

Evaluasi Kenyamanan Termal dan Kualitas Udara Dalam Ruang di Pujasera Politeknik Negeri Bandung

Poetri Noer Annisa¹, Bowo Yuli Prasetyo^{1*}, Luga Martin Simbolon¹

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung Barat, Indonesia

Email: poetri.noer.tptu420@polban.ac.id¹, bowo_yuli@polban.ac.id^{1*}, lugamartin@polban.ac.id¹

Received 5 Januari 2025 | Revised 15 Januari 2025 | Accepted 18 Januari 2025

ABSTRAK

Kenyamanan termal dan kualitas udara dalam ruang merupakan faktor penting yang memberikan dampak bagi produktivitas penghuni, tidak terlepas bagi bangunan Pujasera. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kenyamanan termal dan kualitas udara di Pujasera berdasarkan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan standar ASHRAE 55. Parameter kualitas udara yang dikaji meliputi karbon monoksida (CO), PM_{2.5}, dan PM₁₀, sedangkan untuk kenyamanan termal, parameter yang digunakan antara lain Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pengambilan data secara langsung pada tiga waktu berbeda selama dua hari. Selain itu, penyebaran kuesioner digunakan untuk menghimpun data mengenai tingkat metabolisme dan insulasi pakaian. Hasil penelitian menunjukkan kualitas udara di dalam Pujasera berada pada kategori sedang, kecuali pada siang hari dengan ISPU PM₁₀ berada pada tingkat yang sangat tidak sehat. Sementara itu, aspek kenyamanan termal menunjukkan bahwa 51.29% penghuni merasa nyaman. Melihat kondisi ini, maka perlu dilakukan upaya untuk menunjang kenyamanan termal dan kualitas udara yang lebih baik bagi penghuni.

Kata kunci: kualitas udara, kenyamanan termal, PMV, PPD

ABSTRACT

Thermal comfort and indoor air quality are important factors that affect occupant productivity, including Pujasera building. This study aims to evaluate thermal comfort and air quality in Pujasera based on the Air Pollution Standard Index (ISPU) and ASHRAE standard 55. The air quality parameters examined include carbon monoxide (CO), PM_{2.5}, and PM₁₀, while the thermal comfort parameters include Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). The study used a quantitative approach with direct data collection at three different times over two days. In addition, questionnaires were distributed to gather data on metabolism and clothing insulation. The results of the study showed that the air quality inside the food court was in the moderate category, except during midday when the PM₁₀ ISPU reached an unhealthy level. Meanwhile, thermal comfort aspects indicated that 51.29% of occupants felt comfortable. Therefore, efforts are needed to improve thermal comfort and better indoor air quality for the occupants.

Keywords: air quality, thermal comfort, PMV, PPD

1. PENDAHULUAN

Pusat jajan serba ada (Pujasera) merupakan kawasan yang menyajikan berbagai macam makanan dan minuman melalui beberapa kios yang terkoordinasi dan dikelompokkan dalam suatu bangunan. Fasilitas ini cenderung menjadi area berkumpul, fokus kegiatan sosial, dan kuliner di lingkungan kampus, dengan kegiatan memasak yang utamanya dilakukan oleh para pedagang. Kegiatan memasak berperan pada penurunan kualitas udara dalam ruangan, salah satunya akibat dari polutan yang timbul dan terakumulasi selama proses memasak berlangsung [1], [2]. Tingkat konsentrasi polutan dalam ruangan dari aktivitas memasak dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis bahan bakar, jenis kompor, dan ventilasi [3]. Beberapa jenis polutan yang timbul dalam aktivitas ini antara lain nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), *particulate matter* (PM), dan *volatile organic compound* (VOC) [4], [5]. Konsentrasi polutan bahkan dapat lebih meningkat lagi dan menjadi lebih buruk ketika sirkulasi udara di dalam ruangan terbatas [6], [7].

Pencemaran udara dalam ruang merupakan permasalahan serius yang sering kali diabaikan oleh penghuni. Kualitas udara yang tidak sehat dapat berdampak pada penurunan tingkat produktivitas kerja dan masalah kesehatan [8]. Apabila tidak diantisipasi dengan baik, hal ini dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan yang berkaitan dengan waktu yang dihabiskan di dalam gedung (*sick building syndrome*) [9]. Gangguan kesehatan yang dapat muncul seperti hidung tersumbat, kelelahan, mata terasa kering, dan sakit kepala [10], [11]. Sementara itu, paparan terhadap polutan dengan konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan dampak kesehatan yang serius.

