

ANALISIS FAKTOR KENYAMANAN AKUSTIK DAN TATA UDARA TERHADAP EVALUASI KUALITAS RUANG KELAS HIJAU

Tanty Fatikasari^{1,*}, Novia Al Adawiyah¹

¹)Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jln.Prof. H.Soedarto, S.H. Tembalang, Kota Semarang 50275

^{*})Correspondent Author: tanty.fatikasari@polines.ac.id

Abstract

The implementation of green campus principles in educational buildings requires natural ventilation and acoustic comfort, a challenge commonly referred to as the Window Dilemma. This study evaluates the physical quality of green classrooms by examining the relationship between ventilation and acoustic comfort within an integrated analytical framework. A descriptive quantitative approach was employed using primary data collected from 155 Civil Engineering students at Semarang State Polytechnic. Exploratory Factor Analysis (EFA) with Varimax rotation identified two relevant factors, namely Factor I (Indoor Environmental Quality Awareness) and Factor IV (Outdoor Comfort and Pedestrian Environment Awareness), explaining 37.392% and 4.684% of the total variance, respectively. The results reveal a discrepancy between students' high awareness of green building concepts (76.05%) and their actual perceived classroom comfort. Natural ventilation performance was considered less than optimal by a substantial proportion of respondents (40.1% neutral responses), while external noise was reported to interfere with learning activities by 19.8% of students. These findings confirm that ventilation efficiency and acoustic isolation are mutually dependent via the physical building envelope. The study highlights the critical trade-off between natural airflow and sound attenuation, emphasizing the necessity of an "envelope-first" design approach—incorporating passive shading and vegetation buffers—to achieve thermally and acoustically comfortable sustainable learning environments.

Keywords: *acoustic comfort, building envelope, exploratory factor analysis, green campus, natural ventilation*

PENDAHULUAN

Implementasi konsep kampus hijau (*green campus*) menuntut keseimbangan teknis antara efisiensi energi bangunan dan kualitas lingkungan dalam ruang (*Indoor Environmental Quality/IEQ*). Di wilayah dengan iklim tropis lembap yang ditandai oleh temperatur tinggi dan kelembapan ekstrem, strategi desain pasif arsitektur umumnya

bertumpu pada optimalisasi ventilasi alami untuk menekan penggunaan pengkondisian udara mekanis (Hamzah et al., 2016; Setiati et al., 2025). Berdasarkan studi makro mengenai kesadaran infrastruktur ramah lingkungan yang dilakukan sebelumnya, persepsi kenyamanan fisik pengguna ruang merupakan komponen penentu keberhasilan ekologis bangunan (Adawiyah &

Fatikasari, 2025). Di antara seluruh parameter fisik yang ada, tata udara dan kenyamanan akustik adalah dua faktor laten kritis yang secara simultan menentukan kelayakan sebuah ruang kelas sebagai ruang komunikasi pembelajaran (Purwojatmiko & Salati, 2022; Sari et al., 2022). Kondisi lingkungan belajar yang memenuhi standar fisik ini terbukti berkorelasi positif terhadap stabilitas konsentrasi dan kemampuan kognitif mahasiswa selama proses perkuliahan (Hamzah et al., 2016; Sari et al., 2022).

Pemenuhan kriteria tata udara dan akustik di lapangan sering kali menghadapi kendala teknis yang kontradiktif dengan kondisi ideal yang disyaratkan standar nasional. Fenomena ini memicu dilema bukaan (*The Window Dilemma*), di mana perluasan dimensi jendela demi meningkatkan laju ventilasi alami (Faktor I) secara bersamaan menurunkan kemampuan selubung bangunan dalam mengisolasi suara (Faktor IV). Akibatnya, pemenuhan pasokan udara segar sering kali mengorbankan ketenangan ruang akibat masuknya transmisi kebisingan lingkungan luar kampus (Purwojatmiko & Salati, 2022). Berbagai studi menunjukkan bahwa temperatur efektif di dalam ruang kelas secara konsisten berada di atas ambang batas nyaman Standar Nasional Indonesia (SNI), yang diperparah oleh ketidakmampuan desain bukaan dalam menginduksi aliran udara pada lingkungan perkotaan yang padat (Sari et al., 2022; Yeny & Hidayat, 2019).

