JOINTECH UMK
Vol. 4, No. 1, Juni 2024, PP. 195-204

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

Journal Of Industrial Engineering And Technology (Jointech) Universitas Muria Kudus

Journal homepage :
http://journal.UMK.ac.id/index.php/jointech

Green Campus: Analisis Konsumsi Energi Fosil Terhadap *Indoor Environmental Quality*

Salman Alfarisi[1,*], Dina Tauhida[1]
[1]Universitas Muria Kudus, Jl. Lkr. Utara, Kayuapu Kulon Gondangmanis Kudus, 59327, Indonesia
* email Korespondensi : salman.alfarisi@umk.ac.id

INFO ARTIKEL

Article history :
Received : 14-5-2024
Accepted : 10-6-2024

Kata Kunci:
Indoor Environmental Quality
Konsumsi Energi
Green Campus
Life Cycle Assessment

ABSTRAK

Kondisi *Indoor environmental quality* (IEQ) yang baik merupakan syarat utama yang harus dipenuhi sebuah gedung perkuliahan. Tanpa disadari, penggunaan instrumen yang dapat mendukung kelayakan IEQ yang baik memunculkan masalah konsumsi energi. Studi kasus dilakukan di gedung J Universitas Muria Kudus untuk menganalisis tiga instrumen IEQ, yaitu suhu ruang, tingkat pencahayaan dan aliran udara dan menghubungkan tingkat konsumsi energi terhadap upaya ketercapaian kenyamanan IEQ dengan menggunakan metode *Life cycle assessment*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa 85% ruang kelas yang tidak memenuhi standar suhu ruang kelas, seluruh ruang tidak memenuhi standar aliran udara, dan 15% ruang kelas tidak memenuhi standar pencahayaan. Selanjutnya, penelitian ini menyajikan bukti nyata bahwa Sebagian besar konsumsi energi selama ini hanya memberikan 11 kategori dampak negatif bagi lingkungan, seperti *marine aquatic ecotoxicity, Human toxicity, dan global warming potential* tanpa memenuhi standar kelayakan IEQ yang berlaku. Alternatif solusi seperti *green retrofit* dan *green roofs* diajukan berdasar hasil kajian literatur.

PENDAHULUAN

Gedung perkuliahan harus memperhatikan kenyamanan lingkungan di dalam ruangan (Al Horr dkk., 2016). Kondisi *Indoor environmental quality* (IEQ) yang baik merupakan syarat utama yang harus dipenuhi sebuah gedung perkuliahan (De Guili dkk., 2014). IEQ berkaitan dengan kondisi yang ada di dalam gedung termasuk kondisi termal, kenyamanan visual (misalnya pencahayaan) dan aliran udara dalam ruang (Jung dkk., 2014; Sakellaris dkk., 2016; Al-Awadi, 2017). Faktor-faktor ini dapat bekerja secara independen atau sinergis pada siswa untuk menimbulkan efek. Sebagai contoh, suhu dalam ruangan yang tinggi saja dapat

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

menyebabkan ketidaknyamanan termal dan menganggu proses pembelajaran (Wargocki dkk., 2019).

Kesadaran untuk menciptakan lingkungan yang kondusif semakin meningkat seiring dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan. Lingkungan yang baik tidak hanya memberikan kenyamanan, namun juga memberikan dampak yang besar terhadap kualitas kesehatan, produktivitas, psikologi dan performa kerja di dalam sebuah bangunan. Pada kenyataannya, IEQ jarang menjadi prioritas dalam sebagian besar perencanaan dan manajemen pembangunan, namun penelitian menunjukkan bahwa, lebih dari 80% kehidupan manusia, dihabiskan di dalam bangunan, baik di tempat kerja, sekolah, tempat rekreasi dan sebagian besar di dalam rumah (Yusoff dan Sulaiman, 2014). Ketidakseimbangan IEQ akan berkontribusi pada Sick Building Syndrome, yaitu bangunan tidak dapat berfungsi dengan baik dalam hal ventilasi, kelembaban relatif, pencahayaan, dll. (EPA, 1991). Hal ini mempengaruhi kualitas kesehatan staf dan siswa, umur ekonomis bangunan, dan juga peralatan untuk keperluan belajar mengajar seperti yang dijelaskan oleh Al-Sagoff, (1985) yang menyatakan bahwa IEQ yang tidak baik mengancam kualitas kegiatan belajar mengajar. Prestasi siswa dan kinerja pengajar sering dikaitkan dengan kondisi lingkungan dan infrastruktur yang tersedia di suatu institusi.

