

## INVESTIGASI KUALITAS UDARA RUANG PERKULIAHAN DI KOTA BANDUNG MENGGUNAKAN VENTILASI PASIF

Parisya Premiera Rosulindo<sup>1\*</sup>, Bowo Yuli Prasetyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia 40559

\* Correspondence: parisya.premiera@polban.ac.id

### Abstrak

Kualitas udara dalam ruangan menjadi perhatian yang serius karena memberikan dampak terhadap kesehatan manusia. Hal ini terkait dengan fakta bahwa 80%-90% aktivitas manusia dilakukan di dalam ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kualitas udara di salah satu ruang perkuliahan di Kota Bandung yang menggunakan ventilasi pasif, dengan fokus pada parameter konsentrasi CO<sub>2</sub>, temperatur, dan kelembapan. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu observasi dan ekperimental dengan memvariasikan tingkat bukaan ventilasi menjadi tiga kondisi: terbuka penuh, setengah terbuka, dan tertutup penuh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ventilasi terbuka penuh efektif dalam menjaga kualitas udara yang baik dengan konsentrasi CO<sub>2</sub>, temperatur, dan kelembapan yang stabil. Sebaliknya, pada kondisi ventilasi tertutup penuh, terjadi peningkatan signifikan pada konsentrasi CO<sub>2</sub>, temperatur, dan kelembapan yang dapat menurunkan kenyamanan serta meningkatkan risiko kesehatan. Penelitian ini menekankan pentingnya pengelolaan ventilasi pasif untuk menjaga lingkungan ruang perkuliahan yang sehat dan nyaman.

**Kata Kunci:** Kualitas udara; Ruang perkuliahan; Ventilasi pasif; Konsentrasi CO<sub>2</sub>

### Abstract

*Indoor air quality has become a critical concern due to its significant impact on human health, as 80%-90% of human activities are conducted indoors. This study aims to assess the air quality in a university classroom in Bandung City that utilizes passive ventilation, focusing on CO<sub>2</sub> concentration, temperature, and humidity parameters. A quantitative approach involving observational and experimental methods was employed by varying the opening levels of passive ventilation into three conditions: fully open, half-open, and fully closed. The results indicate that fully open ventilation effectively maintains good air quality with stable CO<sub>2</sub> concentration, temperature, and humidity. Conversely, under fully closed ventilation conditions, there is a significant increase in CO<sub>2</sub> concentration, temperature, and humidity, which can reduce comfort and pose health risks. The findings emphasize the importance of managing passive ventilation to ensure a healthy and comfortable classroom environment.*

**Keywords:** Air quality; classroom; Passive ventilation; CO<sub>2</sub> concentration.

Received: 19 January 2025

Revised: 07 June 2025

Accepted: 10 June 2025

Published: 02 July 2025

DOI: 10.31884/jtt.v11i2.775



Copyright: © 2025 by JTT

## 1. PENDAHULUAN

Udara merupakan campuran berbagai komponen yang tersebar bebas mengikuti volume di dalam ruang, termasuk gas, partikel padat, partikel cair, energi, ion, dan zat organik (Cahyono, 2017). Komposisi udara terdiri dari 78% nitrogen, 20.95% oksigen, 0.93% argon 0.038% karbon dioksida, dan gas-gas lain (Talarosha, 2017). Menurut Siburian (2020), udara yang segar memiliki kriteria seperti tidak berbau, ringan saat dihirup, dan terasa sejuk. Setiap makhluk hidup membutuhkan udara untuk mendukung kehidupannya secara optimal sehingga kualitas udara perlu dijaga dan dipelihara untuk mendapatkan udara yang sehat dan bersih.

Masalah kualitas udara di kota-kota besar Indonesia terutama Kota Bandung merupakan salah satu masalah yang penting dan berperan besar dalam mengancam kesehatan, kenyamanan, dan lingkungan hidup masyarakat. Pencemaran udara adalah salah satu contoh dari masalah kualitas udara. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 mendefinisikan bahwa pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan. Pencemaran udara dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu pencemaran udara luar ruangan (*outdoor air pollution*) dan pencemaran udara dalam ruangan (*indoor air pollution*). Menurut *World Health Organization* dan *Green Building Council Indonesia*, pencemaran udara dalam ruangan lebih berbahaya hingga empat kali lipat daripada pencemaran udara luar ruangan terutama apabila ruangan tidak memiliki sistem sirkulasi udara yang baik (Mutmainnah et al., 2019). Hal ini terjadi karena 80% hingga 90% kegiatan manusia seperti bekerja, belajar, dan beristirahat dilakukan dalam ruangan (Hildebrandt et al., 2019).

