



Kondisi Lingkungan Termal Ruang Kelas Sekolah Menengah di Area Suburban pada Masa Pandemi COVID-19

Rosady Mulyadi¹, Baharuddin Hamzah¹, Nurul Jamala Bangsawan¹, Asniawaty Kusno¹, Muhammad Taufik Ishak¹, Yusaumi Ramadhanti Fitri Taufik¹, Muhammad Rijal Syukri², Andi Ahmad Fauzan Bachtiar³, Nurhasanah¹, Priscilla Agatha Duminggu¹

¹Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

²Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo.

³Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar.

| Diterima 23 Desember 2022 | Disetujui 14 Januari 2023 | Diterbitkan 15 Maret 2023|

| DOI <http://doi.org/10.32315/jlbi.v12i1.69>|

Abstrak

Saat pemerintah mulai membolehkan kembali tatap muka di kelas, sebagaimana protokol kesehatan di masa pandemi Covid-19, perangkat pendingin udara di dalam ruangan (*air conditioner/AC*) tidak lagi digunakan dan beralih menggunakan penghawaan alami. Kondisi tersebut dapat menyebabkan masalah terhadap kondisi lingkungan termal di ruang kelas yang berpotensi memengaruhi kenyamanan termal siswa. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi lingkungan termal di ruang kelas di area suburban pada masa pandemi COVID-19. Survei dilakukan untuk mendapatkan data kondisi lingkungan termal mulai pukul 08:00 - 13:00 WITA. Hasil survei memperlihatkan kondisi temperatur udara (T_a) rata-rata 29.80°C, kelembaban relatif (RH) rata-rata 67.71%, kecepatan aliran udara (V) rata-rata 0.05m/s, *Mean Radian Temperature* (MRT) rata-rata 29.67°C dan temperatur operatif (T_{op}) rata-rata 29.72°C. Hasil analisis menggunakan *CBE Thermal Comfort Tool* dengan metode PMV (*Predicted Mean Vote*) memperlihatkan bahwa saat pagi hari, sensasi termal yang dirasakan "sedikit hangat" (*slightly warm*), seiring peningkatan temperatur, penurunan kelembaban, dan kecepatan aliran udara di siang hari maka temperatur operatif (T_{op}) pun meningkat yang menyebabkan sensasi termal berubah menjadi "panas" (*warm*) dengan nilai PMV, PPD, dan SET yang meningkat pula. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kondisi lingkungan termal di ruang kelas tidak memenuhi standar ASHRAE-55.

Kata-kunci: lingkungan termal, pandemi COVID-19, ruang kelas, metode PMV, suburban

Thermal Environmental Conditions of Secondary School Classrooms in Suburban Areas during the COVID-19 Pandemic

Abstract

Since the government allowed classroom teaching during the COVID-19 pandemic, air conditioners (AC) were replaced with natural ventilation. This issue could disrupt the classroom's thermal comfort. This study examines the classroom's thermal environment during the COVID-19 pandemic. The thermal environment was surveyed from 08:00 to 13:00 CIT. The survey found that the average air temperature (T_a) was 29.80°C, the relative humidity (RH) was 67.71%, the airspeed (V) was 0.05 m/s, the calculated Mean Radian Temperature (MRT) was 29.67°C, and the calculated operative temperature (T_{op}) was 29.72°C. The CBE Thermal Comfort Tool's - PMV (*Predicted Mean Vote*) analysis shows that the thermal sensation in the morning is "slightly warm." However, as the temperature, humidity, and airflow rise at noon, so does the operative temperature (T_{op}), changing the thermal sensation to "warm" and increasing PMV, PPD, and SET values. The result found that the thermal classroom environment did not meet the ASHRAE-55 standard.

Keywords: thermal environment, COVID-19 pandemic, classroom, PMV method, suburban

Kontak Penulis

Rosady Mulyadi

Kelompok Keilmuan Sains dan Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Kampus Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu Kode pos 92171

E-mail : rosady@unhas.ac.id



Copyright ©2023. Mulyadi, Rosady

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Pengantar

Corona Virus Disease 19 (COVID-19) pertama kali terdeteksi di Provinsi Wuhan, China pada akhir tahun 2019, dan setelah itu status pandemi pun kemudian diumumkan pada tanggal 30 Januari 2020 [1]. Selanjutnya, pandemi muncul di beberapa negara di dunia dengan cepat yang kemudian menyebabkan terjadinya krisis kesehatan global yang berdampak ke segala lini kehidupan manusia.