Untuk memberikan sebuah kenyamanan dalam ruangan, secara sederhana, pemasangan instrumen pendukung, seperti *air conditioner* (AC) dan lampu sebagai sumber pencahayaan internal pada ruangan dalam gedung telah menjadi sebuah fenomena yang sangat lazim. Penggunaan AC dan lampu yang semakin tinggi frekuensinya, tanpa disadari telah semakin meningkatkan konsumsi energi. Menurut Perez-Lombard dkk (2008) pada penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan AC telah menjadi konsumsi terbesar dari sebuah gedung dimana konsumsi energi dari gedung-gedung merupakan 40% dari total konsumsi energi di dunia. Selain itu, berdasarkan hasil analisis yang dilakukan oleh Veitch (2001) menunjukkan bahwa kenyamanan visual memberikan pengaruh yang signifikan bagi kinerja, produktivitas, kenyamanan dan kepuasana penguna gedung, sehingga instrumen pendukung pencahayaan juga dibutuhkan. Cahaya yang tidak mencukupi akan mengurangi kemampuan untuk melihat objek dengan jelas (Leech dkk., 2002).

Tanpa disadari, penggunaan AC dan instrumen lain yang dapat mendukung kelayakan IEQ yang baik memunculkan masalah konsumsi energi. Namun, penelitian sebelumnya (lihat: Yusoff dan Sulaiman, 2014; Kamaruzzaman dan Samsul., 2013; Turunen, 2014; Rodríguez dkk., 2022; Azuma dkk., 2018) belum menyajikan fenomena hubungan antara menjaga kualitas IEQ dengan tingkat konsumsi energi yang diajukan sebagai kesenjangan dalam penelitian ini. Permasalahan ini semakin menguat karena sumber energi listrik di Indonesia masih bergantung pada sumberdaya alam tak terbarukan, seperti fosil. Sehingga, konsumsi energi yang tidak tepat akan semakin mengikis persediaan sumber daya alam dan meningkatkan dampak negatif bagi lingkungan. Untuk mendukung penelitian ini, sebuah studi kasus dilakukan di gedung J Universitas Muria Kudus. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat konsumsi energi terhadap upaya menjaga kenyamanan IEQ, membuktikan dampak negatif terhadap lingkungan yang disebabkan oleh peningkatan konsumsi energi fosil dan mengajukan opsi solusi dari kajian literatur pada penelitian sebelumnya. Penelitian ini menggunakan metode evaluasi pasca-penghunian *Post-Occupancy Evaluation* (POE). POE melibatkan evaluasi sistematis terhadap kinerja bangunan setelah bangunan tersebut ditempati oleh pengguna yang dituju (Jones, 2020) dengan pengukuran kinerja bangunan secara langsung. Selanjutnya, metode *energy life cycle analysis* digunakan sebagai pendekatan untuk melakukan penaksiran dampak terhadap lingkungan karena kekuatannya dalam menangkan setiap dampak dari seluruh proses konsumsi energi (Alfarisi dan Sutopo, 2019).

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis kuantitatif melalui proses pengukuran secara ilmiah pada lokasi sampel. Rincian tahapan selanjutnya disajikan pada sub-bab bagian ini.

A. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan POE untuk melakukan pengukuran ilmiah. Pengukuran ilmiah digunakan untuk mendapatkan gambaran yang sebenarnya tentang tingkat IEQ di gedung universitas. Secara kesuluruhan data diambil dari 13 kelas pada Gedung J, Universitas Muria Kudus. Terdapat tiga instrumen IEQ yang dinilai dalam penelitian ini, yaitu suhu ruang, tingkat pencahayaan dan aliran udara.

B. Pengukuran Secara Ilmiah

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan peralatan khusus untuk menguji elemen-elemen IEQ. Peralatan yang digunakan berbentuk *mobile*. Semua data yang terkumpul akan dicatat dan dianalisis. Tabel 1 menyajikan daftar peralatan yang digunakan dalam proses pengujian ilmiah.