Pada penelitian sebelumnya, sindrom bangunan sakit atau *sick building system* (SBS) dapat disebabkan oleh buruknya kualitas udara dalam ruangan (Sun et al., 2015). Penghuni yang mengalami SBS memiliki gejala seperti iritasi mata, iritasi hidung dan tenggorokan, mual, sakit kepala, pneumonia, dan penyakit virus lainnya. Selain gejala tersebut, dampak secara tidak langsung akan terjadi setelah beberapa tahun kemudian seperti penyakit paru-paru, jantung, kanker, bahkan kematian (Ritchie, 2022). Penelitian lain juga mengungkapkan bahwa anak-anak dengan kelompok usia 10 tahun ke bawah lebih rentan terhadap masalah kesehatan yang berkaitan dengan masalah kualitas udara dibandingkan dengan orang dewasa karena tubuh mereka dalam fase perkembangan (Heracleous, 2019). Hasil penelitian dari Candrasari (2013) menunjukkan bahwa suhu berpengaruh signifikan terhadap terjadinya keluhan kesehatan seperti iritasi kulit dikarenakan semakin tinggi suhu dalam ruangan maka akan memiliki risiko 0.634 kali lebih besar untuk terjadinya iritasi kulit. Selain itu, kelembapan udara juga memberikan dampak terhadap kualitas udara dalam ruangan. Kelembapan udara yang tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan jamur dan bakteri, sehingga mempengaruhi penyebaran allergen dan partikulat lainnya (Kencanasari et al., 2020). Konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di dalam ruangan dengan densitas yang tinggi seperti contohnya di ruang perkuliahan seringkali lebih tinggi dari konsentrasi CO<sub>2</sub> di luar ruangan disebabkan oleh proses pernafasan manusia yang menghasilkan 4.4% volume CO<sub>2</sub> setiap kali bernafas. Mengutip dari Meiss (2021), Sebelum awal pandemi (Februari 2020), terdapat beberapa penelitian terkait pengukuran CO<sub>2</sub> dilakukan di taman kanak-kanak selama satu minggu pemantauan dan hasilnya mengkhawatirkan yaitu selama 88.75% dari waktu pengajaran, konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam ruangan mencapai nilai maksimum 3628.8 ppm. Penelitian lainnya dilakukan pada saat musim panas dan musim

dingin. Selama monitoring, ditemukan bahwa tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam ruangan cenderung meningkat selama periode penghunian terutama saat ruangan dalam kondisi penghuni penuh. Suhu dan kelembaban relatif juga mengalami fluktuasi tergantung pada musim dan penggunaan peralatan pendingin atau pemanas (Asif & Zeeshan, 2020).

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat diketahui bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan diantaranya suhu, kelembapan, dan konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Standar baku mutu kualitas udara dalam ruangan (*indoor air quality*) untuk suhu yaitu 18°C hingga 30°C dan kelembapan udara pada rentang 40% hingga 60% tergantung dari jenis penggunaan ruangan sedangkan untuk konsentrasi CO<sub>2</sub> maksimal 1000 ppm (Kementerian Kesehatan RI, 2023).

Departemen Kesehatan Republik Indonesia mengutip dari *International of Occupational Safety and Health* (NIOSH) bahwa penyebab tertinggi munculnya permasalahan kualitas udara dalam ruangan yaitu kurangnya ventilasi udara. Hal ini disebabkan karena pergantian udara atau *air change per hour* (ACH) dalam ruangan lebih rendah sehinggalan konsentrasi CO<sub>2</sub> akan meningkat. Penelitian yang dilakukan dalam ruangan tanpa ventilasi menggunakan *software Computational Fluid Dynamics* (CFD) menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat mencapai kisaran 3500 ppm, namun ketika dilakukan penambahan cerobong pada ruangan, konsentrasi CO<sub>2</sub> menurun signifikan hingga 400 ppm (Bebhe, 2023). Talarosha (2017) melakukan kajian literatur tentang ventilasi alami. Efektivitas jendela memasok udara segar untuk mempertahankan konsentrasi CO<sub>2</sub> di bawah ambang batas yang ditentukan akan berbeda-beda tergantung pada beberapa faktor seperti luas, tipe, dan posisi/letak jendela pada selubung bangunan. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Mutmainnah et al. (2023) bahwa pengukuran CO<sub>2</sub> di ruang kelas dengan densitas ruang kelas yang tinggi menggunakan sistem ventilasi alami menghasilkan 800 ppm yang artinya ventilasi alami yang digunakan baik dan mampu mempertahankan kualitas udara dalam kelas. Selain itu, penelitian dari Mutmainnah memperlihatkan adanya hubungan yang signifikan antara parameter suhu, kelembapan, dan konsentrasi CO<sub>2</sub>. *Ventilation rates* (VRs) juga berpengaruh dalam mengatur nilai konsentrasi CO<sub>2</sub>. Pada penelitian sebelumnya didapatkan bahwa meningkatkan VRs dapat mengurangi konsentrasi CO<sub>2</sub> dan polutan dalam ruangan sehingga dapat mempengaruhi penurunan masalah kesehatan bagi penghuni (Lu, 2016). Penelitian terkait VRs ini juga dilakukan di Australia. Penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> yang diukur seringkali melebihi standar Australia disebabkan dari VRs yang lebih rendah sehingga menandakan bahwa ventilasi udara yang tidak mencukupi dalam ruangan (Andamon, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Stabile et al. (2016), dalam ruang kelas di Cassino, Italia juga menunjukkan bahwa ventilasi yang tepat sangat penting dalam menjaga kondisi dalam ruang kelas seperti melakukan pengudaraan manual.