Dalam literatur terkini, terdapat kesenjangan penelitian yang mendasar. Pertama, mayoritas penelitian kenyamanan ruang kelas dilakukan secara parsial, yaitu hanya mengevaluasi tata udara (Quraisy et al., 2019; Talukdar et al., 2020) atau performa akustik saja (Purwojatmiko & Salati, 2022). Masih sangat jarang ditemukan studi multivariat yang memetakan interaksi dan benturan antara kedua faktor tersebut secara terintegrasi pada bangunan pasif di iklim tropis. Kedua, studi payung sebelumnya di Politeknik Negeri Semarang baru sebatas memetakan tingkat kesadaran mahasiswa secara umum (Adawiyah & Fatikasari, 2025). Analisis yang secara khusus mengkaji keterkaitan antara parameter tata udara pada Faktor I (IEQ) dan parameter kenyamanan akustik pada Faktor IV (Kenyamanan Ruang Luar dan Lingkungan Pejalan Kaki) dalam evaluasi ruang kelas hijau tergolong masih terbatas. Padahal, kedua aspek tersebut berperan penting dalam menentukan kualitas lingkungan belajar dan sering kali saling memengaruhi dalam praktik perancangan bangunan.

Oleh sebab itu, penelitian ini memanfaatkan hasil *Exploratory Factor Analysis* (EFA) untuk mengevaluasi hubungan antara tata udara dan kenyamanan akustik dalam satu kerangka analisis yang terintegrasi. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai potensi *window dilemma* antara kebutuhan ventilasi alami dan kenyamanan

akustik pada ruang kelas hijau di lingkungan pendidikan tinggi beriklim tropis.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas fisik ruang kelas pada bangunan eksisting melalui analisis terintegrasi antara indikator tata udara pada Faktor I (yang mencakup fungsi bukaan jendela, kenyamanan cuaca panas, dan efektivitas sirkulasi udara) serta kenyamanan akustik eksternal pada Faktor IV hasil EFA. Evaluasi pada struktur eksisting ini mendesak dilakukan untuk memberikan dasar empiris bagi skenario pengoperasian ventilasi harian maupun strategi retrofitting (modifikasi peningkatan performa komponen gedung tanpa merombak struktur utama) selubung bangunan. Kajian ini diharapkan dapat memetakan titik optimum pengaturan bukaan jendela yang ada guna menyeimbangkan kebutuhan sirkulasi udara dan proteksi terhadap kebisingan lingkungan luar. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan adaptif bagi pengelola kampus dalam menjaga kualitas lingkungan belajar yang sehat secara termal sekaligus kondusif secara akustik.

Kualitas Lingkungan Dalam Ruang (IEQ) merupakan parameter komprehensif yang menentukan kelayakan, kenyamanan, dan kesehatan ruang terbangun bagi penggunaanya (Sari et al., 2022). Di dalam fasilitas pendidikan, pemenuhan standar IEQ berkorelasi langsung terhadap performa kognitif, produktivitas, dan

tingkat konsentrasi mahasiswa selama proses pembelajaran. Evaluasi IEQ umumnya melibatkan multivariat parameter fisik, di mana tata udara (kenyamanan termal dan laju sirkulasi udara) serta kenyamanan akustik bertindak sebagai komponen pembentuk persepsi kenyamanan total yang paling dominan dan langsung dirasakan oleh pengguna ruang kelas (Sari et al., 2022; Purwojatmiko & Salati, 2022).

Pada wilayah dengan iklim tropis lembap, desain bangunan ramah lingkungan mengutamakan strategi pendinginan pasif melalui optimalisasi ventilasi alami untuk mencapai kenyamanan termal tanpa ketergantungan pada energi mekanis (Hamzah et al., 2016; Setiati et al., 2025). Parameter tata udara yang ideal disyaratkan mampu mengalirkan udara segar secara kontinu guna mengantisipasi akumulasi panas dan kelembapan ekstrem di dalam ruangan (Quraissy et al., 2019; Talukdar et al., 2020). Kegagalan sistem ventilasi pasif berwujud pada peningkatan temperatur efektif ruang kelas di atas ambang batas standar kenyamanan nasional, yang memicu kelelahan termal dan menurunkan efektivitas penyerapan materi kuliah (Sekar Larasati & Setyowati, 2023; Yeny & Hidayat, 2019).

Kenyamanan akustik di dalam ruang kelas disyaratkan memiliki tingkat bising latar belakang yang rendah guna menjamin kejelasan artikulasi komunikasi verbal antara dosen dan mahasiswa (Purwojatmiko & Salati, 2022). Kemampuan ruang

dalam mereduksi gangguan suara eksternal sangat bergantung pada kinerja fisik selubung bangunan, khususnya komponen dinding luar dan jendela pembatas (Shelviana et al., 2023). Secara teoritis, efisiensi peredaman bising diukur melalui nilai *Sound Transmission Class* (STC) material pembatas. Material dengan nilai STC rendah berisiko meloloskan gelombang suara dari area sirkulasi kendaraan kampus atau koridor, sehingga mengganggu stabilitas lingkungan belajar (Purwojatmiko & Salati, 2022).