Bangunan perguruan tinggi selayaknya memenuhi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan keamanan. Sebuah bangunan dapat dikatakan berhasil dalam fungsinya jika memenuhi berbagai aspek, termasuk keamanan, sirkulasi udara yang baik, dan kenyamanan [12]. Aspek kenyamanan berkaitan erat dengan respon subjektif manusia terhadap kondisi fisis suatu lingkungan [13], [14], [15]. Kondisi ruang yang nyaman akan menunjang aktivitas dan produktivitas penghuni di dalamnya [16].

ASHRAE mengategorikan faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal kedalam dua kelompok, yakni faktor lingkungan yang terdiri atas temperatur, radiasi termal, kelembapan, dan kecepatan udara, serta faktor pribadi meliputi jenis pakaian dan metabolisme [17]. Dengan keenam faktor ini, besaran kenyamanan termal dapat diperoleh melalui model matematika *Predicted Mean Vote* (PMV). Evaluasi kenyamanan termal menggunakan persamaan PMV telah dilakukan oleh beberapa peneliti baik untuk bangunan pendidikan, kantor, maupun lingkungan terbuka [18], [19], [20].

Melihat pentingnya hal tersebut, maka memastikan kualitas udara dan kenyamanan termal yang baik pada bangunan Pujasera menjadi vital. Kondisi Pujasera yang nyaman serta udara yang berkualitas dapat mendukung produktivitas secara optimal serta melindungi kesehatan setiap individu. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk merancang sistem tata udara yang lebih efektif dan optimal.

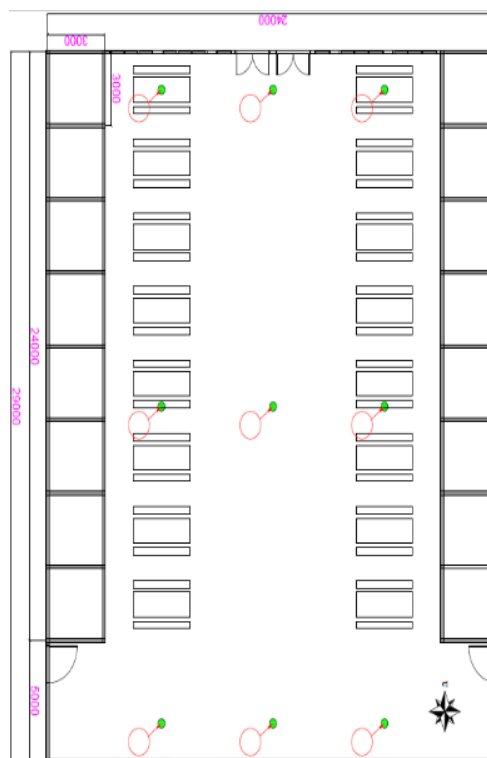
2. METODOLOGI

Lokasi penelitian berada di area dalam Pujasera Politeknik Negeri Bandung yang terletak di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. Pujasera ini menghadap ke arah utara dan memiliki luas ruangan sebesar $29 \times 24 \text{ m}^2$. Atap ruangan dibuat tanpa plafon dengan bagian tengah memiliki ketinggian 6 m. Pada ruangan tersebut, akses utama keluar masuk ruangan terdapat di sebelah utara. Di bagian tengah ruangan terdapat area lapang yang diperuntukkan sebagai akses koridor untuk lalu-lalang pengunjung. Meja makan pengunjung diatur pada sisi kanan dan kiri koridor, sementara kios penjual berjajar di bagian timur dan barat ruangan. Di dalam Pujasera terdapat 18 kios penjual lengkap dengan peralatan masak berupa kompor gas. Bangunan Pujasera tidak dilengkapi dengan sistem ventilasi mekanis, sehingga sirkulasi udara di dalamnya terjadi secara alami yang difasilitasi oleh bukaan jendela. Jendela

ditempatkan pada seluruh dinding terluar, termasuk di area kios penjual. Gambar 1 memperlihatkan situasi di dalam objek penelitian dan lokasi titik ukur.



(a)



(b)

Gambar 1. Objek penelitian: (a) foto tampak dalam; (b) denah titik ukur

Titik pengukuran dibagi kedalam 9 lokasi yang disebar pada seluruh area di dalam ruangan. Pengukuran dilakukan pada tiga waktu yang berbeda, yakni pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 yang dilaksanakan selama 2 hari dengan durasi selama satu jam. Tiga waktu ini dipilih untuk mewakili waktu dengan jumlah pengunjung tertinggi dalam setiap harinya. Parameter kualitas udara yang diukur meliputi CO, PM_{2.5}, dan PM₁₀. Tabel 1 menampilkan spesifikasi alat ukur yang digunakan pada penelitian.