Penelitian ini berfokus pada pengukuran kualitas udara ruang kelas di Bandung dengan menggunakan ventilasi pasif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sejauh mana ventilasi pasif mampu mempertahankan kualitas udara yang memadai pada ruang kelas. Penelitian ini juga berusaha untuk memberikan rekomendasi mengenai pengelolaan ventilasi di lingkungan perguruan tinggi untuk meningkatkan kenyamanan dan kesehatan penghuni ruangan.

Pada penelitian ini, udara didalam suatu ruangan dikondisikan dengan mengatur bukaan ventilasi pasif dan dievaluasi parameter kualitas udara. Studi ini memfokuskan pada konsentrasi CO<sub>2</sub>, suhu, dan kelembapan.

**2. METODE**

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu observasi dan eksperimental yang diawali dengan melakukan studi pustaka terkait standar baku mutu dan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas udara. Tahapan ini akan menghasilkan sejumlah informasi yang dapat dijadikan acuan dalam proses pengambilan data dan analisis.

Parameter kualitas udara yang diukur meliputi konsentrasi CO<sub>2</sub> sebagai indikator kinerja ventilasi pasif dalam mengatur aliran udara dalam ruangan, suhu udara untuk memahami kondisi termal ruang perkuliahan, dan kelembapan relatif untuk mengetahui pengaruh terhadap kenyamanan penghuni ruangan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat pengukuran yang terkalibrasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1 (a)** yaitu 7798 AZ CO<sub>2</sub> Temperature RH Indoor Air Quality Monitor Data Logger dengan spesifikasi yang ditampilkan pada **Tabel 1**. Peletakan alat ukur mengacu pada (Mahyuddin & Awbi, 2012) yaitu berada pada ketinggian zona bernafas siswa dalam posisi duduk yaitu 1 meter dengan posisi alat diletakan di tengah ruangan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1 (b)**. Pengukuran parameter kualitas udara dilakukan secara langsung di salah satu ruang perkuliahan yang terletak di Gedung Perkuliahan Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung selama 90 menit pada saat jam perkuliahan berlangsung. Pemilihan ruang ini dikarenakan lingkungan sekitar gedung masih rimbun pepohonan dan ventilasi pasif langsung mengarah ke lingkungan luar gedung.



**Gambar 1.** (a) CO<sub>2</sub> Temperature RH Indoor Air Quality Monitor Data Logger; (b) Penempatan Alat Pengukuran.

**Tabel 1.** Spesifikasi Alat Ukur.

7798 AZ CO <sub>2</sub> Temperature RH Indoor Air Quality Monitor Data Logger			
Measuring Range		Accuracy	
CO2	0~9999 ppm, (2001~9999 ppm out of scale range)	CO2	±50ppm±5% of reading (0~2000 ppm) Other range is 10% of reading
Temperature	-10°C~60°C (14°F~140°F)	Temperature	±0.6°C/ ±0.9°F
RH	0.1%~99.9% RH		
Resolution	1 ppm, 0.1 °C/°F, 0.1% RH		

Penelitian ini akan mengamati kondisi dari tiga variasi bukaan ventilasi pasif yang berjumlah 10 ventilasi. Variasi yang dilakukan pada ventilasi pasif seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2** mengilustrasikan: (a) terbuka penuh yaitu seluruh ventilasi pasif yang ada di ruang perkuliahan di buka semua; (b) setengah terbuka yaitu setengah dari jumlah ventilasi pasif pada ruang perkuliahan di buka; dan (c) tertutup penuh yaitu seluruh ventilasi pasif yang ada di ruang perkuliahan di tutup semua. Pada penelitian ini

juga dilakukan pengambilan data saat kondisi ruang perkuliahan yang tidak berpenghuni sebagai referensi apabila ruangan dalam kondisi *steady*.