Dalam perancangan arsitektur hijau pasif, terdapat konflik teknis inheren antara pemenuhan target tata udara bersih dan proteksi akustik ruang. Optimalisasi sirkulasi udara segar menuntut perluasan dimensi bukaan jendela, namun tindakan ini secara simultan menciptakan celah transmisi gelombang suara yang menurunkan performa isolasi akustik selubung bangunan (Purwojatmiko & Salati, 2022). Kondisi ini menunjukkan bahwa perancangan bukaan bangunan perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan ventilasi alami dan pengendalian kebisingan agar kualitas lingkungan belajar dapat terjaga secara optimal.

METODE PENELITIAN

Sumber Data dan Karakteristik Responden

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan memanfaatkan basis data sekunder yang bersumber dari studi basis (*baseline study*) mengenai

evaluasi infrastruktur kampus hijau di Politeknik Negeri Semarang (Adawiyah & Fatikasari, 2025). Data sekunder diperoleh melalui instrumen kuesioner yang mencakup indikator kesadaran lingkungan makro hingga parameter fisik ruang terbangun (seperti tata udara, pencahayaan, dan kebisingan). Guna menghindari bias pengukuran, keabsahan instrumen dipastikan melalui seleksi validitas indikator serta pengujian reliabilitas kuantitatif sebelum analisis EFA dilakukan.

Subjek penelitian ini secara spesifik dibatasi pada 155 responden mahasiswa aktif di Jurusan Teknik Sipil. Pemilihan mahasiswa sebagai unit analisis didasarkan pada pertimbangan bahwa mahasiswa merupakan kelompok pengguna ruang kelas dengan durasi paparan (*occupancy time*) paling dominan secara kontinu sepanjang jam perkuliahan. Fokus pada persepsi pengguna ruang ini diterapkan agar analisis faktor EFA murni menangkap dinamika adaptasi dan kenyamanan riil yang dirasakan pengguna harian, sementara parameter fisik objektif diukur terpisah melalui instrumen lapangan. Ketiadaan data persepsi dosen pengajar diakui sebagai keterbatasan studi ini dan direkomendasikan untuk dikaji pada penelitian selanjutnya. Profil responden berbasis gender menunjukkan distribusi sebesar 56% laki-laki dan 44% perempuan. Berdasarkan karakteristik usia, populasi sampel berada pada rentang 17 hingga 23 tahun, dengan

konsentrasi terbesar pada kelompok usia 20 tahun (23%) dan 18 tahun (21%).

Instrumen Penelitian dan Uji Validitas Lanjut

Instrumen kuesioner awal dirancang dengan skala Likert lima poin yang mencakup aspek kesadaran lingkungan makro hingga parameter fisik ruang terbangun. Melalui tahapan seleksi kualitas data, dua indikator dinyatakan gugur karena tidak memenuhi batas minimum validitas, sehingga menyisakan 28 indikator final yang digunakan dalam analisis lanjutan. Uji reliabilitas internal terhadap 28 indikator tersebut menghasilkan nilai reliabilitas internal (*Cronbach's Alpha*) sebesar 0,934, yang mengindikasikan tingkat konsistensi instrumen yang sangat tinggi dan layak untuk pengujian multivariat.

Analisis Faktor Eksploratori (*Exploratory Factor Analysis*)

Reduksi data dilakukan menggunakan metode *Exploratory Factor Analysis* (EFA) dengan pendekatan *Principal Component Analysis* (PCA) dan metode rotasi Varimax. Kelayakan matriks korelasi data diuji menggunakan nilai *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) *Measure of Sampling Adequacy* dan *Bartlett's Test of Sphericity*. Hasil pengujian menunjukkan nilai KMO sebesar 0,885 dengan signifikansi *Bartlett's Test* $p < 0,001$, yang menegaskan bahwa struktur hubungan antar-variabel bersifat linear dan memenuhi syarat untuk ekstraksi faktor.

Penelitian ini secara spesifik membatasi ruang lingkup analisis pada Faktor I (*Eigenvalue* = 10,470; kontribusi varians = 37,392%) dan Faktor IV (*Eigenvalue* = 1,311; kontribusi varians = 4,684%). Pemilihan kedua faktor ini didasarkan pada relevansi fungsional indikator penyusunnya yang secara langsung merepresentasikan interaksi fisik parameter tata udara dan kenyamanan akustik pada ruang kelas hijau

HASIL DAN PEMBAHASAN Hasil Analisis Faktor Komponen Utama (*Principal Component Analysis*)

Reduksi data menggunakan metode EFA dengan rotasi Varimax dilakukan terhadap parameter kesadaran infrastruktur ramah lingkungan yang bersumber dari basis data sekunder Adawiyah dan Fatikasari, 2025. Dari 28 indikator valid yang diuji pada 155 responden mahasiswa Teknik Sipil Polines, terbentuk enam faktor utama dengan nilai *Eigenvalue* di atas 1,00 dan akumulasi varians kumulatif sebesar 66,13%. Guna menyajikan analisis yang lebih spesifik, artikel ini membatasi fokus pada dua faktor utama yang merepresentasikan performa fisik ruang kelas hijau, yaitu Faktor I dan Faktor IV.

