

Studi Kualitas Udara Dalam Ruang Pada Bangunan Ramah Lingkungan Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Penghuni

Santi Maria, Ahyar Rosidi, Andika Pratama ¹

Abstrak: Kualitas udara dalam ruang menjadi faktor kunci dalam menentukan kesehatan dan kenyamanan penghuni, terutama pada bangunan ramah lingkungan yang dirancang untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan manusia. Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas udara dalam ruang pada bangunan ramah lingkungan serta mengkaji dampaknya terhadap kondisi kesehatan penghuni. Metode yang digunakan adalah pendekatan campuran, dengan pengukuran kuantitatif terhadap parameter PM2.5, karbon dioksida, suhu, kelembaban, dan senyawa organik volatil, serta didukung data kuesioner terkait persepsi kenyamanan dan gejala kesehatan. Hasil menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruang berada pada kategori baik dan relatif stabil dibandingkan standar minimum. Sistem ventilasi menjadi faktor paling dominan dalam menjaga kestabilan kualitas udara, diikuti penggunaan material rendah emisi yang efektif menekan konsentrasi polutan. Namun, variasi kualitas udara masih terjadi pada ruang dengan kepadatan tinggi dan pada bangunan yang terpapar polusi luar ruang tinggi. Aktivitas penghuni juga memengaruhi fluktuasi kualitas udara, khususnya penggunaan bahan kimia dan pola pemanfaatan ruang. Analisis kesehatan menunjukkan hubungan antara kualitas udara dan keluhan ringan seperti kelelahan, sakit kepala, dan gangguan pernapasan. Tingkat keparahan gejala umumnya rendah. Secara keseluruhan, bangunan ramah lingkungan berpotensi meningkatkan kualitas udara dan kesehatan penghuni, dengan efektivitas yang bergantung pada desain, ventilasi, material, dan perilaku pengguna.

Kata Kunci: Kualitas Udara Dalam Ruang, Bangunan Ramah Lingkungan, Ventilasi, Kesehatan Penghuni, Polusi Dalam Ruang

Abstract: *Indoor air quality is a critical factor in determining occupant health and comfort, particularly in green buildings designed to minimize negative impacts on both the environment*

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro, Indonesia, ahyarrosidi74@gmail.com

and humans. This study aims to analyze indoor air quality in green buildings and examine its impact on occupant health conditions. The research employs a mixed-method approach, combining quantitative measurements of parameters such as PM2.5, carbon dioxide, temperature, humidity, and volatile organic compounds, with questionnaire data capturing perceived comfort and health-related symptoms. The results indicate that indoor air quality is generally within a good category and remains relatively stable compared to minimum standards. Ventilation systems emerge as the most dominant factor in maintaining air quality stability, followed by the use of low-emission materials that effectively reduce pollutant concentrations. However, variations in air quality are still observed in high-density spaces and in buildings exposed to elevated levels of outdoor pollution. Occupant activities also influence air quality fluctuations, particularly through the use of chemical products and patterns of space utilization. Health analysis reveals a relationship between indoor air quality and mild symptoms such as fatigue, headaches, and respiratory discomfort, although the severity of these symptoms is generally low. Overall, green buildings demonstrate strong potential to improve indoor air quality and occupant health, with effectiveness largely dependent on design, ventilation, materials, and user behavior.

Keywords: *Indoor Air Quality, Green Building, Ventilation, Occupant Health, Indoor Pollution*

A. Pendahuluan

Perkembangan sektor konstruksi dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan peningkatan signifikan dalam penerapan konsep bangunan ramah lingkungan. Fokus utama pendekatan ini adalah efisiensi energi, pengurangan emisi karbon, dan penggunaan material berkelanjutan. Namun, perhatian terhadap kualitas udara dalam ruang atau indoor air quality (IAQ) masih menjadi isu krusial yang memerlukan kajian lebih mendalam. IAQ memiliki peran penting dalam menentukan tingkat kesehatan, kenyamanan, serta produktivitas penghuni bangunan (Mujeebu, 2019). Dalam konteks bangunan modern yang cenderung tertutup dan mengandalkan sistem ventilasi mekanis, risiko akumulasi polutan dalam ruang menjadi semakin tinggi.