Tabel 1. Daftar Peralatan Pengukuran

Peralatan	Fungsi
Digital thermometer	Mengukur suhu dalam C dengan tingkat sensitivitas sebesar 1.
Lux meter	Mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux dengan tingkat sensitivitas sebesar 1.
Flow meter	Mengukur kecepatan siklus aliran udara dalam m/s dengan tingkat sensitivitas sebesar 0.1.

C. Analisis Konsumsi Energi

Analisis konsumsi dilakukan dalam dua tahap, yaitu (1) melakukan perhitungan jumlah konsumsi energi rata-rata dari AC dan lampu selama masa aktif perkuliahan dengan menggunakan rumus yang disajikan pada persamaan 1; (2) melakukan penaksiran dampak lingkungan dari konsumsi energi dengan menggunakan pendekatan *life cycle assessment* (LCA).

$$\text{Konsumsi energi (kWh)} = \text{Daya (kW)} \times \text{Masa Konsumsi (jam)} \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran IEQ dilakukan pada gedung J, Universitas Muria Kudus dengan 13 ruang kelas dipilih secara acak. Pengukuran dilakukan saat proses belajar mengajar sedang berlangsung untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat. Sejumlah tiga kali pengukuran dilakukan di setiap ruang sampel untuk mendapatkan nilai rata-rata. Pengukuran pertama dilakukan antara pukul 08.00 hingga10.00 WIB, pengukuran kedua dilakukan antara pukul 12.00 – 14.00 WIB dan pengukuran ketiga dilakukan antara pukul 16.00 hingga 17.00). Sehingga didapatkan total 39 data yang terekam untuk masing-masing instrumen. Tabel 2 menunjukkan standar yang diterapkan oleh SNI 03-6575-201 dan UNESCO pada elemen-elemen IEQ di gedung akademik.

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

Tabel 2. Standar pengukuran IEQ pada Gedung Akademik (Sumber: SNI 03-6575-2001 dan UNESCO)

Elemen Pengukuran IEQ	Nilai Standar	Sumber
Suhu Ruang	23 – 26 C	UNESCO
Pencahayaan	250 – 500 Lux	SNI 03-6575-2001
Aliran Udara	0.15 – 0.50 m/s	UNESCO

Hasil dari pengukuran IEQ pada Gedung J Universitas Muria Kudus disajikan pada Tabel 3. Hasil tersebut didasarkan pada nilai rata-rata tiga kali pengukuran.

Tabel 3. Rangkuman hasil pengukuran IEQ Gedung J, Universitas Muria Kudus

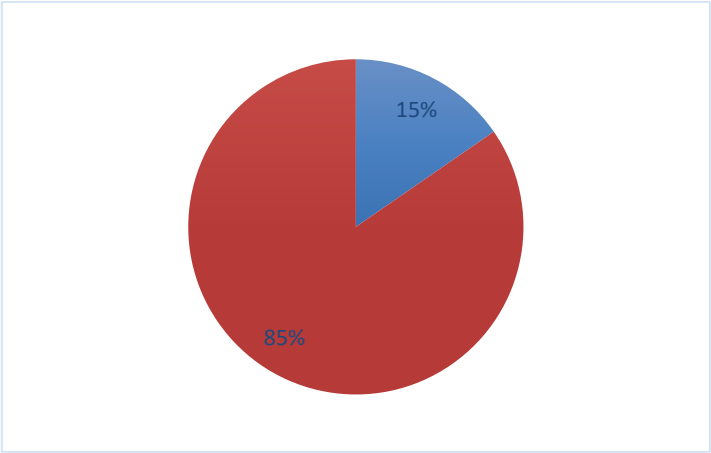
No.	Ruang	Elemen Pengukuran		
		Suhu (°C)	Pencahayaan(Lux)	Aliran Udara(m/s)
1	J.3.02	27.9	367.33	0.00
2	J.5.11	27.27	414.33	0.00
3	J.3.01	28.17	435.67	0.00
4	J.4.01	28.37	378.00	0.00
5	J.4.15	28.67	395.33	0.00
6	J.4.02	28.03	477.67	0.00
7	J.5.09	26.73	364.33	0.00
8	J.4.09	25.20	360.00	0.00
9	J.4.10	25.60	347.00	0.00
10	J.5.05	27.30	418.00	0.00
11	J.5.06	26.67	344.33	0.00
12	J.3.11	28.33	199.67	0.00
13	J.3.10	27.50	201.33	0.00

Keterangan: Warna hitam menunjukkan hasil pengukuran berada dalam rentang standar; warna merah menunjukkan hasil pengukuran berada di luar rentang standar.