Faktor I merupakan dimensi IEQ yang memiliki nilai *Eigenvalue* sebesar 10,47 dan menjelaskan varians data sebesar 37,392%. Faktor ini dibentuk oleh delapan indikator, yaitu kenyamanan pencahayaan alami (p12; *loading* 0,718), fungsi bukaan jendela untuk kesegaran udara (p13; *loading*

0,776), tingkat kebisingan rendah (p14; *loading* 0,701), kenyamanan kondisi cuaca panas (p15; *loading* 0,533), efektivitas sirkulasi udara (p22; *loading* 0,466), kuat penerangan lampu buatan (p28; *loading* 0,480), perilaku bijak penggunaan listrik (p29; *loading* 0,692), dan pemahaman konsep *green building* (p30; *loading* 0,532).

Di sisi lain, Faktor IV merepresentasikan dimensi kesadaran kenyamanan ruang luar dan lingkungan pejalan kaki dengan nilai *Eigenvalue* sebesar 1,311 dan kontribusi varians sebesar 4,684%. Faktor IV terdiri oleh lima indikator, meliputi ketersediaan fasilitas

kesehatan gedung (p18; *loading* 0,565), penggunaan material dinding penurun suhu (p24; *loading* 0,551), kemampuan dinding luar menahan radiasi kalor (p25; *loading* 0,741), orientasi bangunan terhadap lintasan matahari (p26; *loading* 0,676), dan kenyamanan akustik ruang dari gangguan luar (p27; *loading* 0,570). Rincian lengkap mengenai pengelompokan indikator, nilai bobot faktor (*loading factor*), nilai *eigenvalue*, persentase kontribusi varians, serta nilai *Cronbach's Alpha* untuk kedua faktor utama IEQ tersebut disajikan secara komprehensif pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengelompokan Variabel Berdasarkan *Exploratory Factor Analysis* (EFA)

Faktor / Indikator	Deskripsi Variabel Kuesioner	<i>Loading Factor</i>	Keterangan
FAKTOR I Kesadaran Kualitas Lingkungan Dalam Ruang (IEQ)			<i>Eigenvalue</i> : 10,470 Varians: 37,392%
p12	Kenyamanan pencahayaan alami di siang hari	0,718	Valid
p13	Fungsi bukaan jendela untuk kesegaran udara	0,776	Valid
p14	Tingkat kebisingan di ruang kelas yang rendah	0,701	Valid
p15	Kenyamanan ruang kelas saat kondisi cuaca panas	0,533	Valid
p22	Efektivitas sirkulasi udara menjaga kesegaran	0,466	Signifikan
p28	Kenyamanan kuat penerangan buatan (lampu)	0,480	Signifikan
p29	Perilaku bijak penggunaan listrik (hemat energi)	0,692	Valid
p30	Pemahaman konsepsi <i>green building</i> secara umum	0,532	Valid
FAKTOR IV Kesadaran Kenyamanan Ruang Luar & Lingkungan Pejalan Kaki			<i>Eigenvalue</i> : 1,311 Varians: 4,684%
p18	Ketersediaan fasilitas kesehatan gedung	0,565	<i>Outlier</i>
p24	Penggunaan material dinding penurun suhu (cat)	0,551	Valid
p25	Kemampuan dinding luar menahan radiasi kalor	0,741	Valid
p26	Orientasi bangunan terhadap lintasan matahari	0,676	Valid
p27	Kenyamanan akustik ruang dari gangguan luar	0,570	Valid

Korelasi Tata Udara Terhadap Persepsi Kenyamanan Total (Faktor I)

Kedudukan Faktor I sebagai komponen dominan menunjukkan bahwa kualitas lingkungan fisik di dalam ruang kelas merupakan penentu utama keberhasilan infrastruktur kampus hijau. Berdasarkan sebaran indikatornya, variabel kognitif-perilaku mahasiswa seperti pemahaman mengenai *green building* dan tindakan penghematan energi mengelompok dalam satu kluster bersama parameter fisik tata udara. Hal ini mengindikasikan bahwa kesediaan mahasiswa untuk melakukan efisiensi energi berbanding lurus dengan stabilitas kenyamanan termal yang mereka rasakan langsung di dalam ruang kelas.