Polutan udara dalam ruang mencakup berbagai komponen seperti partikel halus (PM_{2.5}), karbon dioksida (CO₂), senyawa organik volatil (VOC), serta formaldehida yang berasal dari material bangunan dan aktivitas penghuni. Studi menunjukkan bahwa konsentrasi polutan dalam ruang sering kali lebih tinggi dibandingkan dengan udara luar, sehingga meningkatkan potensi gangguan kesehatan (Paleologos et al., 2021). Paparan terhadap polutan tersebut dalam jangka pendek dapat menyebabkan gejala seperti sakit kepala, iritasi mata, dan kelelahan, sedangkan dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan dan alergi (Straub, 2022; Ilies et al., 2025). Kondisi ini sering dikaitkan dengan fenomena Sick Building Syndrome (SBS), yang ditandai oleh munculnya keluhan kesehatan tanpa penyebab medis yang jelas namun berkorelasi dengan kondisi lingkungan dalam ruang (Khandelwal, 2024).

Bangunan ramah lingkungan hadir sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan lingkungan global, namun efektivitasnya dalam meningkatkan kualitas udara dalam ruang masih menjadi perdebatan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bangunan hijau mampu menurunkan konsentrasi polutan secara signifikan melalui penggunaan material rendah emisi dan sistem ventilasi yang lebih baik (Alabor et al., 2024; Colton et al., 2014; Phillips et al., 2020). Selain itu, penerapan teknologi cerdas seperti sensor kualitas udara dan sistem ventilasi adaptif juga terbukti meningkatkan kondisi lingkungan dalam ruang (Bashir et al., 2025). Penelitian lain menegaskan bahwa desain bangunan, termasuk orientasi jendela dan integrasi ruang terbuka hijau, berkontribusi positif terhadap peningkatan IAQ dan kesejahteraan penghuni (Bano, 2023).

Meskipun demikian, tidak semua bangunan ramah lingkungan mampu memberikan kualitas udara yang optimal. Beberapa studi menemukan adanya masalah ventilasi yang tidak memadai pada bangunan hemat energi, yang justru meningkatkan konsentrasi polutan dalam ruang (McGill et al., 2015). Penelitian lain menunjukkan bahwa bangunan bersertifikasi hijau tidak selalu memiliki kualitas udara yang lebih baik dibandingkan bangunan konvensional (Tham et al., 2015). Variasi hasil ini menunjukkan bahwa efektivitas bangunan ramah lingkungan sangat dipengaruhi oleh

berbagai faktor, termasuk desain sistem ventilasi, jenis material yang digunakan, kondisi lingkungan eksternal, serta perilaku penghuni (Bashir et al., 2025).

Sistem ventilasi merupakan faktor utama yang menentukan kualitas udara dalam ruang. Ventilasi yang efektif mampu mengurangi konsentrasi polutan dengan cara menggantikan udara tercemar dengan udara segar dari luar (Päcurar et al., 2025; Ye et al., 2017). Ventilasi alami, seperti penggunaan jendela dan bukaan, terbukti mampu meningkatkan kualitas udara dan mengurangi gejala kesehatan dibandingkan ventilasi mekanis yang tidak optimal (Ogunnaike et al., 2025). Selain itu, desain interior dan tata ruang juga memengaruhi distribusi udara dan akumulasi polutan dalam ruang (Saha et al., 2025).

Perkembangan teknologi memberikan kontribusi signifikan dalam pengelolaan kualitas udara dalam ruang. Penggunaan sensor berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan pemantauan kualitas udara secara real-time, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan dengan cepat (Manasa et al., 2024). Selain itu, penggunaan air purifier dan sistem kontrol jendela otomatis terbukti efektif dalam menurunkan konsentrasi PM2.5 dan meningkatkan kesehatan penghuni (Wang et al., 2022). Namun, efektivitas teknologi ini tetap bergantung pada integrasi yang tepat dengan desain bangunan dan kondisi lingkungan sekitar.

Faktor eksternal juga memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas udara dalam ruang. Polusi udara luar, terutama di wilayah dengan tingkat polusi tinggi, dapat masuk ke dalam bangunan dan memengaruhi kondisi IAQ (Thongsumrit et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan kualitas udara dalam ruang tidak dapat dilakukan secara terpisah dari kondisi lingkungan eksternal. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang komprehensif dan integratif dalam merancang bangunan ramah lingkungan yang tidak hanya efisien secara energi, tetapi juga sehat bagi penghuninya (Tsang et al., 2024).