Tabel 1. Spesifikasi alat ukur

Item	Model	Rentang Pengukuran	Resolusi	Akurasi
4in1 Gas Detector Monitor	ST8990	0 ~ 999 ppm (CO)	1 ppm	± 3 ppm atau ± 5%
Particle Counter	HT-9600	0 - 1,000 pcs/L (PM _{2.5}) 0 - 250 pcs/L (PM ₁₀)	1 pcs/L	±10%
Sling Psychrometer	TS90	-20°C hingga 50°C	0.1°C	± 0.5°C
Hot wire Anemometer	GM8903	0.3 - 30 m/s	0.1 m/s	± 2% atau ± 0.3 m/s
Thermo Gun	Fluke 59 MAX	-30°C - 500°C	0.1°C	±2°C atau ±2%

Pada aspek kenyamanan termal parameter yang diukur antara lain temperatur udara basah, temperatur udara kering, kecepatan udara, temperatur dinding. Faktor radiasi termal tidak diukur secara langsung, namun diasumsikan sama dengan temperatur udara karena tidak ada peralatan yang memberikan pancaran radiasi tinggi di dalam ruangan [17].

Data individu penghuni ruangan dihimpun menggunakan kuesioner yang dibagikan selama pengukuran berlangsung sesuai dengan standar 55 yang ditetapkan oleh ASHRAE [17]. Pertanyaan yang dibagikan didalam survei mencakup aktivitas penghuni dan seluruh pakaian yang sedang digunakan. Data hasil survei kemudian dibandingkan dengan ASHRAE standar 55 untuk memperoleh nilai metabolisme (met) dan insulasi pakaian (clo) untuk setiap pengunjung.

2.1 Aspek Kenyamanan Termal

Aspek kenyamanan termal dianalisis melalui model matematika PMV yang diperoleh melalui Persamaan (1) - (4) [17].

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036M} + 0.028) \cdot ((M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot (5733 - 6.99 \cdot (M - W) - P_a) - 0.42 \cdot ((M - W) - 58.15) - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - P_a) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot ((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)) \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot (3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot (t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} (2.38 \cdot (t_{cl} - t_a))^{0.25} & \text{untuk } (2.38(t_{cl} - t_a))^{0.25} > 12.1\sqrt{V_{ar}} \\ 12.1 \cdot \sqrt{V_{ar}} & \text{untuk } (2.38(t_{cl} - t_a))^{0.25} < 12.1\sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & \text{untuk } I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \frac{K}{W} \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & \text{untuk } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \frac{K}{W} \end{cases} \quad (4)$$

Dengan M , W , f_{cl} , I_{cl} , t_a , t_r , V_{ar} , P_a , h_c , dan t_{cl} secara berurutan adalah metabolisme (W/m^2), daya mekanik efektif (W/m^2), faktor luas permukaan pakaian, resistansi termal pakaian ($m^2 K/W$), temperatur udara ($^{\circ}C$), temperatur radiasi termal ($^{\circ}C$), kecepatan relatif (m/s), tekanan parsial uap air (Pa), koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2K), dan temperatur permukaan pakaian ($^{\circ}C$). Melalui model matematis ini diperoleh skala sensasi kenyamanan yang berkisar antara -3 (sangat dingin) hingga +3 (sangat panas), sementara nilai nyaman yang didefinisikan oleh ASHRAE berada pada rentang -0.5 hingga +0.5.

Indeks PMV dapat dikonversi pula kedalam bentuk persentase yang dapat digunakan untuk memprediksi tingkat ketidaknyamanan termal di dalam ruangan dalam besaran *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD). Besaran PPD dapat dihitung menggunakan Persamaan (5) [17].

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2) \quad (5)$$

2.2 Aspek Kualitas Udara

Analisis dampak polutan terhadap kualitas udara dilakukan dengan metode Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang mengacu pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 [21]. Metode ini memungkinkan tingkat kualitas udara dikaji secara langsung melalui pengukuran beberapa polutan sekaligus. Tabel 2 memperlihatkan kategori ISPU yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Pembagian kategori ini mengacu pada konversi nilai ISPU yang tampak pada tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, kategori ISPU yang masih dapat diterima oleh manusia berada pada rentang nilai 1-100. Konversi besaran polutan terhadap nilai ISPU diperoleh melalui Persamaan (6) [21].

Tabel 2. Kategori nilai ISPU [21]

Rentang	Kategori	Keterangan
1-50	Baik	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan.
51-100	Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan.