Saat ini, pandemi COVID-19 telah berlangsung selama lebih dari dua tahun. Saat awal penyebaran COVID-19, aktivitas pembelajaran di ruang-ruang kelas di sekolah-sekolah berubah dari pembelajaran di dalam kelas menjadi pembelajaran di dalam jaringan (*daring/online*) internet. Namun demikian, seiring dengan menurunnya statistik penyebaran COVID-19, secara bertahap pemerintah kemudian mulai membolehkan pelaksanaan kembali pembelajaran di dalam ruang kelas namun secara terbatas dan dengan dengan protokol kesehatan yang ketat. Kondisi tersebut lalu menyebabkan penggunaan perangkat pendingin udara di dalam ruangan (*air conditioner/AC*) tidak lagi dipergunakan dan kemudian beralih dengan penggunaan penghawaan alami di dalam kelas dengan cara membuka jendela dan ventilasi selebar-lebarnya. Namun demikian, kondisi tersebut tentu dapat berpotensi menyebabkan masalah terhadap kondisi lingkungan termal di dalam ruang kelas yang dapat memengaruhi kenyamanan termal siswa.

Studi di beberapa tempat di dunia telah menunjukkan perlunya menciptakan lingkungan pendidikan yang produktif bersama dengan kesadaran lingkungan. Beberapa studi terhadap bangunan pendidikan telah membuktikan bahwa kondisi lingkungan di dalam ruang kelas yang tidak memadai dapat berdampak negatif terhadap kemampuan belajar dan konsentrasi belajar siswa [2], [3], [4], dikarenakan sekitar sepertiga dari hari mereka dihabiskan di dalam ruangan kelas [5], [6], dan dengan mempertimbangkan bahwa lingkungan yang tidak memadai dapat menimbulkan atau meningkatkan masalah kesehatan seperti sakit kepala, flu, asma, dan lain-lain sebagainya [7], [8].

ASHRAE 55 menguraikan bahwa kenyamanan termal adalah suatu kondisi mental yang mengekspresikan kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya dan kondisi tersebut dievaluasi secara subjektif. Kenyamanan termal adalah parameter yang paling penting di dalam evaluasi *Indoor Environmental Quality* (IEQ). Lebih lanjut, manusia selalu mencari

kenyamanan di zona yang ditempatinya. Tubuh manusia sebagai suatu sistem, secara alami berusaha untuk mempertahankan suhunya pada temperatur 37°C melalui pertukaran panas yang terus menerus dengan lingkungan. Interaksi termal antara tubuh manusia sebagai suatu sistem dengan lingkungannya berlangsung terutama melalui tiga cara perpindahan panas yaitu konveksi, radiasi, dan evaporasi yang terus menerus [9], [10].

Beberapa penelitian telah dilakukan terhadap kondisi lingkungan termal di dalam ruangan. Keseluruhan konsep kenyamanan termal berkisar pada dua aspek utama yang memengaruhi kesejahteraan penghuninya, yaitu faktor fisiologis dan faktor psikologis. Faktor fisiologis meliputi parameter pribadi dan lingkungan, sebagian besar studi berfokus pada parameter fisiologis. Mulyadi dkk. menginvestigasi tingkat kenyamanan termal adaptif siswa sekolah dasar yang berlokasi di sepanjang pantai barat Provinsi Sulawesi Selatan yang pada umumnya bersuhu tinggi. Namun, sebagian besar responden masih merasa nyaman dan mampu beradaptasi dengan kondisi tersebut [11].

Lingkungan pengajaran, tanpa memandang usia siswa, memiliki hubungan sebab akibat antara kondisi lingkungan termal mereka dengan kinerja dan atau produktivitasnya [12]. Ketidaknyamanan lingkungan termal yang dirasakan yang disebabkan oleh suhu tinggi di dalam ruang kelas dapat mengurangi kemampuan siswa untuk melakukan aktivitas di sekolah [13]. Pada penelitian yang telah dilakukan di beberapa sekolah di Kota Makassar, Indonesia, Hamzah dkk. menemukan bahwa pada suhu udara di dalam ruang kelas berkisar antara 23,0°C hingga 27,0°C terdapat sekitar 53% siswa yang merasa tidak nyaman. Selanjutnya diketahui pula bahwa suhu netral siswa adalah 27,0°C, lebih tinggi dari suhu di dalam ruang kelas [14].

