monoksida, zat radioaktif, dan lainnya; 2) Bahan-bahan bangunan seperti asbes, formaldehid, timbal, dan lainnya; 3) Alergen yang ada di dalam maupun luar ruangan, seperti bulu hewan, kecoa, tikus, dan lainnya; 4) Jamur serta serbuk sari dari bunga (Candrasari *et al.*, 2023).

Dampak dari paparan udara luar dan udara dalam ruangan tersebut menghasilkan Sulfur dioksida yang memiliki karakteristik berbau tajam, berwarna, bersifat iritan, tidak mudah meledak, dan tidak mudah terbakar. Paparan dari SO_2 dalam masa waktu yang singkat dapat menimbulkan

peenyakit pernapasan pada anak-anak maupun dewasa, terutama pada individu yang menderita asma serta lansia. Konsentrasi gas SO₂ sebesar 20 ppm yang bisa menyebabkan iritasi di tenggorokan, hidung, mata, edema paru, sinus, hingga bahkan kematian. Efek lainnya adalah iritasi pada saluran pernapasan dan menurunkan fungsi paru-paru yang bisa menyebabkan batuk dan sesak napas. Nitrogen dioksida memiliki bau yang sangat menyengat dan mudah dikenali karena warnanya kemerahan. Paparan NO₂ pada manusia dengan Konsentrasi NO₂ sebesar 5 ppm yang terpapar selama 10 menit bisa menyebabkan kesulitan bernapas. Efek lain dari NO₂ adalah batuk, lelah, mual, dan sakit kepala. Paparan NO₂ baik jangka pendek maupun panjang bisa meningkatkan risiko kematian karena menyebabkan penyakit kardiovaskular dan pernapasan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Putri *et al* (2017), sebanyak 80% dari pemulung di TPA Jatibarang menghirup udara yang tercemar mengeluhkan mengalami gangguan pernapasan. Dari penjelasan tersebut, diperlukan analisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan gas SO₂ dan NO₂ pada pemulung di TPA Jatibarang Kota Semarang (Qolifah *et al.*, 2024). PM_{2.5} di dalam ruangan dapat menyebabkan masalah kesehatan. Paparan PM_{2.5} dinilai lebih berbahaya bagi kesehatan dibandingkan PM₁₀ karena ukurannya yang lebih kecil dan aerodinamis, sehingga mampu masuk ke dalam paru-paru. Paparan PM_{2.5} dianggap sebagai faktor risiko yang lebih berbahaya dibandingkan PM₁₀ karena partikelnya lebih kecil, masuk ke paru-paru, serta mengandung lebih banyak bahan beracun. Pada anak-anak, paparan PM_{2.5} jangka pendek dan jangka panjang dikaitkan dengan berbagai efek kesehatan pernapasan, seperti penurunan perkembangan, munculnya penyakit pernapasan kronis seperti asma, serta keadaan darurat pernapasan seperti serangan asma, peningkatan kasus batuk, mengi, dan sesak napas; serta penurunan fungsi paru, terutama pada anak dengan penyakit paru seperti asma (Alimin & Wahyuni, 2021). Stanković dkk (2011) mengatakan bahwa polusi udara di dalam ruangan bisa menimbulkan dampak jangka panjang, seperti infeksi saluran pernapasan dan asma (A'yun & Umaroh, 2023). Menurut Silva dan tim dalam penelitiannya di Brazil, polusi udara di dalam ruangan dapat menyebabkan infeksi saluran pernapasan dan flu, yang juga bisa membuat badan panas, baik pada anak-anak maupun orang dewasa (A'yun & Umaroh, 2023). Terdapat dampak lain dari polusi udara, seperti iritasi saluran pernapasan atas (ISPA). Masalah ini bisa menyebabkan berbagai penyakit, mulai dari penyakit paru-paru dan jantung kronis hingga kanker paru-paru. Selain itu, anak-anak bisa mengalami infeksi saluran pernapasan akut, sedangkan orang dewasa rentan terhadap bronkitis kronis dan asma. Bahkan, risiko kesehatan jangka pendek maupun jangka panjang bisa berdampak pada kematian dini (Candrasari *et al.*, 2023).