Penelitian ini menunjukkan adanya kesenjangan antara pemahaman teoritis mahasiswa dengan realitas kenyamanan udara di lapangan. Walaupun hasil analisis deskriptif kuesioner menunjukkan kesadaran umum mahasiswa terhadap prinsip bangunan hijau berada pada kategori tinggi yaitu 76,05% (akumulasi persentase jawaban setuju dan sangat setuju dari seluruh indikator), kepuasan terhadap kondisi fisik ruang kelas aktual justru menunjukkan variasi. Fenomena ketidakseimbangan antara pengetahuan dan respon fisik ini sejalan dengan temuan Oh et al. (2023) yang mengonfirmasi bahwa peningkatan Kualitas Lingkungan Dalam Ruang (IEQ) pada bangunan hijau secara langsung memengaruhi persepsi kognitif dan pembentukan

pola perilaku harian pengguna. Indikator fisik pencahayaan alami (p12) dan fungsi bukaan (p13) mendapat kecenderungan respons positif di atas 65%, sedangkan indikator efektivitas sirkulasi udara (p22) menunjukkan tingkat kepuasan yang belum optimal, di mana *loading factor* mencatat angka terendah (0,466) dengan dominasi pilihan jawaban netral sebesar 40,1% dari total 155 responden. Kondisi ini mengindikasikan adanya ketidakpastian atau keraguan responden terhadap performa pertukaran udara alami di dalam kelas.

Hasil Evaluasi Pasca-Huni (*Post-Occupancy Evaluation/POE*) pada ruang kelas berventilasi alami di iklim tropis ini sejalan dengan kajian Valiyappurakkal et al. (2025), yang menegaskan bahwa mempertahankan batas kenyamanan termal dan kualitas udara *indoor* pada bangunan pendidikan berventilasi alami di iklim tropis memiliki tantangan dinamis yang tinggi akibat fluktuasi cuaca eksternal. Secara teknis, fenomena ini mengisyaratkan bahwa rancangan bukaan jendela pada gedung kuliah saat ini belum optimal dalam memenuhi kebutuhan sirkulasi udara harian. Hambatan ventilasi ini menyebabkan akumulasi kalor dan kelembapan khas iklim tropis di dalam ruang, yang pada akhirnya meningkatkan kecenderungan mahasiswa untuk beralih menggunakan sistem pendinginan mekanis (kipas angin/AC) yang berakibat pada tidak optimalnya target penghematan energi (p29).

Ketidakoptimalan sirkulasi udara alami ini memicu rantai kompromi (*trade-off*) kenyamanan di dalam ruang kelas beriklim tropis. Ketika mahasiswa berinisiatif membuka jendela secara maksimal untuk mengatasi penumpukan panas, fenomena *Window Dilemma* muncul secara simultan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Mulyadi et al. (2025) pada bangunan ruang kelas berventilasi alami di Indonesia, di mana pembukaan jendela memang meningkatkan pergerakan udara tetapi meloloskan kebisingan latar (*background noise*) luar hingga melebihi 64 dB. Sebaliknya, ketika mahasiswa mengandalkan sirkulasi mekanis lokal seperti kipas angin, kebisingan frekuensi rendah dari motor kipas justru menciptakan gangguan akustik baru. Sebagaimana dibuktikan oleh Bhandari et al. (2024), kebisingan latar dari pengoperasian kipas angin (58,2–65,3 dBA) secara signifikan merusak konsentrasi, kenyamanan mendengar, dan keterlibatan kognitif mahasiswa selama perkuliahan.

Respon adaptif yang dilakukan mahasiswa saat menghadapi ketidaknyamanan termal tersebut selaras dengan studi kenyamanan termal adaptif oleh Firman et al. (2025) dan Neves et al. (2025) di ruang kelas iklim tropis Asia Tenggara. Kedua studi tersebut membuktikan bahwa pengguna ruang berventilasi alami secara aktif melakukan penyesuaian perilaku seperti mengatur sirkulasi bukaan, menggunakan alat pendingin lokal, hingga menyesuaikan pakaian, guna memitigasi akumulasi kalor dan

udara pekat. Kegagalan fungsi ventilasi pasif ini mempertegas argumen Kapoor et al. (2021) mengenai rentannya standar IEQ pada ruang kelas berventilasi alami di wilayah berkembang, serta menguatkan studi Panggabean et al., (2025) bahwa kelembapan relatif tinggi (*Relative Humidity* > 60%) dan kebisingan lingkungan adalah kendala utama ruang terbangun tropis.

Kesenjangan antara kesadaran *green building* (76,05%) dan kepuasan fisik riil ini menguatkan tesis mengenai dinamika rentang adaptasi perilaku pengguna ruang di iklim tropis, di mana persepsi kenyamanan lebih didikte oleh interaksi fisik langsung ketimbang pemahaman teoritis (Montoya dan Mejía, 2021). Dinamika interaksi antara perilaku penghuni dan performa fisik ruang ini pada akhirnya menjadi determinan utama efisiensi energi harian kampus. Sebagaimana terungkap dalam tinjauan sistematis terhadap gedung-gedung pendidikan, perilaku penghuni posisi kunci dalam keberhasilan penghematan energi (Chaer et al., 2025). Pengabaian terhadap respon adaptif dan kepuasan fisik pengguna dalam perancangan ruang kelas berventilasi alami berpotensi memicu intervensi energi yang tidak terencana.