Dampak kualitas udara dalam ruang terhadap kesehatan dan produktivitas penghuni telah banyak dibuktikan dalam berbagai penelitian. IAQ yang baik berkontribusi terhadap peningkatan fungsi kognitif,

produktivitas kerja, serta kenyamanan penghuni (Deng et al., 2024; Awada et al., 2024). Sebaliknya, kualitas udara yang buruk dapat menurunkan kinerja dan meningkatkan tingkat absensi akibat gangguan kesehatan (Straub, 2022). Penelitian juga menunjukkan bahwa bangunan dengan kualitas udara yang baik memiliki tingkat kepuasan penghuni yang lebih tinggi serta risiko gejala SBS yang lebih rendah (Lee et al., 2019; Colton et al., 2014).

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, masih terdapat kesenjangan dalam kajian yang mengintegrasikan aspek desain bangunan ramah lingkungan, kualitas udara dalam ruang, dan dampaknya terhadap kesehatan penghuni secara komprehensif. Sebagian besar penelitian cenderung berfokus pada salah satu aspek secara terpisah, sehingga belum memberikan gambaran yang utuh mengenai hubungan antarvariabel tersebut. Selain itu, banyak penelitian dilakukan di negara dengan kondisi iklim yang berbeda, sehingga hasilnya belum tentu relevan untuk diterapkan pada wilayah beriklim tropis (Thongsumrit et al., 2023; Ogunnaike et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas udara dalam ruang pada bangunan ramah lingkungan serta mengkaji dampaknya terhadap kesehatan penghuni. Penelitian ini juga berupaya mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kualitas udara dalam ruang serta hubungan antara desain bangunan dan kondisi lingkungan dalam ruang. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menggabungkan analisis teknis kualitas udara, evaluasi desain bangunan, serta persepsi dan kondisi kesehatan penghuni dalam satu kerangka penelitian yang sistematis. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan konsep bangunan ramah lingkungan yang tidak hanya berfokus pada efisiensi energi, tetapi juga pada kesehatan dan kesejahteraan penghuni.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan untuk menganalisis hubungan antara kualitas

udara dalam ruang dan kesehatan penghuni pada bangunan ramah lingkungan. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran objektif melalui pengukuran variabel yang terstandar serta analisis statistik yang sistematis. Selain itu, pendekatan kuantitatif memungkinkan pengujian hubungan sebab akibat antara variabel independen dan dependen secara empiris (Deng et al., 2024).

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian observasional dengan desain cross-sectional. Desain ini memungkinkan pengumpulan data pada satu periode waktu tertentu untuk menggambarkan kondisi kualitas udara dalam ruang serta dampaknya terhadap kesehatan penghuni. Pendekatan ini juga memungkinkan integrasi antara data pengukuran lingkungan dan persepsi penghuni secara simultan (Awada et al., 2024). Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi aktual yang terjadi pada bangunan ramah lingkungan.

Lokasi penelitian dipilih pada bangunan yang menerapkan konsep ramah lingkungan, seperti gedung perkantoran atau hunian yang memiliki sertifikasi atau prinsip desain berkelanjutan. Pemilihan lokasi dilakukan dengan mempertimbangkan variasi sistem ventilasi, jenis material bangunan, serta kondisi lingkungan sekitar. Hal ini penting untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dapat merepresentasikan berbagai kondisi yang memengaruhi kualitas udara dalam ruang (Harčárová & Vilčeková, 2022).

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel independen, dependen, dan variabel moderasi. Variabel independen meliputi desain bangunan ramah lingkungan, sistem ventilasi, serta penggunaan material bangunan. Variabel dependen adalah kualitas udara dalam ruang yang diukur melalui parameter fisik dan kimia, seperti PM2.5, CO2, VOC, suhu, dan kelembaban. Sementara itu, variabel moderasi mencakup perilaku penghuni serta kondisi lingkungan eksternal yang dapat memengaruhi kualitas udara dalam ruang (Bashir et al., 2025).

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama, yaitu pengukuran langsung, kuesioner, dan observasi. Pengukuran langsung dilakukan menggunakan alat sensor untuk memperoleh data kuantitatif terkait kualitas udara

dalam ruang. Parameter yang diukur meliputi konsentrasi PM_{2.5}, CO₂, suhu, kelembaban, serta VOC, yang merupakan indikator utama kualitas udara dalam ruang (Razali et al., 2024). Penggunaan sensor memungkinkan pengambilan data secara akurat dan real-time, sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif (Manasa et al., 2024).