Adapun beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk mengurangi polusi udara di luar ruangan dan dalam ruangan sehingga berkurangnya paparan pencemaran udara di luar ruangan dan dalam ruangan yaitu; 1) Menerapkan dan memahami konsep 3R yaitu mengurangi, memperbaiki, dan mendaur ulang. Jangan membuang barang-barang yang bagi kita tidak berguna, padahal barang tersebut masih bisa digunakan untuk hal lain, seperti membuat kerajinan tangan, dan sebagainya. Beberapa bahan juga bisa dikumpulkan kembali untuk didaur ulang menjadi produk baru yang bisa digunakan lagi; 2) Menggunakan sumber energi yang bisa diperbarui dan ramah lingkungan, seperti energi matahari, angin, dan panas bumi. Di beberapa negara lain, pemerintah memberikan subsidi kepada masyarakat yang ingin memasang panel surya di rumah mereka; 3) Untuk menghemat energi, kita bisa mematikan kipas angin, lampu, atau AC ketika tidak diperlukan atau saat kita keluar. Banyak bahan bakar fosil yang dibakar untuk membuat listrik, jadi ketika kita mengurangi penggunaan listrik, kita juga mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, sehingga kualitas udara bisa terjaga (Therin & Santosa, 2022); 4) Penambahan taman-taman kota dan jalur hijau berhasil menurunkan konsentrasi polutan udara hingga 15% dalam jarak 1 km. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya melakukan penghijauan di kota untuk meningkatkan kualitas udara dan kesehatan masyarakat. Adanya ruang hijau di lingkungan perkotaan bisa mengurangi tingkat polusi udara; 5) Penelitian juga menemukan

bahwa masyarakat yang menggunakan transportasi umum mengalami paparan polusi udara yang lebih rendah dibandingkan mereka yang menggunakan kendaraan pribadi. Penggunaan bus listrik dan kendaraan lain yang ramah lingkungan menunjukkan penurunan emisi sebesar 25%, yang membantu meningkatkan kesehatan paru-paru; 5) Tindakan nyata yang perlu dilakukan adalah memberikan pendidikan kepada masyarakat mengenai bahaya pencemaran udara dan cara menghindari paparan polusi, seperti menggunakan masker, memilih transportasi umum, serta menghindari aktivitas di luar ruangan ketika udara tidak sehat. Industri juga harus berinvestasi dalam sistem yang lebih ramah lingkungan dan efisien dalam mengurangi emisi serta risiko kesehatan bagi masyarakat (Pane Sakila Kirey Randita Pane & Usiono, 2024); 6) Kendaraan listrik memainkan peran penting dalam mengatasi polusi udara di kota-kota yang sering menjadi masalah serius. Pengembangan kendaraan listrik seperti mobil dan sepeda motor memberikan harapan besar. Kendaraan ini dapat mengurangi secara signifikan emisi polutan seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), sulfur dioksida (SO₂), dan partikulat materi (PM) (Zubaydah *et al.*, 2024). 7) Penerapan *Green Building* adalah salah satu solusi untuk mengatasi polusi udara. *Green Building* didesain dengan mempertimbangkan efisiensi penggunaan sumber daya, pengurangan limbah, dan penggunaan material yang ramah lingkungan. Selain itu, *Green Building* sering dilengkapi dengan sistem filtrasi udara yang canggih, sehingga membantu mengurangi masuknya partikel polutan ke dalam bangunan, serta mengurangi paparan polusi udara di dalam ruangan. Manfaatnya tidak hanya bagi penghuni tetapi juga mengurangi emisi karbon selama proses pembangunan dan operasional, karena biasanya menggunakan material yang lebih ramah lingkungan serta energi yang lebih efisien. Dengan demikian, *Green Building* dapat menjadi solusi efektif dalam mengatasi polusi udara dan mendukung lingkungan yang lebih bersih dan sehat. Fenomena efek rumah kaca meningkatkan suhu global dan menyebabkan pencemaran lingkungan. Tanda-tanda kerusakan pada sistem fisik dan ekologi bumi mulai terlihat, seperti menipisnya lapisan ozon di stratosfer, penurunan keanekaragaman hayati, degradasi lahan, serta perubahan siklus air. Dampak kerusakan fisik dan ekologi ini memengaruhi perubahan iklim global dan meningkatkan tingkat polusi. (Wahyudin dalam Zubaydah *et al.*, 2024). *Green Building* memiliki kemampuan untuk mengurangi emisi dengan berbagai metode. Pertama, desain bangunan yang efisien dalam penggunaan energi dapat mengurangi kebutuhan energi, sehingga mengurangi emisi karbon dari pembangkit listrik. Selain itu, penggunaan bahan bangunan yang ramah lingkungan dalam bangunan hijau dapat mengurangi jejak karbon karena material tersebut biasanya diproduksi dengan tingkat emisi yang lebih rendah. Banyak bangunan ramah lingkungan mengadopsi energi terbarukan seperti matahari dan angin untuk mengurangi penggunaan energi fosil dan meminimalkan jejak karbon dengan mengurangi emisi. Manajemen limbah yang efisien serta penerapan teknologi ramah lingkungan dalam operasional bangunan juga mampu membantu mengurangi emisi karbon secara keseluruhan (Widyawati dalam Zubaydah *et al.*, 2024).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari berbagai literatur, dapat disimpulkan bahwa kualitas udara, baik di luar maupun di dalam ruangan, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kesehatan dan fungsi sistem pernapasan manusia. Pertama, paparan udara luar yang tercemar oleh emisi kendaraan bermotor, aktivitas industri, pembakaran sampah, dan kebakaran hutan mengandung berbagai polutan seperti nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), serta partikel halus (PM_{2.5} dan PM₁₀). Polutan tersebut dapat menimbulkan gangguan pernapasan seperti iritasi saluran napas, penurunan fungsi paru, asma, bronkitis kronis, dan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK). Kedua, paparan udara dalam ruangan juga tidak kalah berbahaya karena dapat berasal dari asap rokok, penggunaan bahan kimia rumah tangga (formaldehida, VOC), ventilasi yang buruk, serta