**Gambar 2.** Pengambilan Data Ruangan Berpenghuni dengan Ventilasi Pasif Terbuka (a) Penuh; (b) Setengah Terbuka; (c) Tertutup Penuh.

Analisis data akan dilakukan pada data-data yang telah didapatkan. Metode analisis data yang digunakan adalah metode kuantitatif berdasarkan nilai yang diperoleh dari data pengukuran. Evaluasi dilakukan terhadap hasil pengukuran dengan nilai ambang batas yang direkomendasikan seperti pada **Tabel 2**. Hasil analisis akan diinterpretasikan untuk mengetahui efektivitas penggunaan ventilasi pasif dalam meningkatkan kualitas udara dalam ruang perkuliahan.

**Tabel 2.** Rekomendasi Ambang Batas Parameter Kualitas Udara Ruang Kelas.

Parameter	Rekomendasi	Referensi
Temperatur	18 °C - 30 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 2 Tahun 2023</li> <li>ASHRAE Standard 62-1 (2019)</li> </ul>
Kelembapan Udara	40% - 60%	
Konsentrasi CO <sub>2</sub>	1000 ppm	

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Kepadatan Ruang Perkuliahan

Ukuran ruang perkuliahan yang menjadi objek penelitian adalah 8.9 m x 8.2 m x 3.05 m. Terdapat 30 mahasiswa dan 1 dosen yang berada di dalam ruang perkuliahan. Kepadatan ruang perkuliahan pada objek penelitian adalah 2.35 m<sup>2</sup>/penghuni. Berdasarkan Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI No. 44 Tahun 2015 kepadatan ruang perkuliahan minimal 2 m<sup>2</sup> sehingga masih dinyatakan memenuhi syarat standar luas ruangan perkuliahan.

#### Analisis Kualitas Udara Ruang Perkuliahan Tidak Berpenghuni

Untuk melakukan analisis secara mendalam, diperlukan data referensi kondisi ruangan yang *steady* yaitu ruangan perkuliahan yang tidak berpenghuni dengan kondisi ventilasi pasif tertutup penuh seperti yang ditampilkan pada **Gambar 3**. Data pengukuran untuk temperatur, kelembapan udara, dan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada ruang perkuliahan yang tidak berpenghuni ditunjukkan pada **Tabel 3**.



**Gambar 3.** Kondisi Pengambilan Data di Ruang Perkuliahan Tidak Berpenghuni.

**Tabel 3.** Hasil Pengamatan Temperatur, Kelembapan Udara, dan Konsentrasi CO<sub>2</sub> Pada Ruang Perkuliahan Tidak Berpenghuni.

Parameter	Min	Maks	Rata-Rata
Temperatur	23.1°C	26.7 °C	24.9 °C
Kelembapan Udara	46%	52.3%	50.15%
Konsentrasi CO <sub>2</sub>	409 ppm	492 ppm	451 ppm

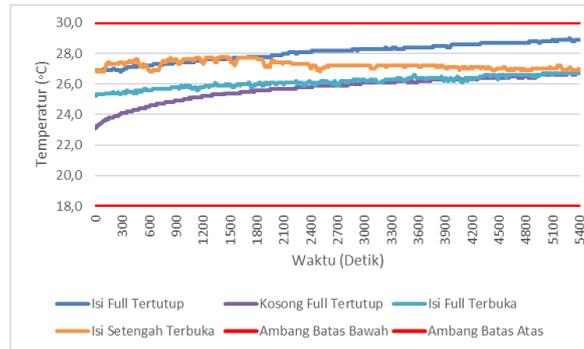
Pada ruang perkuliahan tidak berpenghuni dengan ventilasi tertutup penuh, temperatur dan kelembapan udara memiliki variasi nilai yang cenderung stabil dan terbatas yang mencerminkan keseimbangan pasif. Hal ini diakibatkan sebab tidak adanya aktivitas manusia dan minim pertukaran udara dengan lingkungan luar. Tanpa ventilasi yang terbuka, ruangan tertutup mengalami kenaikan temperatur hanya akibat radiasi panas dari lingkungan luar ruangan. Hal ini juga mengakibatkan kelembapan udara cenderung tetap dalam rentang yang sempit. Karena tidak ada penambahan uap air dari aktivitas internal. Variasi yang terjadi lebih dipengaruhi oleh kondisi bahan bangunan (*thermal lag*) saat ruangan ditutup. Konsentrasi CO<sub>2</sub> juga stabil dan cenderung mengikuti kadar CO<sub>2</sub> atmosferik. Variasi kecil dalam konsentrasi CO<sub>2</sub> lebih berkaitan dengan kondisi udara awal saat ruangan ditutup dan adanya sedikit kebocoran udara melalui celah bangunan atau dinding yang memungkinkan difusi CO<sub>2</sub>.