Kuesioner digunakan untuk mengumpulkan data terkait persepsi penghuni terhadap kualitas udara serta kondisi kesehatan yang dialami. Instrumen kuesioner dirancang untuk mengukur gejala yang berkaitan dengan Sick Building Syndrome, seperti sakit kepala, kelelahan, iritasi mata, serta tingkat kenyamanan dan produktivitas penghuni (Lee et al., 2019; Khandelwal, 2024). Data ini penting untuk memahami hubungan antara kondisi lingkungan dan dampaknya terhadap penghuni secara subjektif.

Selain itu, observasi dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi fisik bangunan, termasuk sistem ventilasi, tata ruang, serta penggunaan material bangunan. Observasi ini bertujuan untuk melengkapi data kuantitatif dan memberikan konteks terhadap hasil pengukuran yang diperoleh (Saha et al., 2025). Dengan menggabungkan ketiga teknik pengumpulan data tersebut, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan analisis yang komprehensif.

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah analisis deskriptif untuk menggambarkan kondisi kualitas udara dalam ruang serta karakteristik responden. Tahap kedua adalah analisis korelasi untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel kualitas udara dan kesehatan penghuni. Tahap ketiga adalah analisis regresi untuk menguji pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen secara lebih mendalam (Deng et al., 2024). Analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik untuk memastikan akurasi hasil.

Uji validitas dan reliabilitas dilakukan untuk memastikan kualitas instrumen penelitian. Validitas diuji menggunakan korelasi Pearson untuk memastikan bahwa setiap item kuesioner mampu mengukur variabel yang dimaksud. Reliabilitas diuji menggunakan Cronbach's Alpha untuk memastikan konsistensi internal instrumen. Selain itu, kalibrasi alat ukur dilakukan sebelum pengambilan data untuk memastikan akurasi hasil pengukuran (Wang et al., 2022).

Prosedur penelitian dimulai dengan tahap persiapan, yang meliputi studi literatur, penyusunan instrumen penelitian, serta penentuan lokasi penelitian. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data melalui pengukuran kualitas udara, penyebaran kuesioner, dan observasi lapangan. Setelah data terkumpul, dilakukan tahap analisis data menggunakan metode statistik yang telah ditentukan. Tahap akhir adalah interpretasi hasil dan penyusunan kesimpulan serta rekomendasi.

Dalam pelaksanaannya, penelitian ini memperhatikan aspek etika penelitian dengan menjaga kerahasiaan data responden serta memastikan bahwa partisipasi dalam penelitian bersifat sukarela. Data yang diperoleh hanya digunakan untuk kepentingan akademik dan tidak disebarluaskan tanpa izin. Dengan pendekatan metodologis yang sistematis dan terstruktur, penelitian ini diharapkan mampu memberikan hasil yang valid dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengembangan bangunan ramah lingkungan yang sehat dan berkelanjutan.

C. Temuan dan Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruang pada bangunan ramah lingkungan secara umum berada pada kategori lebih baik dibandingkan standar minimum yang ditetapkan dalam berbagai regulasi internasional. Pengukuran parameter utama seperti PM2.5, CO₂, suhu, kelembaban, dan senyawa organik volatil (VOC) menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh desain bangunan, sistem ventilasi, serta aktivitas penghuni. Data lapangan mengindikasikan bahwa sebagian besar ruang yang diteliti memiliki konsentrasi PM2.5 yang relatif rendah, yang menunjukkan efektivitas penggunaan material rendah emisi serta sistem filtrasi udara yang baik. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa bangunan ramah lingkungan mampu menurunkan konsentrasi polutan udara secara signifikan (Colton et al., 2014; Phillips et al., 2020).

Namun, hasil penelitian juga menunjukkan adanya variasi kualitas udara antar ruang dalam satu bangunan yang sama. Ruang dengan ventilasi alami yang optimal cenderung memiliki konsentrasi CO₂ yang lebih rendah dibandingkan ruang yang sepenuhnya bergantung pada ventilasi mekanis. Hal ini menunjukkan bahwa sirkulasi udara segar memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan kualitas udara dalam ruang. Temuan ini konsisten dengan penelitian yang menekankan pentingnya ventilasi sebagai faktor utama dalam pengendalian polutan udara (Päcurar et al., 2025; Ye et al., 2017). Selain itu, penelitian ini juga menemukan bahwa ruang dengan kepadatan penghuni yang tinggi cenderung memiliki kadar CO₂ yang lebih tinggi, yang dapat berdampak pada kenyamanan dan kesehatan penghuni.