Interaksi Akustik Ruang pada Dimensi Kesadaran Kenyamanan Ruang Luar & Lingkungan Pejalan Kaki (Faktor IV)

Hubungan empiris yang penting pada struktur pembentuk Faktor IV ditunjukkan oleh indikator

kenyamanan akustik dari kebisingan luar (p27; *loading* 0,570). Variabel ini secara statistik mengelompok bersama dengan elemen arsitektur eksterior gedung, seperti kemampuan dinding luar menahan kalor (p25) dan orientasi massa bangunan terhadap lintasan matahari (p26). Pengelompokan multivariat ini menunjukkan bahwa gangguan suara di dalam kelas diidentifikasi oleh pengguna ruang sebagai dampak langsung dari karakteristik fisik selubung bangunan.

Kondisi tersebut merepresentasikan *window dilemma* pada perancangan bangunan pasif di iklim tropis lembap. Ketika bukaan jendela dimaksimalkan untuk mengejar target penyegaran udara pada Faktor I, komponen dinding dan jendela tersebut secara bersamaan menjadi jalur transmisi utama bagi kebisingan lingkungan luar kampus. Akibatnya, sebanyak 19,8% mahasiswa mengeluhkan gangguan bising eksternal selama kegiatan pembelajaran. Berdasarkan hasil analisis, keterikatan parameter akustik pada Faktor IV menunjukkan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap kinerja akustik selubung bangunan dalam mendukung kenyamanan ruang kelas hijau. Dalam konteks perancangan, pemilihan material dengan nilai *Sound Transmission Class* (STC) yang memadai dapat menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi transmisi kebisingan dari lingkungan luar tanpa mengabaikan kebutuhan ventilasi alami. Selain itu, sebagai upaya mitigasi, penerapan vegetasi bertingkat di sekitar bangunan dapat

dipertimbangkan untuk membantu mereduksi paparan kebisingan sekaligus mengurangi radiasi matahari langsung pada selubung bangunan.

Kondisi tersebut merepresentasikan *window dilemma* pada perancangan bangunan pasif di iklim tropis lembap. Ketika bukaan jendela dimaksimalkan untuk mengejar target penyegaran udara pada Faktor I, komponen dinding dan jendela tersebut secara bersamaan menjadi jalur transmisi utama bagi kebisingan lingkungan luar kampus, sehingga mengakibatkan sebanyak 19,8% mahasiswa mengeluhkan gangguan bising eksternal selama kegiatan pembelajaran. Kebutuhan akan kompromi desain (*trade-off*) ini sejalan dengan temuan (Rubino et al., 2025) yang menyoroti dilema mendasar dalam menyeimbangkan antara penyediaan sirkulasi udara alami dan insulasi akustik pada sistem bukaan jendela.

Kegagalan selubung bangunan dalam menahan beban radiasi matahari (p25) dan meminimalkan kebisingan lingkungan (p27) pada iklim tropis lembap berpotensi merusak kenyamanan fisik maupun kognitif pengguna ruang. Evaluasi Castillo-DR et al. (2026) pada bangunan beriklim tropis lembap membuktikan bahwa integrasi elemen proteksi radiasi matahari pada peneduh selubung gedung merupakan strategi mutlak untuk menahan akumulasi kalor yang masuk ke dalam ruang.

Pentingnya pendekatan selubung gedung ini diperkuat secara empiris oleh Rivera Martínez et al. (2026) pada

fasilitas pendidikan di iklim tropis, di mana penerapan strategi "*envelope-first*" dan optimalisasi peneduh selubung (*shading envelope*) jauh lebih krusial dalam mencapai ketahanan termal hingga mampu menurunkan suhu operasional dalam ruang sebesar 17,5°C. Selain itu, signifikansi indikator orientasi bangunan (p26) pada penelitian ini sangat konsisten dengan temuan Uddin et al. (2025) pada fasilitas pendidikan beriklim tropis. Melalui analisis reduksi dimensi (*Principal Component Analysis/PCA*), studi tersebut mengonfirmasi bahwa orientasi massa ruang dan kuantitas bukaan jendela merupakan fitur prediktor utama yang secara langsung menentukan fluktuasi tingkat kenyamanan harian penghuni.

Berdasarkan hasil analisis, keterikatan parameter akustik pada Faktor IV menunjukkan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap kinerja akustik selubung bangunan dalam mendukung kenyamanan ruang kelas hijau. Dalam konteks perancangan, pemilihan material dengan nilai STC yang memadai dapat menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi transmisi kebisingan dari lingkungan luar tanpa mengabaikan kebutuhan ventilasi alami. Selain itu, sebagai upaya mitigasi tanpa mengorbankan sirkulasi udara, penerapan vegetasi bertingkat di sekitar perimeter bangunan dapat membantu mereduksi paparan kebisingan sekaligus mengurangi radiasi matahari langsung pada selubung bangunan. Solusi lanskap pasif ini didukung oleh temuan Zhang et al. (2025) yang membuktikan

bahwa konfigurasi dan pola vegetasi di area terbangun secara efektif mampu meredam dan memitigasi pola penyebaran kebisingan eksternal sebelum mencapai selubung bangunan.