Suhu Ruangan

Permasalahan suhu ruangan yang tidak memenuhi standar tidak hanya menyebabkan ketidaknyamanan bagi penghuninya karena suhu yang terlalu dingin, tetapi juga membuang-buang energi. Selain karena faktor desain gedung, jumlah pengguna di dalam ruang kelas secara tidak langsung mempengaruhi suhu internal. Hal ini dikarenakan tubuh manusia mengeluarkan panas sehingga mempengaruhi suhu di dalam ruang kuliah. Oleh karena itu, penggunaan ruang yang optimal tanpa melebihi kapasitas harus diperhatikan oleh manajemen universitas. Gambar 1. menunjukkan persentase suhu internal ruang di gedung J, Universitas Muria Kudus. Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat 85% ruang kelas yang tidak memenuhi standar dan hanya 15% ruang kelas yang memenuhi standar suhu ruang kelas. Ruang kelas yang memenuhi standar adalah ruang J.4.09 dan J.4.10. Situasi seperti ini tidak baik dalam memberikan kenyamanan bagi penghuni dan struktur bangunan. Efek yang ditimbulkan pada penghuni, sebagaimana didukung oleh Yusoff dan Sulaiman (2014), adalah keringat yang lengket dan hal ini akan menurunkan fokus mahasiswa dalam kegiatan belajar mengajar.

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462



Gambar 1. Persentase kesesuaian suhu ruang terhadap standar.
Keterangan: warna merah menunjukkan hasil pengukuran berada di luar rentang standar
Warna biru menunjukkan hasil pengukuran berada dalam rentang standar.

Tingkat Pencahayaan

Hasil pengukuran rata-rata untuk pencahayaan ruang-ruang kelas di gedung J, Universitas Muria Kudus dapat dilihat pada Tabel 3. Untak mendapatkan hasil yang akurat, sebagaimana penelitian yang telah dilakukan oleh Prakoso dan Hisjam (2018), pengukuran dirancang dengan mengikuti standar pengukuran pencahayaan dalam ruang seperti yang tertuang dalam SNI 16-7062-2004 dan menggunakan batas tingkat pencahayaan minimal sesuai standar SNI 03-6575-2001. Hasilnya menunjukkan bahwa, dari 13 ruang kelas, 11 di antaranya menunjukkan pembacaan dalam standar 250-500 Lux. Sedangkan dua ruang kelas, yaitu J.3.11 dan J.4.10 yang menunjukkan nilai pengukuran sebesar 199.67 Lux dan 201.33 Lux. Namun tidak ada ruang kelas yang menunjukkan kelebihan dari standar yang ditetapkan. Berdasarkan pengamatan para peneliti, ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan tingkat pencahayaan jatuh di bawah tingkat standar yang ditentukan. Faktor pencahayaan dipengaruhi oleh lampu yang tidak berfungsi atau beberapa lampu yang tidak berfungsi dengan optimal sehingga menurunkan tingkat pencahayaan, namun tidak dilakukan penggantian karena mempersepsikan kerusakan adalah matinya lampu. Orientasi ataupun desain bangunan yang seringkali memperkecil lintasan cahaya juga memberikan kesan situasi pencahayaan yang rendah. Rendahnya tingkat pencahayaan dapat berdampak pada penghuninya dengan masalah seperti penglihatan yang terbatas, sakit mata yang dapat menyebabkan kehilangan fokus saat proses belajar mengajar berlangsung. Hal ini perlu mendapat perhatian yang mendalam karena akan menurunkan produktivitas akademik siswa. Hal ini didukung oleh Lewy dkk. (1982), yang menyatakan bahwa pencahayaan yang memadai, mampu meningkatkan produktivitas, kualitas, semangat pengguna, dan penghematan energi. Dalam konteks bangunan akademik juga, Hakim dkk. (2006) menjelaskan bahwa sistem pencahayaan merupakan faktor penting dalam penyediaan fasilitas ruang belajar.