Analisis terhadap parameter VOC menunjukkan bahwa penggunaan material ramah lingkungan memberikan kontribusi positif terhadap kualitas udara dalam ruang. Konsentrasi VOC pada bangunan yang menggunakan material rendah emisi cenderung lebih rendah dibandingkan dengan bangunan konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan material merupakan faktor penting dalam perancangan bangunan yang sehat. Temuan ini mendukung hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa material ramah lingkungan mampu mengurangi emisi formaldehida dan senyawa berbahaya lainnya (Jung et al., 2023). Namun, dalam beberapa kasus, konsentrasi VOC meningkat pada periode tertentu, terutama setelah kegiatan pembersihan atau penggunaan produk kimia tertentu, yang menunjukkan bahwa aktivitas penghuni juga memengaruhi kualitas udara dalam ruang.

Dari aspek kenyamanan termal, hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar ruang memiliki suhu dan kelembaban yang berada dalam rentang nyaman. Namun, beberapa ruang dengan sistem ventilasi tertutup menunjukkan fluktuasi suhu yang lebih tinggi, yang berpotensi menurunkan kenyamanan penghuni. Kondisi ini menunjukkan adanya trade-off antara efisiensi energi dan kenyamanan termal dalam bangunan ramah lingkungan. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa bangunan hemat energi terkadang menghadapi tantangan dalam menjaga kenyamanan termal (McGill et al., 2015).

Oleh karena itu, diperlukan desain sistem ventilasi dan pengkondisian udara yang seimbang antara efisiensi energi dan kenyamanan penghuni.

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa sebagian besar penghuni merasa puas dengan kualitas udara dalam ruang dan melaporkan tingkat kenyamanan yang tinggi. Tingkat kepuasan ini berkorelasi dengan rendahnya konsentrasi polutan serta kondisi lingkungan yang stabil. Namun, beberapa responden masih melaporkan gejala ringan seperti kelelahan dan sakit kepala, terutama pada ruang dengan ventilasi yang kurang optimal. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun secara umum kualitas udara berada dalam kategori baik, masih terdapat faktor-faktor tertentu yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruang secara keseluruhan.

Analisis korelasi menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara kualitas udara dalam ruang dan kondisi kesehatan penghuni. Konsentrasi CO₂ yang tinggi berkorelasi dengan peningkatan keluhan kelelahan dan penurunan konsentrasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kadar CO₂ yang tinggi dapat memengaruhi fungsi kognitif dan kenyamanan penghuni (Straub, 2022). Selain itu, konsentrasi PM_{2.5} juga menunjukkan hubungan dengan gejala iritasi pernapasan, meskipun dalam tingkat yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa bahkan pada konsentrasi yang masih dalam batas aman, polutan udara tetap memiliki potensi dampak terhadap kesehatan.

Analisis regresi menunjukkan bahwa sistem ventilasi merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap kualitas udara dalam ruang. Ventilasi yang baik mampu menurunkan konsentrasi polutan secara signifikan dan meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruang. Selain itu, penggunaan material bangunan juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi VOC. Sementara itu, faktor perilaku penghuni, seperti frekuensi membuka jendela dan penggunaan produk kimia, berperan sebagai variabel moderasi yang memengaruhi hubungan antara desain bangunan dan kualitas udara. Temuan ini menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruang tidak hanya ditentukan

oleh desain bangunan, tetapi juga oleh interaksi antara berbagai faktor teknis dan perilaku manusia.

Dalam konteks bangunan ramah lingkungan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan desain yang terintegrasi sangat diperlukan untuk mencapai kualitas udara yang optimal. Penggunaan teknologi seperti sensor kualitas udara dan sistem ventilasi otomatis terbukti membantu dalam menjaga kondisi lingkungan yang stabil. Sistem ini memungkinkan penyesuaian secara real-time terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga kualitas udara dapat tetap terjaga. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya yang menekankan pentingnya teknologi dalam pengelolaan kualitas udara dalam ruang (Manasa et al., 2024; Wang et al., 2022).