Rentang	Kategori	Keterangan
101-200	Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan, dan tumbuhan.
201-300	Sangat Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
301+	Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.

$$I = \frac{Ia-Ib}{Xa-Xb} (Xx - Xb) + Ib \quad (6)$$

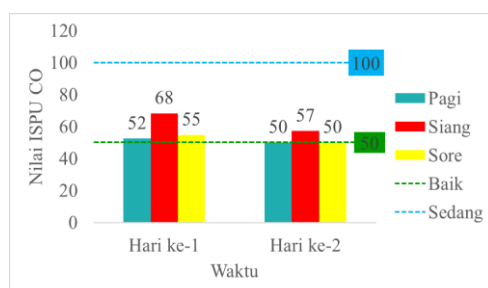
Dengan I , Ia , Ib , Xa , Xb , dan Xx secara berurutan adalah ISPU terhitung, ISPU batas atas, ISPU batas bawah, konsentrasi ambien batas atas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), konsentrasi ambien batas bawah ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), dan konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabel 3. Konversi nilai ISPU [21]

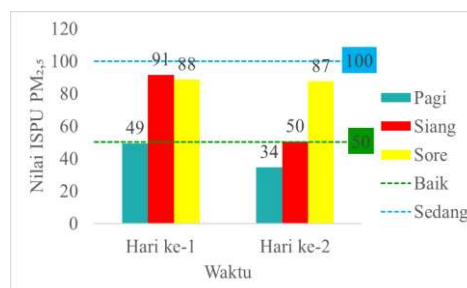
ISPU	24 Jam PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0-50	50	15,5	4000
51-100	150	55,4	8000
101-200	350	150,4	15000
201-300	420	250,4	30000
>300	500	500	45000

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

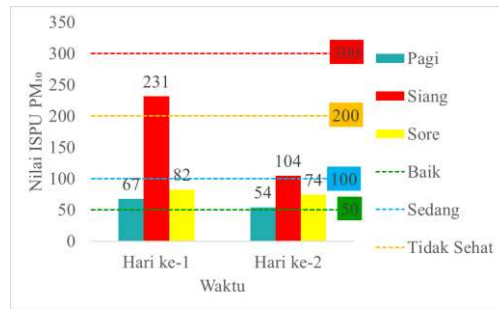
Grafik ISPU untuk masing-masing parameter kualitas udara pada setiap pengukuran terlihat pada Gambar 2. Melalui grafik tersebut terlihat tingkat kualitas udara berada pada kategori sedang untuk semua parameter, kecuali PM_{10} . Peningkatan konsentrasi PM_{10} yang signifikan terjadi pada pukul 12.00 baik pada hari pertama maupun kedua. Hal ini disebabkan oleh jumlah pengunjung yang memuncak pada waktu tersebut. Aktivitas pengunjung di dalam ruangan secara langsung menghasilkan polutan yang bertebaran di udara. Selain itu, hal ini juga berakibat pada peningkatan intensitas memasak yang pada akhirnya berdampak pula pada peningkatan konsentrasi polutan. Akan tetapi, peningkatan intensitas memasak ini tidak berdampak signifikan terhadap konsentrasi CO seperti yang tampak pada gambar 2a. Hal ini disebabkan oleh pedagang di Pujasera yang menggunakan peralatan masak berupa kompor gas LPG yang minim polusi. Disamping itu, selama pengukuran berlangsung, tampak beberapa pengunjung yang merokok di dalam ruangan. Hal ini memberikan pengaruh terhadap konsentrasi polutan yang terukur baik CO, $\text{PM}_{2.5}$, maupun PM_{10} .



(a)



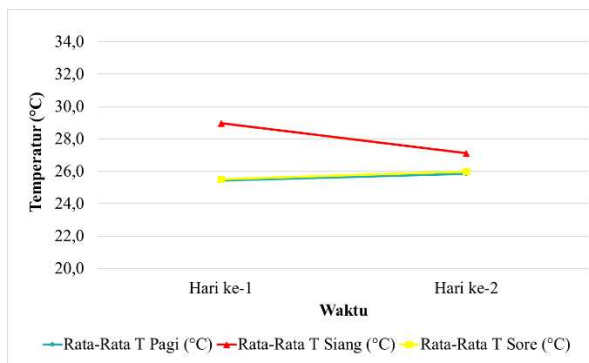
(b)



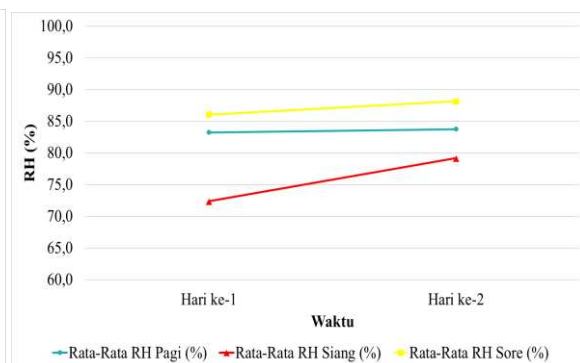
(c)