debu dan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Polusi dalam ruangan berisiko menyebabkan infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), batuk kronis, alergi, sesak napas, hingga penurunan kapasitas paru-paru, terutama pada anak-anak dan lansia. Ketiga, dari sisi biologis dan fisiologis, paparan polutan dapat menghambat proses pertukaran gas di alveolus, menyebabkan peradangan jaringan paru, serta mengganggu transportasi oksigen dalam darah. Efek ini bersifat kumulatif dan dapat berdampak jangka panjang terhadap sistem pernapasan manusia. Keempat, upaya pencegahan yang dapat dilakukan meliputi peningkatan sirkulasi udara dalam ruangan, penerapan gaya hidup ramah lingkungan, penggunaan energi bersih, penghijauan di wilayah perkotaan, serta edukasi masyarakat tentang pentingnya menjaga kualitas udara dan menggunakan alat pelindung diri saat kualitas udara buruk. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa udara bersih merupakan kebutuhan vital bagi kesehatan manusia. Menjaga kualitas udara berarti juga menjaga keberlangsungan fungsi sistem pernapasan dan kualitas hidup masyarakat secara keseluruhan.

References

- A'yun, I. Q., & Umaroh, R. (2023). Polusi Udara dalam Ruangan dan Kondisi Kesehatan: Analisis Rumah Tangga Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 23(1), 16–26.
- Alimin, S., & Wahyuni, N. (2021). *Kualitas Udara Dalam Ruangan Sekolah (Pm2.5, Pm10, Co2, Dan Hcho) Dan Risiko Kesehatan Pada Siswa Di Kota Serang*, 141–153.
- Candrasari, S., Clarissa, E. C., Kusumawardani, F., Pattymahu, G. C. H., Eugenia, J. F., Cahyadi, L. B., Silvian, V., & Syabanera, N. D. (2023). Pemulihan Dampak Pencemaran Udara bagi Kesehatan Masyarakat Indonesia. *Professional: Jurnal Komunikasi Dan Administrasi Publik*, 10(2), 849–854.
- Handayani, S. (2021). *Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia*. Penerbit Media Sains Indonesia.
- Linda, Oliviani, Y., & Nurhanifah, D. (2024). *Dasar-dasar Asuhan Keperawatan Sistem Pernapasan*.
- Maharani, S., & Aryanta, W. R. (2023). Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan Dan Cara Meminimalisir Risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), 47–58.
- Nailah, S. P., Sitorus, M., Indonesia, U., Studi, P., Rumah, A., Indonesia, U. S., Studi, P., & Informasi, S. (2025). *Pernapasan Manusia*. 1–7.
- Pane, P. K. R., & Usiono. (2024). Dampak Lingkungan Perkotaan Terhadap Kesehatan Paru-Paru Masyarakat. *Jurnal Studi Multidisipliner*, 8(12), 2118–7453.
- Qolifah, L. N., Wahyuningsih, N. E., & Darundiati, Y. H. (2024). Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogenik Akibat Paparan Gas SO₂ dan NO₂ pada Pemulung di TPA Jatibarang Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(1), 50–58.
- Rumampuk, G., C., Poekoel, V., C., & Rumagit, A., M. (2021). Internet of Things-Based Indoor Air Quality Monitoring System Design. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 11–18.
- Syamiyah, N., & Wahyuni, S. (2021). Pencemaran Udara Dalam Ruangan (Karbon Dioksida Dan Total Senyawa Organik Volatile) Serta Gangguan Paru Pada Siswa Sd Di Depok. *Jurnal JOUBAHS*, 1(2), 126–140.
- Therin, K., & Santosa, J. M. J. P. (2022). Bangunan Untuk Bernafas Solusi Polusi Udara Di Jakarta. *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 3(2), 3157.
- Zubaydah, A., Sabilah, A. Z., Sari, D. P., dan Hidayah, F. N. A. (2024). Mengurangi Emisi: Mendorong Transisi Ke Energi Bersih Untuk Mengatasi Polusi Udara. *BIOCHEPHY: Journal of Science Education*, 04(1), 11–21.