#### **Analisis Temperatur Ruang Perkuliahan terhadap Variasi Buka-an Ventilasi Pasif**

Temperatur adalah salah satu parameter kualitas udara dalam ruangan yang harus diperhatikan. Adanya variasi bukaan ventilasi pasif mempengaruhi temperatur dalam ruangan. **Gambar 4** menampilkan *trend* temperatur yang signifikan terjadi dalam ruangan terhadap perubahan bukaan ventilasi pasif selama pengujian berlangsung. Hasil ini menunjukkan korelasi negatif antara temperatur dan luas bukaan ventilasi: semakin besar bukaan ventilasi pasif, semakin rendah rata-rata temperatur dalam ruangan. Hal ini menunjukkan bahwa ventilasi pasif yang maksimal berperan penting dalam mengeluarkan udara panas dan menggantikannya dengan udara yang lebih sejuk dari luar, sehingga menjaga temperatur dalam kisaran yang nyaman. Pada kondisi ventilasi terbuka penuh, udara panas dari dalam ruangan dapat dengan mudah naik dan keluar melalui bukaan atas (*stack effect*), sementara udara luar yang relatif lebih sejuk masuk dari bukaan yang lebih rendah, menciptakan sirkulasi termal alami (Heracleous & Michael, 2019). Proses ini mampu menurunkan akumulasi panas yang dihasilkan dari metabolisme tubuh penghuni dan radiasi termal dari peralatan dan dinding.

Sebaliknya, pada kondisi ventilasi tertutup penuh, udara panas yang dihasilkan oleh aktivitas penghuni tidak dapat keluar. Akibatnya, terjadi akumulasi panas di dalam ruangan yang menyebabkan kenaikan temperatur secara signifikan. Hal ini konsisten dengan prinsip isolasi termal pada bangunan tertutup, di mana tanpa pertukaran udara,

ruangan akan cenderung mengalami pemanasan progresif, terutama dalam ruang dengan kepadatan penghuni yang tinggi.



**Gambar 4.** Temperatur terhadap Variasi Bukaannya Ventilasi Pasif.

Ambang batas yang diperkenankan untuk temperatur dalam ruangan yaitu 18°C-30°C. Berdasarkan Tabel 4, temperatur pada ruangan berpenghuni dengan seluruh variasi bukaan ventilasi pasif masih dalam kisaran yang dapat diterima oleh ambang batas. Rentang temperatur juga semakin besar saat ventilasi ditutup: dari 1.5°C (terbuka penuh) menjadi 2.1°C (tertutup penuh), menunjukkan ketidakstabilan termal akibat tidak adanya pertukaran udara.

**Tabel 4.** Hasil Pengukuran Temperatur terhadap Variasi Bukaannya Ventilasi Pasif.

Variasi Bukaan	Min	Maks	Rata-Rata
Terbuka Penuh	25.2 °C	26.7 °C	25.95 °C
Setengah Terbuka	26.8 °C	27.9 °C	27.35 °C
Tertutup Penuh	26.8 °C	28.9 °C	27.85 °C