Gambar 1. Grafik Nilai ISPU: (a) CO, (b) PM_{2.5}, dan (c) PM₁₀

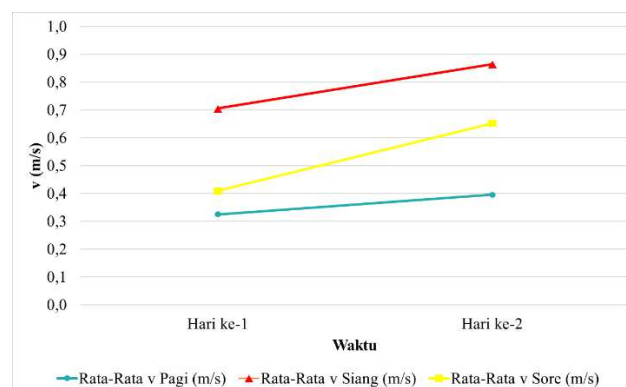
Kurva kondisi lingkungan berupa temperatur, kelembapan (RH), dan kecepatan udara di dalam Pujasera ditampilkan pada Gambar 3. Tidak adanya sistem ventilasi mekanis di dalam Pujasera membuat kondisi udara di dalam bangunan cenderung bervariasi setiap waktunya mengikuti cuaca sekitar dan jumlah pengunjung. Pengaruh faktor cuaca sekitar sangat terlihat pada grafik kelembapan dan kecepatan udara. Bukaan jendela di seluruh dinding bangunan memberikan kemudahan akses udara luar untuk masuk menggantikan udara di dalam ruangan. Dengan demikian, kondisi kelembapan dan kecepatan udara di dalam ruangan menjadi sangat dipengaruhi oleh udara luar. Kelembapan tertinggi tercatat pada hari ke dua di sore hari dengan nilai 88.1%, sedangkan kelembapan terendah diperoleh pada pengukuran hari pertama di pagi hari dengan nilai 72.4% (Gambar 3b). Kecepatan udara yang terukur selama penelitian berlangsung bervariasi pada rentang 0.3 m/s hingga 0.9 m/s (Gambar 3c).



(a)



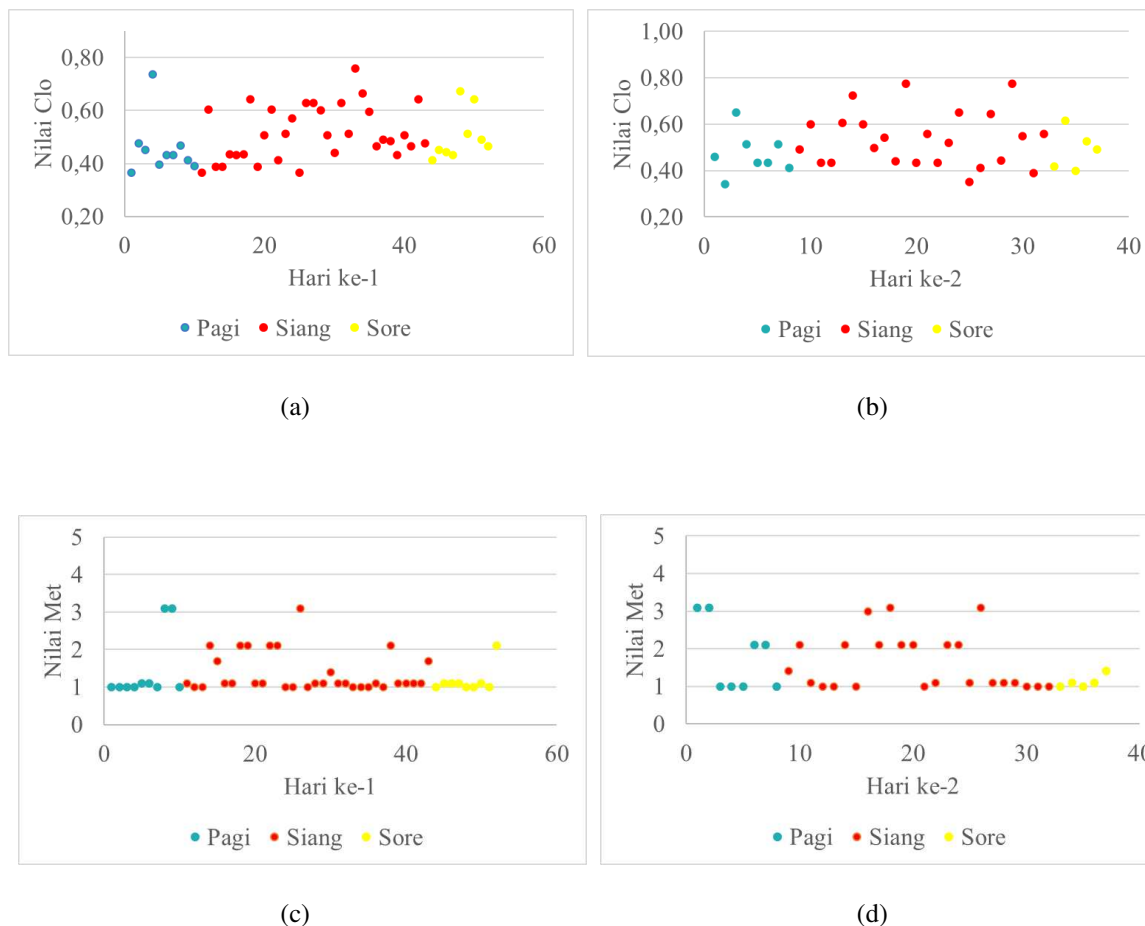
(b)