Keterikatan parameter akustik pada Faktor IV membatasi ruang lingkup pembahasan pada aspek isolasi kebisingan eksternal yang dimediasi oleh selubung bangunan. Studi ini belum mengevaluasi karakteristik internal ruang kelas, seperti kejelasan artikulasi ucapan, geometri ruang, maupun waktu dengung (*reverberation time*). Pembatasan ini diambil agar analisis tetap berfokus pada benturan kepentingan (*trade-off*) antara pemenuhan ventilasi alami (Faktor I) dan proteksi bising lingkungan luar (Faktor IV). Parameter akustik internal tersebut disarankan untuk dikaji secara terpisah melalui pendekatan pengujian fisik eksperimental pada penelitian mendatang.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil EFA, kualitas ruang kelas hijau di Politeknik Negeri Semarang dipengaruhi oleh dua dimensi utama, yaitu Kualitas Lingkungan Dalam Ruang (Faktor I) yang menjelaskan 37,392% varians data dan Kenyamanan Ruang Luar serta Lingkungan Pejalan Kaki (Faktor IV) dengan kontribusi varians sebesar 4,684%.

Hal ini menunjukkan ventilasi alami belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan kesegaran udara, sementara gangguan kebisingan dari lingkungan luar masih memengaruhi kenyamanan belajar. Kondisi tersebut

menunjukkan perlunya evaluasi terhadap desain bukaan dan material selubung bangunan agar kualitas ventilasi dan kenyamanan akustik dapat ditingkatkan secara bersamaan.

Tata udara dan kenyamanan akustik merupakan dua aspek yang saling berkaitan dalam membentuk kualitas ruang kelas hijau. Upaya meningkatkan ventilasi alami untuk mendukung kenyamanan termal dan efisiensi energi berpotensi memengaruhi kualitas akustik ruang akibat meningkatnya paparan kebisingan dari lingkungan luar. Temuan ini menunjukkan bahwa evaluasi ruang kelas hijau perlu dilakukan secara terpadu dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan sirkulasi udara dan kenyamanan akustik. Oleh sebab itu, perencanaan selubung bangunan perlu diarahkan pada pemilihan material dan konfigurasi bukaan yang mampu mendukung kedua aspek tersebut secara bersamaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Semarang atas dukungan dan fasilitasi yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada mahasiswa Program Studi Teknik Sipil yang telah berpartisipasi sebagai responden dalam penelitian ini serta kepada semua pihak yang telah memberikan masukan dan dukungan dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, N.AI, & Fatikasari, T., 2025, Kesadaran Mahasiswa Teknik Sipil Terhadap Implementasi Infrastruktur Ramah Lingkungan di Kampus Politeknik Negeri Semarang. *Bangun Rekaprima*, 11(2), 205–209.
- Bhandari, N., Tadepalli, S., & Gopalakrishnan, P., 2024, Investigation of acoustic comfort, productivity, and engagement in naturally ventilated university classrooms: Role of background noise and students' noise sensitivity. *Building and Environment*, 249(December 2023).
- Castillo-DR, R., Paris-Viviana, O., & Bosch, M., 2026, Thermal performance evaluation of a double skin Façade with latticework solar protection: a case study in a humid tropical climate (Panama). *Energy and Buildings*, 351(November 2025), 116747.
- Chaer, I., Ozarisoy, B., Elnour Ismail, M.A., Salari, S., & Zhihui, Y., 2025, Energy efficiency in educational buildings: A systematic review of smart technology integration and occupant behaviour. *Building and Environment*, 280(April), 113132.
- Firman, N.S., Zaki, S.A., Tuck, N.W., Singh, M.K., & Rijal, H.B., 2025, A study on adaptive thermal comfort and ventilation in Malaysia secondary school classrooms of tropical climate.