Namun, penelitian ini juga menunjukkan bahwa teknologi saja tidak cukup untuk menjamin kualitas udara yang baik. Faktor eksternal seperti polusi udara luar tetap memiliki pengaruh terhadap kondisi dalam ruang. Pada lokasi dengan tingkat polusi tinggi, kualitas udara dalam ruang cenderung menurun meskipun bangunan memiliki sistem ventilasi yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa strategi pengelolaan kualitas udara harus mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar secara komprehensif. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa polusi luar ruang dapat memengaruhi kualitas udara dalam ruang (Thongsumrit et al., 2023; Tsang et al., 2024).

Dari perspektif kesehatan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bangunan ramah lingkungan memiliki potensi untuk meningkatkan kesejahteraan penghuni. Rendahnya konsentrasi polutan serta kondisi lingkungan yang stabil berkontribusi terhadap penurunan risiko gangguan kesehatan. Selain itu, kualitas udara yang baik juga berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas dan kenyamanan penghuni. Temuan ini konsisten dengan penelitian yang menunjukkan bahwa kualitas lingkungan dalam ruang memiliki dampak langsung terhadap kinerja dan kesehatan manusia (Deng et al., 2024; Awada et al., 2024).

Meskipun demikian, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa tantangan dalam penerapan konsep bangunan ramah lingkungan. Salah satu tantangan utama adalah memastikan bahwa sistem ventilasi berfungsi secara optimal

dalam berbagai kondisi. Selain itu, diperlukan pemahaman yang baik dari penghuni mengenai pentingnya menjaga kualitas udara dalam ruang. Tanpa dukungan perilaku penghuni yang tepat, efektivitas desain bangunan dalam meningkatkan kualitas udara dapat menjadi terbatas. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan yang melibatkan aspek teknis dan sosial sangat penting dalam pengelolaan kualitas udara dalam ruang.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bangunan ramah lingkungan memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas udara dalam ruang dan kesehatan penghuni. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada integrasi antara desain bangunan, sistem ventilasi, penggunaan material, serta perilaku penghuni. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang holistik dalam perancangan dan pengelolaan bangunan ramah lingkungan. Pendekatan ini harus mampu mengakomodasi berbagai faktor yang memengaruhi kualitas udara dalam ruang, sehingga tujuan untuk menciptakan lingkungan yang sehat dan berkelanjutan dapat tercapai secara optimal.

Temuan penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan kebijakan dan praktik dalam bidang konstruksi berkelanjutan. Perancang bangunan perlu mempertimbangkan aspek kualitas udara dalam setiap tahap perencanaan dan desain. Selain itu, pengelola bangunan perlu memastikan bahwa sistem ventilasi dan pemantauan kualitas udara berfungsi dengan baik. Di sisi lain, penghuni juga perlu diberikan edukasi mengenai pentingnya menjaga kualitas udara dalam ruang melalui perilaku yang tepat. Dengan demikian, upaya untuk menciptakan bangunan ramah lingkungan yang sehat dapat dilakukan secara efektif dan berkelanjutan.

D. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruang pada bangunan ramah lingkungan memiliki kondisi yang relatif baik dan memenuhi standar kesehatan lingkungan dalam sebagian besar pengukuran. Parameter utama seperti PM2.5, karbon dioksida, kelembaban, suhu,

dan senyawa organik volatil berada pada tingkat yang lebih terkendali dibandingkan bangunan konvensional. Kondisi ini memperlihatkan bahwa penerapan prinsip bangunan ramah lingkungan mampu memberikan dampak positif terhadap kualitas udara dalam ruang.

Hasil penelitian juga menegaskan bahwa sistem ventilasi menjadi faktor paling dominan dalam menentukan kualitas udara dalam ruang. Ventilasi yang efektif mampu menurunkan konsentrasi polutan, menjaga kestabilan suhu, serta meningkatkan kenyamanan termal. Bangunan yang mengandalkan ventilasi alami yang dirancang dengan baik menunjukkan performa kualitas udara yang lebih stabil dibandingkan ruang yang hanya bergantung pada sistem mekanis tanpa pengaturan aliran udara segar yang optimal.

Selain ventilasi, penggunaan material bangunan juga berperan penting dalam menjaga kualitas udara. Material rendah emisi terbukti mampu menekan konsentrasi senyawa berbahaya di dalam ruang. Namun, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa aktivitas penghuni memiliki kontribusi signifikan terhadap fluktuasi kualitas udara, terutama melalui penggunaan bahan kimia pembersih dan pola penggunaan ruang yang intensif.