(c)

Gambar 2. Hasil pengukuran; (a) temperatur, (b) kelembapan, dan (c) kecepatan udara

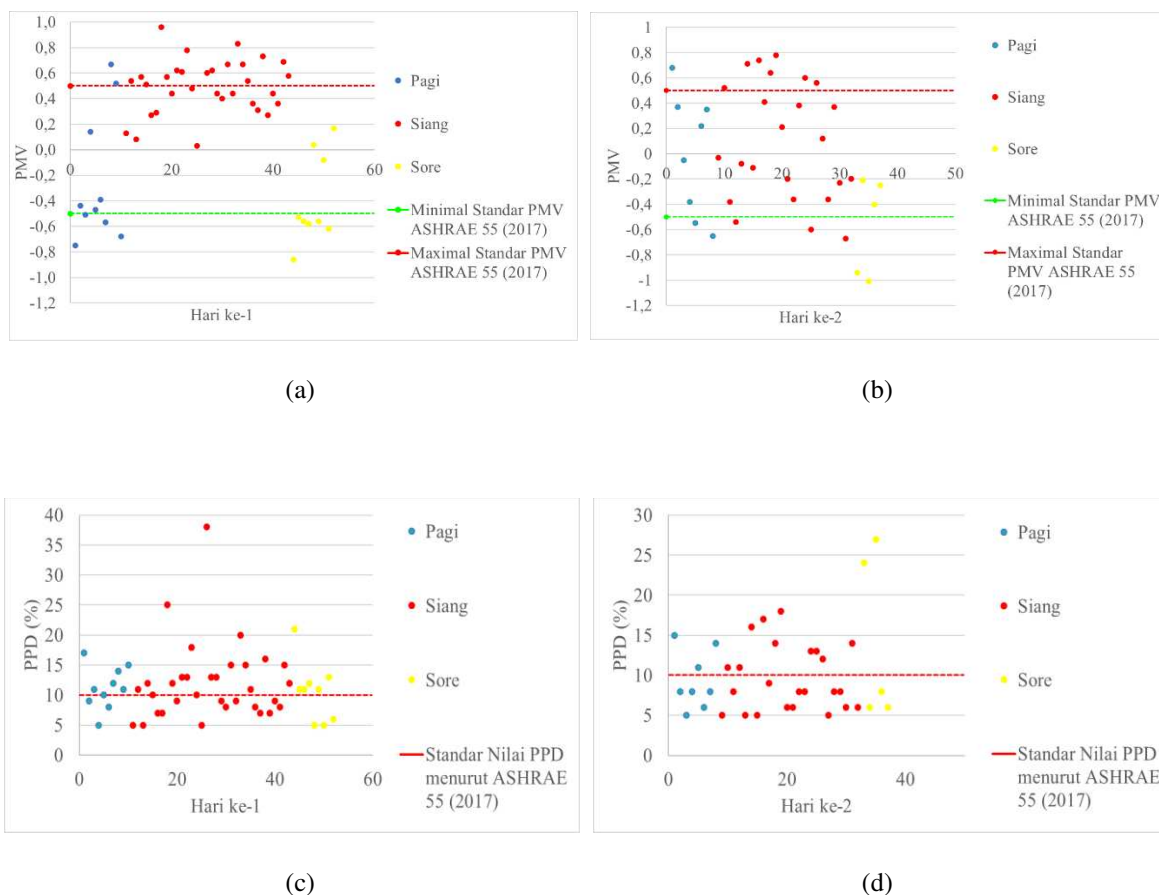
Sementara itu, temperatur udara (Gambar 3a) tercatat cukup rendah dengan nilai rerata di bawah 26°C pada pagi dan sore hari, kecuali pada siang hari yang mencapai nilai tertinggi sebesar 29°C. Peningkatan nilai temperatur sejalan dengan keberadaan pengunjung yang memadati area diwaktu tersebut. Keberadaan pengunjung menjadi sumber panas di dalam ruangan, tidak hanya karena kehadiran individunya, namun juga akibat dari peningkatan intensitas memasak.