Aliran Udara

Rata-rata aliran udara dalam ruangan di ruang kelas disajikan pada Tabel 3. Pembacaan standar ditetapkan pada 0,15-0,5 m/s. Studi ini menunjukkan bahwa, hanya sebelas ruang kelas yang menunjukkan pembacaan sesuai standar. Berdasarkan hasil pengukuran, tidak ditemukan adanya pergerakan aliran udara dalam ruang kelas. Pergerakan udara dalam ruangan yang terkait dengan sistem ventilasi dan bangunan internal dipengaruhi oleh fungsi

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

yang dijalankan oleh AC. Kegagalan peralatan *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (HVAC) berfungsi dengan baik dapat mempengaruhi lingkungan internal seperti komposisi kimiawi atmosfer tidak berubah yang dapat mempengaruhi struktur bangunan dan meningkatkan jumlah kelembaban di dalam gedung. Pembacaan pergerakan udara yang berada di bawah standar yang ditentukan dapat menyebabkan komposisi udara dalam ruangan tidak berubah dengan udara yang baru. jika pergerakan udara rendah, udara dalam ruangan yang sulit diganti akan menyebabkan komposisi udara yang tercemar, terutama karbondioksida (CO_2) dan kelembaban yang disebabkan oleh uap air yang dihasilkan pengguna ruang melalui proses respirasi di dalam bangunan. Menurut Sulaiman (1988), pergerakan udara sangat penting dalam proses untuk menjaga semua kenyamanan temperatur, kelembaban, dan oksigen dalam suatu ruang dengan udara bersih yang masuk ke dalam ruang untuk menggantikan udara kotor atau udara bekas.

Analisis konsumsi Energi

Jumlah lampu yang ada pada 13 ruang kelas yang menjadi studi kasus adalah sebanyak 69 buah lampu dengan rincian tujuh lampu untuk ruang kelas berukuran besar dan empat buah lampu untuk ruang kelas berukuran sedang. Setiap lampu memiliki daya sebesar 0.02kW dengan masa pemakaiana perhari selama 8 jam. Dengan menggunakan persamaan 1. diperoleh nilai $\sum_1^{67} Energi_{Lampu}$ = 11.2 kWH. Selanjutnya, AC yang digunakan memiliki dua tipe yang berbeda, yaitu AC berdiri (3 pk) dan AC dinding (2 pk) dengan nilai daya sebesar 2.75 kW dan 1.92 kW secara berurutan. Jumlah AC berdiri diketahui sejumlah 16 buah dan AC dinding sejumlah 4. Dengan menggunakan persamaan 1. Maka diperoleh nilai konsumsi energi AC secara keseluruhan adalah sebesar $\sum E_{AC}$ = 413.44 kWH

Selanjutnya, penting untuk mengetahui dampak dari penggunaan energi yang signifikan terhadap lingkungan. Metode penaksiran dampak lingkungan yang digunakan dalam penelitian ini adalah CML-IA Baseline dengan unit fungsional yang digunakan adalah konsumsi daya yang digunakan selama masa aktif proses belajar mengajar, yaitu 8 jam. Tabel 4 menyajikan hasil analisis dampak lingkungan yang disebabkan oleh konsumsi energi yang masih bersumber pada batu bara. Cakupan dan batas simulasi adalah pada fase produksi dan penggunaan energi listrik dengan mengabaikan fase produksi dari peralatan material yang digunakan untuk menghindari bias dan tetap fokus pada dampak konsumsi energi.