**Analisis Kelembapan Relatif Ruang Perkuliahan terhadap Variasi Bukaannya Ventilasi Pasif**

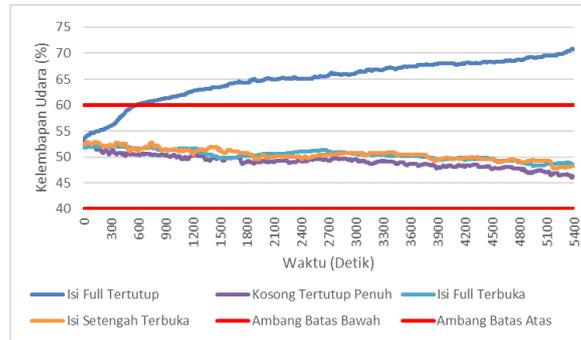
Kelembapan relatif dalam ruangan adalah rasio dari jumlah uap air yang sebenarnya terkandung di udara dengan jumlah uap air yang dapat terkandung di udara pada temperatur tertentu. **Tabel 5** menunjukkan bahwa ruangan berpenghuni dengan variasi bukaan ventilasi pasif tertutup penuh memiliki nilai kelembapan relatif rata-rata sebesar 62.15% serta untuk kedua variasi bukaan ventilasi pasif yang lain berkisar 50.15% dan 50.5%. Menurut Permenkes RI No. 2 Tahun 2023, kelembapan relatif yang ideal dalam suatu ruangan berada di kisaran 40%-60%, artinya pada variasi tertutup penuh, ruangan tidak memenuhi standar kualitas udara yang disarankan.

**Tabel 5.** Hasil Pengukuran Kelembapan Relatif terhadap Variasi Bukaannya Ventilasi Pasif.

Variasi Bukaan	Min	Maks	Rata-Rata
Terbuka Penuh	48.2%	52.1%	50.15%
Setengah Terbuka	48%	53%	50.5%
Tertutup Penuh	53.4%	70.9%	62.15%

Pada kondisi ruangan berpenghuni dan tertutup penuh kelembapan relatif meningkat seperti yang ditampilkan pada **Gambar 5**. Rentang kelembapan pada kondisi tertutup penuh sangat besar (53.4%–70.9%), menunjukkan ketidakstabilan kelembapan akibat penumpukan uap air tanpa adanya proses pelepasan ke udara luar. Sebaliknya, pada kondisi terbuka penuh dan setengah terbuka, ventilasi pasif memungkinkan udara lembap dalam ruangan terdorong ke luar dan digantikan dengan udara segar yang lebih

kering sehingga menghasilkan kelembapan yang lebih stabil dan terkendali. Hal ini selaras dengan prinsip konveksi alami, di mana udara lembap yang lebih ringan naik dan dapat keluar melalui ventilasi atas, sementara udara luar yang lebih sejuk dan kering masuk dari ventilasi bawah (*stack effect* dan *cross ventilation*).



**Gambar 5.** Kelembapan Udara terhadap Variasi Buka-an Ventilasi Pasif.

**Analisis Konsentrasi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Ruang Perkuliahan terhadap Variasi Buka-an Ventilasi Pasif**

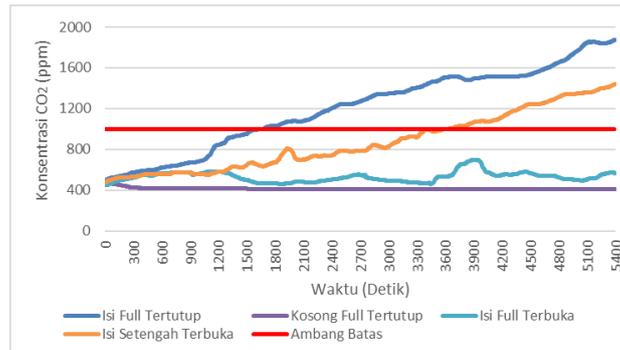
Karbon dioksida CO<sub>2</sub> yang ada di dalam ruang perkuliahan berasal dari aktivitas pernapasan penghuni ruangan. Konsentrasi CO<sub>2</sub> merupakan parameter penting dalam mengukur kualitas udara dalam ruangan. Menurut ASHRAE 62.1, ruangan yang dihuni sebaiknya memiliki sistem ventilasi yang dapat menjaga konsentrasi CO<sub>2</sub> di bawah 1000 ppm untuk menjaga kualitas udara yang baik. **Tabel 6** menunjukkan bahwa variasi bukaan setengah terbuka dan tertutup penuh memiliki nilai maksimum yang melebihi ambang batas yaitu 1439 ppm dan 1873 ppm sedangkan untuk variasi bukaan terbuka penuh masih dalam ambang batas dengan nilai maksimum 699 ppm. Hal ini memperlihatkan korelasi yang kuat antara variasi bukaan ventilasi pasif terhadap peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> bahwa semakin besar bukaan ventilasi pasif maka semakin efektif dalam mengendalikan akumulasi CO<sub>2</sub> dalam ruangan perkuliahan.