Gambar 3. Grafik faktor individu: a) nilai insulai pakaian (*clo*) hari ke-1, (b) nilai insulai pakaian (*clo*) hari ke-2, (c) nilai metabolisme (*met*) hari ke-1, dan (d) nilai metabolisme (*met*) hari ke-2

Kurva insulasi pakaian (*clo*) dan metabolisme (*met*) pengunjung Pujasera yang dihimpun selama dua hari pengukuran ditampilkan pada Gambar 4. Dari kurva tersebut terlihat jenis pakaian yang digunakan oleh pengunjung sangat beragam, dengan rentang nilai mulai dari 0.34 *clo* hingga 0.77 *clo*. Sesuai dengan standar 55 ASHRAE, semakin tebal dan banyak pakaian yang digunakan oleh pengunjung akan meningkatkan nilai insulasi pakaian (*clo*), yang pada akhirnya berdampak pada penurunan transfer kalor antara kulit dengan udara [17].

Aktifitas pengunjung di dalam ruangan didefinisikan dalam besaran *met*. Pada pengukuran hari pertama (Gambar 4c) terlihat kecenderungan aktifitas pengunjung yang rendah dengan nilai metabolisme sebesar 1 *met*. Nilai ini mewakili aktivitas pengunjung berupa duduk tenang. Sedangkan pada hari kedua, aktivitas pengunjung lebih beragam baik pada pagi, siang, maupun sore hari. Nilai metabolisme pengunjung Pujasera berkisar antara 1 *met* hingga 3.1 *met*. Aktivitas individu yang berat akan menghasilkan metabolisme tubuh yang tinggi sehingga tubuh cenderung mengeluarkan kalor yang lebih besar.



Gambar 4. Hasil perhitungan: (a) nilai PMV hari ke-1, (b) nilai PMV Hari ke-2, (c) nilai PPD hari ke-1, dan (d) nilai PPD hari ke-2

Hasil pengukuran baik faktor lingkungan maupun faktor individu kemudian digunakan untuk perhitungan nilai PMV dan PPD. Gambar 5 memperlihatkan tingkat kenyamanan termal berdasarkan model matematis PMV dan PPD. ASHRAE membatasi kondisi nyaman pada rentang PMV -0.5 hingga +0.5 atau maksimal 10% PPD. Melalui hasil perhitungan diperoleh tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh setiap individu pengunjung Pujasera yang beragam. Pada hari pertama, 56.86% pengunjung cenderung merasakan sensasi kurang nyaman dengan 37.25% diantaranya merasakan sedikit hangat dan sisanya sedikit sejuk. Terlihat pada Gambar 5a, pengunjung cenderung merasakan sedikit hangat pada siang hari ketika jumlah pengunjung memuncak temperatur udara tinggi dan. Sementara pengunjung yang merasakan sedikit sejuk terlihat pada pagi dan sore hari. Sebaliknya, pada hari kedua, 59.46% pengunjung merasakan kondisi udara yang nyaman. Hanya 21.62% individu yang merasakan sedikit hangat, dan sisanya sedikit sejuk. Kenaikan persentase pengunjung yang merasakan kondisi nyaman ini salah satunya disebabkan oleh penurunan temperatur udara pada siang hari yang didukung pula oleh peningkatan kecepatan udara diwaktu yang sama. Secara keseluruhan, rerata tingkat kenyamanan termal di Pujasera sebesar 51.29% pada dua hari pengukuran.