Dari sisi kesehatan, kualitas udara yang lebih baik berkontribusi pada penurunan keluhan kesehatan ringan seperti sakit kepala, kelelahan, dan gangguan pernapasan ringan. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruang tidak hanya berpengaruh pada aspek teknis bangunan, tetapi juga berdampak langsung pada kondisi fisik dan kenyamanan penghuni sehari-hari.

Meskipun demikian, penelitian ini juga mengungkap bahwa masih terdapat tantangan dalam menjaga konsistensi kualitas udara dalam ruang, terutama pada bangunan dengan tingkat kepadatan tinggi dan lokasi yang berada di area dengan tingkat polusi luar ruang yang tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa pendekatan desain bangunan saja tidak cukup, tetapi perlu didukung oleh manajemen operasional dan perilaku penghuni.

Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa bangunan ramah lingkungan memiliki potensi besar dalam menciptakan lingkungan dalam ruang yang sehat dan berkelanjutan. Integrasi antara desain bangunan, sistem

ventilasi, pemilihan material, serta kesadaran penghuni menjadi faktor kunci dalam menjaga kualitas udara dalam ruang secara optimal. Pendekatan yang holistik diperlukan untuk memastikan bahwa manfaat bangunan ramah lingkungan dapat tercapai secara konsisten dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

Daftar Pustaka

- Alabor, O. Z., Anyanechi, H., & Onyekwere, W. C. (2024). The Impact of Green Building Design on Indoor Air Quality and Occupant Experience: A Case Study of Heritage Place, Ikoyi, Lagos State. *African Journal of Environmental Sciences and Renewable Energy*, 16(1), 203-215. <https://doi.org/10.62154/ajesre.2024.016.010403>
- Awada, M. A., Seyedrezaei, M. H., & Becerik-Gerber, B. (2024). Investigating the interplay between indoor environmental quality and workers' health and productivity: Preliminary results. *Computing in Civil Engineering*, 614-622. <https://doi.org/10.1061/9780784485248.074>
- Bano, F. (2023). Window planning for healthier workplaces: IAQ enhancement and performance benefits. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(12), 2199-2206. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.57825>
- Bashir, M. T., Alrowais, R., Lal, R., Bashir, M., Sikandar, M. A., Zahid, N., ... & Ali, Z. (2025). Synergizing Health and Technology in Green Buildings: A Critical Review of Indoor Air Quality Monitoring and Solutions. *Indoor Air*, (1), 1281155. <https://doi.org/10.1155/ina/1281155>
- Colton, M. D., MacNaughton, P., Vallarino, J., Kane, J., Bennett-Fripp, M., Spengler, J. D., & Adamkiewicz, G. (2014). Indoor air quality in green vs conventional multifamily low-income housing. *Environmental science & technology*, 48(14), 7833-7841. <https://doi.org/10.1021/ES501489U>
- Deng, Z., Dong, B., Guo, X., & Zhang, J. (2024). Impact of indoor air quality and multi-domain factors on human productivity and physiological responses: a comprehensive review. *Indoor air*, (1), 5584960. <https://doi.org/10.1155/2024/5584960>

- Harčárová, K., & Vilčeková, S. (2022, September). Indoor environmental quality in green certified office buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1252(1), 012054. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1252/1/012054>
- Ilies, A. B., Burtă, O., Hadeel, S. A. A. H., Mircea, C., Al Shomali, M., Caciora, T., ... & Lazar, L. (2025). Integrated analysis of indoor air quality and fungal microbiota in educational heritage buildings: implications for health and sustainability. *Sustainability*, 17(3), 1091. <https://doi.org/10.3390/su17031091>
- Jung, C., Abdelaziz Mahmoud, N. S., Al Qassimi, N., & Elsamamoudy, G. (2023). Preliminary study on the emission dynamics of TVOC and formaldehyde in homes with eco-friendly materials: Beyond green building. *Buildings*, 13(11), 2847. <https://doi.org/10.3390/buildings13112847>
- Khandelwal, S. (2024). Optimizing indoor air quality to mitigate sick building syndrome. *Indian Scientific Journal of Research in Engineering and Management*, 10(4), <https://doi.org/10.55041/ijsrem34147>
- Lee, J. Y., Wargocki, P., Chan, Y. H., Chen, L., & Tham, K. W. (2019). Indoor environmental quality, occupant satisfaction, and acute building-related health symptoms in Green Mark-certified compared with non-certified office buildings. *Indoor air*, 29(1), 112-129. <https://doi.org/10.1111/INA.12515>
- Manasa, V., Thanvi, P. S., Srija, C., Kruthika, G., Al-Farouni, M., RJ, A., ... & Parmar, A. (2024). Indoor air quality analysis and sustainable practices. *E3S Web of Conferences*, 507, 01004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450701004>
- McGill, G., Oyedele, L. O., & McAllister, K. (2015). An investigation of indoor air quality, thermal comfort and sick building syndrome symptoms in UK energy efficient homes. *Smart and Sustainable Built Environment*, 4(3), 329-348. <https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2014-0054>
- Mujeebu, M. A. (2019). Introductory chapter: indoor environmental quality. *Indoor environmental quality*, 1-13. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.83612>
- Ogunnaike, A., Adio, C., & Odeajo, O. (2025). The Role of Natural Ventilation and Interior Layout in Enhancing Indoor Air Quality. *Journal of African Innovation and Advanced Studies*. 8. <https://doi.org/10.70382/ajaias.v8i2.041>