Tabel 4. Hasil Penilaian Dampak Konsumsi Energi

Kategori Dampak	Unit Referensi	Hasil	Normalisasi
Abiotic depletion	kg Sb eq	4.0464522×10^{-7}	1.12×10^{-15}
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	4116.362995	1.27×10^{-11}
Acidification	kg SO2 eq	7.606107169	2.37×10^{-11}
Eutrophication	kg PO4 eq	1.211551262	8.95×10^{-12}
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	343.5679467	1.68×10^{-10}
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	837.0083935	1.98×10^{-11}
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	471.9451132	8.26×10^{-12}
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2075478.514	4.05×10^{-09}
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2.42326×10^{-6}	4.73×10^{-21}
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0.255692181	2.66×10^{-12}
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.812171454	3.02×10^{-12}

Hasil simulasi penaksiran dampak lingkungan menunjukkan bahwa konsumsi energi, yang bersumber dari batu bara dan termasuk bahan baku tidak dapat diperbaharui,

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

menghasilkan 11 dampak lingkungan yang terdentifikasi melalui CML-IA Baseline. Dari sebagaimana disebutkan sebelumnya, hasil ini menunjukkan dampak lingkugan dalam satu masa penilaian, yaitu delapan jam pada 13 ruang kelas. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat setidaknya dua dampak utama bagi lingkungan, yaitu *marine aquatic ecotoxicity* dan *fresh water aquatic ecotoxicity* dan satu dampak bagi manusia yang diidentifikasi dalam kategori dampak *human toxicity*, dengan masing-masing nilai 2.075.478,514 kg 1,4-DB eq; 343.5679467 kg 1,4-DB eq dan 471.9451132 kg 1,4-DB eq secara berurutan. *Marine aquatic ecotoxicity* merujuk pada zat beracun yang dilepaskan ke air laut (Horowitz, 2018). *Human toxicity* disebabkan oleh emisi yang terpapar pada kesehatan manusia, seperti logam berat. Pelepasan logam berat menyebabkan kontaminasi tanah dan air yang selanjutnya digunakan untuk pertanian (Verma dan Kaur, 2016; Zhao dkk., 2015) atau proses lainnya di mana hasil pengamatan menemukan bahwa 90% kejadian toksisitas pada manusia terjadi karena mengkonsumsi sayuran yang ditanam di lahan yang terkontaminasi dan juga menghirup udara secara menyeluruh atau kontak langsung dengan kulit (Martorel dkk., 2011). Berkaitan dengan kelangkaan sumber daya, hasil simulasi disajikan dalam dampak kategori *abiotic depletion (fossil fuels)* dengan nilai sebesar 4116.362995 MJ dan memberikan kontribusi terhadap *global warming potential* sebesar 837.0083935 kg CO2 eq.

Analisis Kondisi dan Upaya Pencarian Solusi

Kenyamanan IEQ dan jumlah konsumsi energi merupakan dua hal yang saling berpasangan. Perlu diperhatikan bahwa hasil dari simulasi menyajikan bukti nyata tentang dampak lingkungan yang disebabkan oleh upaya memenuhi standar IEQ. Konsumsi energi yang tinggi, memberikan konsekuensi terhadap tingginya dampak negatif terhadap lingkungan yang mungkin selama ini belum disajikan dalam buknti yang nyata. Kondisi ini menuntut entitas untuk mencari solusi terbaik dalam menghadapi dua *trade-off* yang muncul. Menurut (Brager dan Borgeson, 2010), ada beberapa permasalahan yang menyebabkan suhu ruang, aliran udara dan pencahayaan menjadi tidak sesuai dengan standar, yaitu desain bangungan terutama ventilasi yang tepat dapat memberikan aliran udara yang natural dan dapat menghemat konsumsi energi. Selan itu, desain yang tepat juga akan berpengaruh pada faktor kenyamanan lainnya, seperti penerangan yang lebih baik. Namun demikian, hal tersebut berlaku pada gedung yang masih berada pada tahap desain, bukan pada kondisi gedung yang telah berdiri. Beberapa penelitian pada konteks *sustainable building* dengan membuka lebih banyak ruang terbuka hijau dan *green roofs* (Toftum dkk., 2015; Batterman, 2017). Peneliti lainnya berusaha mencari solusi melalui pendekatan dalam kelas, yaitu dengan memperhatikan jumlah pengguna di dalam ruang kelas karena secara tidak langsung mempengaruhi suhu internal dan mendorong pembentukan aliran ventilasi silang yang efektif memungkinkan adanya aliran udara dalam ruangan di ruang kelas (Chen dkk., 14). Selanjutnya, Matilla dkk., (2023) menyoroti peran pembuat kebijakan untuk melakukan *on-site monitoring* secara berkala untuk memantaui kualitas IEQ dalam kelas dan memberikan respon cepat terhadap masalah yang ditemukan. Sedangkan Li dkk. (2021) mengajukan konsep *green retrofit* untuk mengoptimalkan efisiensi energi tanpa mengorbankan faktor IEQ. Mengacu pada konsep *green retrofit*, dalam konteks studi kasus gedung J, permasalahan utama pada belum optimal atau bahakan belum adanya sistem HVAC yang menyebabkan ketiadaan aliran udara dan suhu ruang yang mayoritas tidak berada dalam rentang standar.