- Building and Environment*, 273.
- Hamzah, B., Ishak, M.T., Beddu, S., & Osman, M.Y., 2016, Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms. *Structural Survey*, 34(4–5), 427–445.
- Kapoor, N.R., Kumar, A., Meena, C.S., Kumar, A., Alam, T., Balam, N.B., & Ghosh, A., 2021, A Systematic Review on Indoor Environmental Quality in Naturally Ventilated School Classrooms: A Way Forward. *Advances in Civil Engineering*, 2021.
- Montoya, O.L., & Mejía, C.A., 2021, Standard for School Design in The Tropics: Compliance and Classroom Comfort. *Journal of Design and Built Environment*, 21(3), 63–82.
- Mulyadi, R., Hamzah, B., Ramadhanti, Y., & Taufik, F., 2025, Indoor Environmental Quality of Naturally Ventilated Classrooms in Tropical Indonesia Post-COVID-19. *Journal of Advanced Research in Experimental Fluid Mechanics and Heat Transfer Journal Homepage*, 21(1), 136–148.
- Neves, L.O., Franceschini, P.B., & Schweiker, M., 2025, Thermal comfort and perceived indoor air quality optimization with respect to occupant behaviour in naturally ventilated school buildings. *Building and Environment*, 283(June), 113330.
- Oh, J., Wong, W., Castro-Lacouture, D., Lee, J. H., & Koo, C., 2023, Indoor environmental quality improvement in green building: Occupant perception and behavioral impact. *Journal of Building Engineering*, 69(October 2022), 106314.
- Panggabean, S.M., Andandaningrum, D., & Susanti, V., 2025, Thermal, Visual, and Acoustic Comfort Assessment in Sustainable Elementary School Classrooms: A Case Study at SD Negeri 8 Ragunan, Jakarta. *Indonesian Journal of Environment and Sustainability Issues*, 2(2), 120–132.
- Purwojatmiko, B.H., & Salati, D., 2022, Unjuk Kerja Kondisi Akustik Ruang Kelas Pembelajaran: Desain Faktorial Umum. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen*, 20(2), 157–164.
- Quraisy, S., Rizal, M., & Tayeb, M., 2019, Kajian Kenyamanan Termal Ruang Kelas Studio Perancangan Jurusan Teknik Arsitektur di Kampus II Unkhair. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 8(4), 139–142.
- Rivera Martínez, L.A., Arcila Buriticá, J.C., Aristizábal Henao, I.D., López Ceballos, C.E., & Piedrahita, A.R., 2026, Bioclimatic retrofits for thermal resilience and energy decarbonization in hot-humid educational infrastructure. *Energy and Buildings*, 359(February).
- Rubino, C., Liuzzi, S., Fusaro, G., Martellotta, F., Scrosati, C., & Garai, M., 2025, Balancing

- ventilation and sound insulation in windows by means of metamaterials: A review of the state of the art. *Building and Environment*, 275(November 2024).
- Sari, L.H., Rauzi, E.N., Allaily, A., & Pertiwi, A.L., 2022, Evaluasi Kualitas Udara Dan Kenyamanan Termal Pada Ruang Kelas Pada Masa Pandemi Covid-19. *Arsitekno*, 9(1), 21.
- Sekar Larasati, N., & Setyowati, S., 2023, Identifikasi Kenyamanan Termal Ruang Kelas pada Bangunan Sekolah Menengah Atas (Studi Kasus: SMA Muhammadiyah Kudus). *Prosiding (SIAR) Seminar Ilmiah Arsitektur*, 239–248.
- Setiati, T.W., Pramadhony, P., & Febrina, S.E., 2025, Pengaruh Lower-Ventilation terhadap Aliran Udara Ruang Dalam pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana di Daerah Tropis Lembab. *Tekstur (Jurnal Arsitektur)*, 6(1), 9–19.
- Shelviana, A., Kartikawati, D., Zahran, M.W., Fauziyyah, Z., Putri, M.N., Pramelya, A.D., & Ramadhan, M.A., 2023, Evaluasi Aspek Utilitas Bangunan Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) (Studi Kasus: SDN Sumurboto, Kota Semarang). *GEWANG: Gerbang Wacana Dan Rancang Arsitektur*, 5(2), 166–170.
- Talukdar, M.S.J., Talukdar, T.H., Singh, M.K., Baten, M.A., & Hossen, M.S., 2020, Status of thermal comfort in naturally ventilated university classrooms of Bangladesh in hot and humid summer season. *Journal of Building Engineering*, 32.
- Uddin, M.N., Han, S., Zhang, J., Hasan, T., Rakib, S., Imran, M.I.A., Al Kazee, M. F., Khan, A., & Talukder, E., 2025, Feature analysis and predictive modeling for enhancing occupant thermal comfort prediction in educational buildings using artificial neural networks and statistical analysis. *Journal of Building Engineering*, 112(August), 113722.
- Valiyappurakkal, V.K., Dolas, S., Suresh, A., & Vijayalaxmi, J., 2025, Assessing indoor environmental quality of naturally ventilated classrooms in tropical climates. *Journal of Building Engineering*, 111.
- Yeny, A., & Hidayat, M.S., 2019, Kajian Penggunaan Ventilasi Alami Terhadap Kenyamanan Termal Ruang Kelas. *Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan*, 8(3), 141–154.
- Zhang, M., Wu, Y., Li, M., Meng, Q., & Kang, J., 2025, Examining how green space patterns affect noise distribution in urban areas with varying built-up densities. *Journal of Environmental Management*, 393(December 2024), 127183.