**Tabel 6.** Hasil Pengukuran Konsetrasi CO<sub>2</sub> terhadap Variasi Buka-an Ventilasi Pasif.

Variasi Buka-an	Min	Maks	Rata-Rata
Terbuka Penuh	449 ppm	699 ppm	574 ppm
Setengah Terbuka	471 ppm	1439 ppm	955 ppm
Tertutup Penuh	501 ppm	1873 ppm	1187 ppm

Korelasi tersebut dibuktikan dengan grafik pengamatan seperti yang ditampilkan pada **Gambar 6**. Variasi bukaan terbuka penuh relatif stabil dan menunjukkan bahwa bukaan tersebut efektif dalam mengendalikan akumulasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses metabolisme penghuni di dalam ruang perkuliahan.

**Gambar 6** juga menampilkan variasi CO<sub>2</sub> yang ekstrem pada kondisi setengah terbuka dan tertutup penuh. pada kondisi tertutup penuh, CO<sub>2</sub> meningkat drastis hingga rata-rata 1187 ppm dan maksimum 1873 ppm, yang jauh melampaui batas kenyamanan. Hal ini menunjukkan kondisi ruang stagnan, di mana tidak ada jalur keluar-masuk udara, menyebabkan karbon dioksida hasil metabolisme menumpuk secara progresif. Hal ini menunjukkan bahwa ventilasi yang tidak optimal tidak mampu mengimbangi laju produksi CO<sub>2</sub> oleh penghuni.



**Gambar 6.** Konsentrasi CO<sub>2</sub> terhadap Variasi Buka-an Ventilasi Pasif.

### Korelasi Antara Variasi Buka-an Ventilasi Pasif dengan Kualitas Udara

Dari hasil pengukuran dan analisis menunjukkan pola korelasi negatif yang konsisten antara luas bukaan ventilasi pasif dan ketiga parameter kualitas udara yaitu semakin besar bukaan, maka temperatur dan kelembapan lebih terkendali, dan konsentrasi CO<sub>2</sub> lebih rendah dan semakin tertutup ventilasi, maka akumulasi panas, uap air, dan CO<sub>2</sub> meningkat secara signifikan, melewati batas ambang kenyamanan dan kesehatan.

Ketiga parameter ini juga saling berkolasi secara fisiologis, seperti suhu tinggi dapat meningkatkan laju pernapasan, yang berdampak pada peningkatan CO<sub>2</sub>. Selain itu, kelembapan tinggi mengurangi efisiensi evaporasi keringat, meningkatkan persepsi panas, dan menurunkan kenyamanan termal serta akumulasi CO<sub>2</sub> dapat menyebabkan gejala seperti kantuk, sakit kepala, dan penurunan fungsi kognitif (Stabile et al., 2016; Lu et al., 2016).

## 4. PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan temuan penelitian, dapat disimpulkan bahwa pengamatan ruang berpenghuni terhadap variasi bukaan ventilasi pasif menunjukkan kondisi kualitas udara yang bervariasi. Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa ventilasi pasif yang terbuka penuh secara konsisten memberikan kondisi udara terbaik untuk ruang perkuliahan. Hal ini memperkuat pentingnya perencanaan ventilasi pasif dalam desain bangunan pendidikan, termasuk penempatan strategis ventilasi atas dan bawah (untuk efek cerobong); optimalisasi luas bukaan sesuai rasio volume ruangan; dan pertimbangan arah angin dan orientasi bangunan.

### Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, saran yang dapat dilakukan oleh pihak instansi yaitu:

- a. Pengelolaan Ventilasi
  - Ventilasi di ruang perkuliahan selalu dibuka penuh selama kegiatan perkuliahan berlangsung untuk menjaga sirkulasi udara yang optimal.
  - Penempatan ventilasi tambahan atau pengoptimalan desain ventilasi pasif dapat dipertimbangkan untuk ruang dengan kepadatan penghuni.
- b. Pemantauan dan Evaluasi Rutin

Pihak manajemen instansi perlu secara rutin memantau kualitas udara dalam ruangan menggunakan perangkat yang terkalibrasi untuk memastikan parameter

kualitas udara tetap dalam nilai ambang batas yang aman dan kesehatan penghuni ruang.

c. Edukasi dan Kesadaran Pengguna Ruang

Edukasi kepada mahasiswa dan dosen mengenai pentingnya menjaga sirkulasi udara dalam ruangan perlu ditingkatkan agar para civitas akademika dapat memahami dampak kualitas udara terhadap kesehatan dan produktivitas kerja.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan beberapa penelitian tambahan seperti mengukur dampak ventilasi pasif terhadap polutan lain seperti partikulat halus (PM2.5 dan PM10) atau senyawa organik volatil (VOC). Selain itu, dapat juga dilakukan pengukuran pada ruangan yang menggunakan ventilasi aktif seperti AC dan dibandingkan dengan hasil pengukuran ventilasi pasif.

**Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dana penelitian kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri Bandung dengan nomor kontrak B/6.36/PL1.R7/PG.00.03/2024.

**Daftar Pustaka**

- Andamon, M. M., Rajagopalan, P., & Woo, J. (2023). Evaluation of ventilation in Australian school classrooms using long-term indoor CO<sub>2</sub> concentration measurements. *Building and Environment*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110313>
- Asif, A., & Zeeshan, M. (2020). Indoor temperature, relative humidity and CO<sub>2</sub> monitoring and air exchange rates simulation utilizing system dynamics tools for naturally ventilated classrooms. *Building and Environment*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106980>
- Bebhe, K., & Purwanto, L. M. F. (2023). Upaya Penanganan Asap Melalui Simulasi Karbon Dioksida Menggunakan CFD pada Tungku Perapian pada Rumah Adat Bajawa-Ngada (Vol. 5, Issue 1).
- Cahyono, T. (2017). *Penyehatan Udara* (E. Risanto, Ed.). Penerbit Andi.
- Candrasari, R., & Mukono. (2013). Hubungan Kualitas Udara Dalam Ruang dengan Keluhan Penghuni Lembaga Perumahan Kelas IIA Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 7, 21–25.
- Heracleous, C., & Michael, A. (2019). Experimental assessment of the impact of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort conditions of educational buildings in the Eastern Mediterranean region during the heating period. *Journal of Building Engineering*, 26, 100917. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100917>
- Hildebrandt, S., Kubota, T., Sani, H. A., & Surahman, U. (2019). Indoor air quality and health in newly constructed apartments in developing countries: A case study of Surabaya, Indonesia. *Atmosphere*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/atmos10040182>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah No. 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. In *Berita Negara Republik Indonesia No.5*. [www.peraturan.go.id](http://www.peraturan.go.id)

- Kencanasari, R. A. V., Surahman, U., Permana, A. Y., & Nugraha, H. D. (2020). Kondisi Kualitas Udara di Dalam Ruangan Pemukiman Non-Kumuh Kota Bandung. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 3(3), 235–245. <https://doi.org/10.17509/jaz.v3i3.28134>
- Lu, C., Deng, Q., Li, Y., Sundell, J., & Norbäck, D. (2016). Outdoor air pollution, meteorological conditions and indoor factors in dwellings in relation to sick building syndrome (SBS) among adults in China. *Science of the Total Environment*, 560–561, 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.033>
- Mahyuddin, N., & Awbi, H. (2012). A Review of CO<sub>2</sub> Measurement Procedures in Ventilation Research. *International Journal of Ventilation*, 10(4), 353–370. <https://doi.org/10.1080/14733315.2012.11683961>
- Meiss, A., Jimeno-Merino, H., Poza-Casado, I., Llorente-álvarez, A., & Padilla-Marcos, M. Á. (2021). Indoor air quality in naturally ventilated classrooms. Lessons learned from a case study in a covid-19 scenario. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/su13158446>
- Mutmainnah, N., Larosa, E., & H, S. Z. (2023). Evaluasi Kualitas Udara Pada Ruang Kelas di Sekolah Sekitar Kawasan Pabrik Semen Tonasa. *Jurnal Linears*, 6(1), 48–55. <https://doi.org/10.26618/j-linears.v6i1.10476>
- Mutmainnah, N., Mulyadi, R., & Hamzah, B. (2019). Air Quality Characteristics in Junior High School Classroom with Natural Ventilation in Pangkep Regency. *EPI International Journal of Engineering*, 2(2), 157–161. <https://doi.org/10.25042/epi-ije.082019.11>
- Pemerintah Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2022). Indoor Air Pollution. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/indoor-air-pollution>
- Siburian, S. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca (1st ed.)*. Kreasi Cendekia Pustaka.
- Stabile, L., Dell’Isola, M., Frattolillo, A., Massimo, A., & Russi, A. (2016). Effect of natural ventilation and manual airing on indoor air quality in naturally ventilated Italian classrooms. *Building and Environment*, 98, 180–189. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.01.009>
- Sun, Y., Wang, P., Zhang, Q., Ma, H., Hou, J., & Kong, X. (2015). Indoor Air Pollution and Human Perception in Public Buildings in Tianjin, China. *Procedia Engineering*, 121, 552–557. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.08.1032>
- Talarosha, B. (2017). Jendela dan Dampaknya terhadap Konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam Ruang Kelas, Kajian Literatur. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 6(4), 188–195. <https://doi.org/10.32315/jlbi.7.1.46>