KESIMPULAN

Penelitian ini melakukan sebuah kajian penting untuk pengukuran IEQ pada gedung perkuliahan untuk menjamian suasana pembelajaran yang nyaman dan amemenuhi standar yang telah ditetapkan. Ada tiga elemen yang dinilai, yaitu suhu ruang, pencahayaan dan aliran

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

udara dalam ruang. Berdasarkan hasilpengukuran ilmiah, seluruh ruang tidak memenuhi standar aliran udara, Sebagian besar ruang kelas tidak memenuhi standar suhu dan Sebagian besar ruang kelas memenuhi standar pencahayaan. Selanjutnya, penelitian in berupaya menyajikan keterkaitan antara kenyamana dan dampak lingkungan yang diakibatkan dari konsumsi energi. Penelitian ini menyajikan bukti nyata bahwa Sebagian besar konsumsi energi selama ini hanya memberikan dampak negatif bagi lingkungan tanpa memenuhi standar IEQ yang berlaku.

Untuk pengetahuan, penelitian ini berkontribusi dengan membangun metodologi komprehensif untuk menilai Kualitas IEQ di gedung perkuliahan. Dengan mengeksplorasi hubungan antara kenyamanan dan konsumsi energi, penelitian ini menyoroti konsekuensi lingkungan dari praktik penggunaan energi saat ini di gedung perkuliahan. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya menyeimbangkan persyaratan kenyamanan dengan praktik energi berkelanjutan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Untuk kontribusi praktis, penelitian ini memberikan rekomendasi berbasis bukti bagi para pembuat kebijakan, arsitek, manajer gedung dan dosen untuk meningkatkan kinerja dan kepuasan akademik.

Untuk penelitian selanjutnya dapat mempelajari pengembangan strategi pengoptimalan untuk meningkatkan IEQ di ruang-ruang kelas dengan mempertimbangkan efisiensi konsumsi energi dengan menganalisis setiap usulan solusi yang telah disediakan oleh penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Alfarisi, S., Sutopo, W. (2019). *Life Cycle Energi and Environmental Impact Assessment of CRIMSON Sand Casting onn Intake Manifold Production Process*. Proceeding of the 5th International Conference On Industrial, Mechanical, Electrical, And Chemical Engineering 2019 (Icimece 2019), Surakarta, 2019. 2217(1), 1-7

Al Horr, Yousef et al. (2016). Impact if Indoor Environmental Quality on Occupant Well-being and Comfort: A review of The Literature. *International Journal of Sustainable Built Environment 5,* 1-11

Al-Awadi, L. (2017). Assessment of indoor levels of volatile organic compounds and carbon dioxide in schools in Kuwait. *Journal Air Waste Manag. Assoc., 68,* 54–72.

Al-Sagoff. S.A (1985): Sosiologi Pendidikan. Kuala Lumpur: Heineman Educational.

Azuma, K.; Kagi, N.; Yanagi, U.; Osawa, H. (2018). Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environ. Int., 121,* 51–56

Brager, G., Borgeson, S., (2011). Comfort standards and variations in exceedance for mixed-mode buildings. *Building Research & Information, 39,2,* 118-133

Chen, Y.H.; Tu, Y.P.; Sung, S.Y.; Weng, W.C. (2022). A comprehensive analysis of the intervention of a fresh air ventilation system on indoor air quality in classrooms. *Atmos. Pollut. Res, 13, 101373.*

De Giuli, V., Pontarollo C.M., De Carli, M., Di Bella, A. (2014) Overall Assessment of Indoor Conditions In a School Building: An Italian Case Study. *Int. J. Environ. Res., 8 (1)* 27-38

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

EPA (1991) United States: Environmental Protection Agency

Jones, A.M. (2020) Post Occupancy Evaluation: An Essential Tool to Improve The Built Environment. Londan: Royal Insitute of British Architects.