4. KESIMPULAN

Evaluasi kenyamanan termal dan kualitas udara Pujasera Politeknik Negeri Bandung telah dilakukan dan diperoleh temuan-temuan yang memberikan pandangan baru. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa umumnya kualitas udara di dalam Pujasera berada pada level sedang, akan tetapi pada waktu tertentu dapat turun ke level yang sangat tidak sehat. Disamping itu kenyamanan termal di dalam Pujasera tidak begitu nyaman bagi mayoritas pengunjung. Secara keseluruhan, 51.29% pengunjung merasakan nyaman. Kondisi ini dapat berubah menyesuaikan kondisi cuaca di sekitar bangunan, mengingat tidak

adanya sistem tata udara mekanis di dalam ruangan. Melihat hasil ini maka perlu diusulkan sistem tata udara yang komprehensif guna menunjang kualitas udara dan kenyamanan termal yang baik bagi penghuni.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Prayudha, A. Pranata, & A. Al Hafiz, (2018). “Implementasi Metode Fuzzy Logic untuk Sistem Pengukuran Kualitas Udara di Kota Medan Berbasis Internet Of Things (IoT)”, *JURTEKSI*, 4(2), pp. 141-148.
- [2] L. Sun & L. A. Wallace, (2021). “Residential cooking and use of kitchen ventilation: The impact on exposure”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71(7), pp. 830–843.
- [3] Q. Li et.al, (2016). “Impacts of household coal and biomass combustion on indoor and ambient air quality in China: Current status and implication”, *Science of The Total Environment*, 576, pp. 347–361.
- [4] J. M. Seguel, R. Merrill, D. Seguel, & A. C. Campagna, (2017). “Indoor Air Quality”, *American Journal of Lifestyle Medicine*, 11(4), pp. 284–295.
- [5] H. Zhang et.al, (2023). “Chemical characterization of volatile organic compounds (VOCs) emitted from multiple cooking cuisines and purification efficiency assessments”, *Journal of Environmental Sciences*, 130, pp. 163–173.
- [6] S. N. Rohmah, (2019). “Correlation study of Carbon Monoxide (CO) air exposure level with blood COHb level of Basement Officer in Surabaya Mall”, *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(3), pp. 225-233.
- [7] B. Y. Prasetyo, A. R. Lukitobudi, & A. S. Margana, (2022). “Simulasi Numerik Distribusi Polusi Udara Dalam Ruangan”, *Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), p. 25.
- [8] N. Mutmainnah, E. Larosa, & S. Z. H, (2023). “Evaluasi Kualitas Udara Pada Ruang Kelas di Sekolah Sekitar Kawasan Pabrik Semen Tonasa,” *Jurnal Linears*, 6(1), pp. 48–55.
- [9] J. Jansz, (2016). “Sick Building Syndrome,” *International Encyclopedia of Public Health*, pp. 502–505.
- [10] W. I. D. Aurora, (2021). “Efek Indoor Air Pollution Terhadap Kesehatan”, *Electronic Journal Scientific of Environmental Health And Disease*, 2(1) pp. 32–39.
- [11] A. E. Saputra, (2021). “Identifikasi Paparan PM2,5 Di Wilayah Kota Cimahi”, *Jurnal Kesehatan Kartika*, 16(3).
- [12] R. Rehulina G & A. M. Safwan, (2020). “Evaluasi Kenyamanan Termal pada Ruang Tidur Asrama Putri Ipau di Banda Aceh”, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Arsitektur dan Perencanaan*, 4(3), pp. 24–30.
- [13] Y. Hadi et.al, (2020). “Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kuliah”, *Jurnal Metris*, 21(1), pp. 13–26.
- [14] A. M. Nugroho, Mohd. H. Ahmad, & J. H. Then, (2006). “Evaluation of parametrics for the development of vertical solar chimney ventilation in hot and humid climate”, *International Network for Tropical Architecture conference*, Jogjakarta, Indonesia, pp. 160–170.
- [15] L. Susanti & N. Aulia, (2016). “Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang,” *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 12(1), p. 310.
- [16] N. L. Latifah, H. Perdana, A. Prasetya, & O. P. M. Siahaan, (2013). “Kajian Kenyamanan Termal Pada Bangunan Student Center Itenas Bandung”, *Reka Karsa : Jurnal Arsitektur*, 1(1).
- [17] American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineering, (2017). “ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, Atlanta: ASHRAE.
- [18] B. Y. Prasetyo, R. Muliawan, A. L. Afifah, & F. Wang, (2023). “Numerical Study of Thermal Comfort Evaluation in Naturally Ventilated Classrooms”, *International Journal Applied Technology Research*, 4(2), pp. 84-94.
- [19] N. Gao, W. Shao, M. S. Rahaman, J. Zhai, K. David, & F. D. Salim, (2021). “Transfer learning for thermal comfort prediction in multiple cities”, *Building and Environment*, 195, p. 107725.

- [20] L. Chang, I. Permana, F. Wang, & B. Prasetyo, (2024). “Improving indoor air quality and thermal comfort using a total heat exchanger ventilation system for an office building”, *Thermal Science*, pp. 118–118.
- [21] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, (2020). “Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara”, Jakarta: KLHK.