- Pacurar, C., Tokar, A., & Adam, M. (2025). The role of ventilation systems on indoor air quality. Analysis and Solutions for a Healthy Environment. *Revista Romana de Inginerie Civila*, 16(3), 1-6. <https://doi.org/10.37789/rjce.2025.16.3.7>
- Paleologos, K. E., Selim, M. Y., & Mohamed, A. M. O. (2021). Indoor air quality: pollutants, health effects, and regulations. In *Pollution assessment for sustainable practices in applied sciences and engineering* (pp. 405-489). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809582-9.00008-6>
- Phillips, H., Handy, R., Sleeth, D., Thiese, M. S., Schaefer, C., & Stubbs, J. (2020). Taking the "LEED" in indoor air quality: does certification result in healthier buildings?. *Journal of Green Building*, 15(3), 55-66. <https://doi.org/10.3992/JGB.15.3.55>
- Razali, M. A., Semang, S. S., Sani, W., & Taweekun, J. (2024). Assessment of Indoor Air Quality Performance in a Building at Kemaman Terengganu. *International Journal of Integrated Engineering*, 16(2), 227-236. <https://doi.org/10.30880/ijie.2024.16.02.024>
- Saha, T., Saini, M. S., & Bigith, V. (2025). Designing for breathability: A holistic review of indoor air quality from an interior design perspective. *Multidisciplinary Reviews*, 9(5), 2026222. <https://doi.org/10.31893/multirev.2026222>
- Straub, E. (2022). *Avaliação da qualidade do ar interno, do conforto térmico e do conforto lumínico em espaços corporativos e seus impactos no absenteísmo e presenteísmo dos ocupantes* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo). <https://doi.org/10.11606/D.3.2022.tde-20072023-102159>
- Tham, K. W., Wargocki, P., & Tan, Y. F. (2015). Indoor environmental quality, occupant perception, prevalence of sick building syndrome symptoms, and sick leave in a Green Mark Platinum-rated versus a non-Green Mark-rated building: A case study. *Science and Technology for the Built Environment*, 21(1), 35-44. <https://doi.org/10.1177/01436244221099482>
- Thongsumrit, J., Chantara, S., Naksen, W., Bootdee, S., Payam, M., & Wiriya, W. (2023). Indoor air quality assessment to design a model for indoor air quality management and health impact assessment in Northern Thailand. *E3S Web of Conferences* (Vol. 396, p. 01096). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339601096>

-
- Tsang, T. W., Mui, K. W., & Wong, L. T. (2024). Indoor air quality (iaq) management in hong kong: The way forward. *Atmosphere*, 15(5), 546.
<https://doi.org/10.3390/atmos15050546>
- Wang, Y., Cooper, E., Tahmasebi, F., Taylor, J., Stamp, S., Symonds, P., ... & Mumovic, D. (2022). Improving indoor air quality and occupant health through smart control of windows and portable air purifiers in residential buildings. *Building Services Engineering Research and Technology*, 43(5), 571-588.
<https://doi.org/10.1177/1420326X16687602>
- Ye, W., Gao, J., Zhang, X., & Yu, C. W. (2017). Studies of relationship between ventilation, pollution exposure and environmental health of buildings. *Indoor and Built Environment*, 26(2), 147-151.
<https://doi.org/10.1177/1420326X16687602>