Jung, C.C.; Liang, H.H.; Lee, H.L.; Hsu, N.Y.; Su, H.J.A. (2014) llostatic Load Model Associated with Indoor Environmental Quality and Sick Building Syndrome among Office Workers. *PLoS ONE, 9,* 95791

Kamaruzzaman, K. and Samsul, A (2013).Thermal Comfort Assessment of a Classroom in Tropical Climate Conditions. *Recent Advances in Energy, Environment and Development, 30,* 87-91

Leech, J.A., Nelson, W.C., Burnett, R.T., Aaron, S., Raizenne, M.E. (2002). It's about time: a comparison of canadian and american time-activity patterns. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol. 12 (6),* 427–432

Lewy, A.J., Kern, H.A., Rosenthal, N.E., and Wehr, T.A. (1982). Bright artificial Light Treatment of a Manic-Depressive Patient with a Seasonal Mood Cycle. *American Journal of Psychiatry, 139,* 1496- 98

Li, Q., Zhang, L., Zhang, L., Wu, X. (2021). *Optimizing Energi Efficiency and Thermal Comfort in Building Retrofit. Energy 237, 121509,* 1-13

Matilla, A.L., Velilla J.P.D., Zaragoza-Benzal A., Ferrández D., Santos P. (2023). Experimental Study of Indoor Air Quality in Educational Building: A Spanish Case Study. *Building, 13, 2789,* 1-18

Perez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings, 40,* 394–8

Prakoso, Y.B., Hisjam, M. (2018). Analisis Tingkat Pencahayaan Ruang Kelas Studi Kasus : Ruang Kelas Bagian Control Room Pada Subbidang Sarana Dan Prasarana Pengembangan Sumber Daya Manusia Dan Informasi Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia, Minyak Dan Gas Bumi (Ppsdm Migas). *Jurnal Simetris, 9, 1,* 139-146

Rodríguez, D., Urbieta, I.R., Velasco, A., Campano-Laborda, M.A., Jímenez, E. (2022). Assessment of indoor air quality and risk of COVID-19 infection in Spanish secondary school and university classrooms. *Build. Environ. 226,* 109717

Sakellaris, I.A., Saraga, D.E., Mandin, C., Roda, C., Fossati, S., de Kluizenaar, Y., Carrer, P., Dimitroulopoulou, S., Mihucz, V.G., Szigeti, T., et al. (2016). Perceived Indoor Environment and Occupants' Comfort in European "Modern" Office Buildings: The OFFICAIRStudy. *Int. J. Environ. Res. Public Health, 13,* 444

SNI 03-6575-2001. (2001). *Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN

SNI 16-7062-2004. (2004). *Pengukuran Intensitas Penerangan Di Tempat Kerja*. Jakarta: BSN

Sulaiman, S. (1988). Pengudaraan dan Sistem Hawa Dingin. Kuala Lumpur: Universiti Teknologi Malaysia

Toftum, J., Kjeldsen, B.U., Wargocki, P., Menå, H.R., Hansen, E.M.N., Clausen, G. (2015). Association between classroom ventilation mode and learning outcome in Danish schools. *Build. Environ, 92,* 494–503

P-ISSN : 2723-4711
E-ISSN : 2774-3462

Turunen, M., Toyinbo, O., Putus, T., Nevalainen, A., Shaughnessy, R., & Haverinen-Shaughnessy, U. (2014). Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students. *International Journal of Hygiene and Environmental Health, 217, 7*, 733-739

UNESCO. (1983), Quality of Life: Problems of Assessment and Measurement. London: UNESCO.

Veitch, J.A. (2001). Psychological processes influencing lighting quality. *J. Illum. Eng. Soc. 30 (1)*, 124–140

Wargocki, P.; Porras-Salazar, J.A.; Contreras-Espinoza, S. (2019). The relationship between classroom temperature and children's performance in school. *Build. Environ., 157*, 197–204

Yusoff W.Z.W.; Sulaiman M. A. (2014). Sustainable Campus: Indoor Environmetnal Quality (IEQ) Performance Measurement for Malaysian Public Universities. *European journal of Sustainable Development, 3, 4,* 323-338