Selain tingkat metabolisme, komponen lain yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal adalah jenis pakaian yang digunakan dan aktivitas yang dilakukan oleh anak-anak berbeda dengan orang dewasa, [15] dan anak-anak kurang dapat memiliki kesempatan untuk beradaptasi [16], [17], [18]. Sebuah studi yang dilakukan terhadap anak-anak menemukan bahwa suhu nyaman adaptif untuk anak-anak adalah 2°C lebih rendah daripada untuk orang dewasa [19]; perbedaan ini bahkan dapat mencapai 3°C [17], [18]. Di Chili, Wargocki dkk. mengidentifikasi bahwa dengan mengurangi suhu dari 30°C menjadi 20°C,

R. Mulyadi, B. Hamzah, N. J. Bangsawan, A. Kusno, M. T. Ishak, Y. R. F. Taufik, M. R. Syukri, A. A. F. Bachtiar, Nurhasanah, P. A. Duminggu kinerja tugas sekolah siswa meningkat sebesar 20% [13].

Di Makassar - Indonesia, investigasi ruang kelas yang menunjukkan suhu udara yang tinggi. Suhu udara berkisar antara 28,2°C pada pagi hari hingga 33,6°C pada siang hari. Satu-satunya parameter yang dapat memenuhi Standar Nasional Indonesia adalah kelembaban relative (RH). Namun demikian, ternyata banyak siswa masih merasa nyaman (memilih -1 hingga +1) berdasarkan TSV (*Thermal Sensation Vote*) dan TCV (*Thermal Comfort Vote*). Meskipun sekitar 80% siswa dapat menerima suhu panas tersebut, sebagian besar siswa lebih memilih opsi penurunan suhu udara. Mengenai PMV (*Predicted Mean Vote*), hanya terdapat sekitar 23% responden yang diprediksi akan merasa sedikit hangat (+1). Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa suhu netral masing-masing untuk TSV dan TCV adalah 29,0°C dan 28,5°C [20].

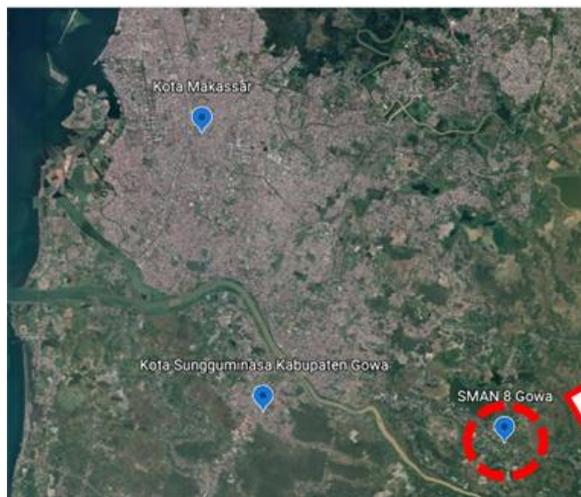
Berdasarkan uraian sebelumnya, bagaimanakah kondisi lingkungan termal ruang kelas di sekolah menengah di area suburban yang berpenghawaan alami dengan jendela dan ventilasi yang terbuka lebar di masa pandemi COVID-19? Apakah kondisi tersebut mampu memenuhi standar kenyamanan termal

berdasarkan ASHRAE 55? Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi lingkungan termal ruang kelas di area suburban di masa pandemi COVID-19.

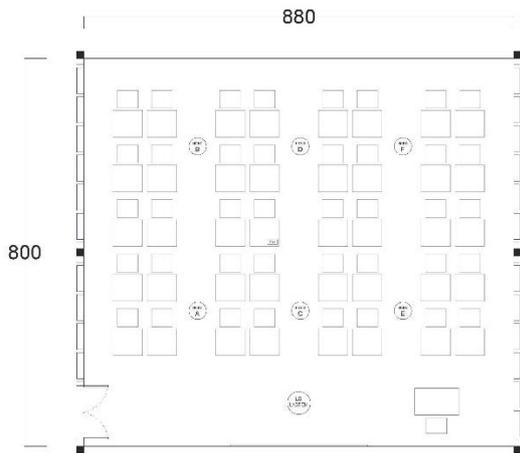
Metode

Metode Pengumpulan Data

Survei dilakukan di sebuah sekolah menengah atas di daerah suburban yang berjarak sekitar 18.6 kilometer dari pusat Kota Makassar dan 8.8 kilometer dari Kota Sungguminasa - ibukota Kabupaten Gowa. Sekolah tersebut adalah SMAN 8 Gowa yang berlokasi di Kecamatan Bontomarannu Kabupaten Gowa. Survei kondisi fisik dan lingkungan termal dilakukan selama lima hari dari tanggal 8-10 dan 13-14 Agustus 2022 pada lima kelas di sekolah tersebut. Survei ini bertujuan untuk mendapatkan data kondisi fisik dan lingkungan termal ruang kelas, termasuk diantaranya suhu udara (T_a), kelembaban (RH), dan kecepatan aliran udara (V). Gambar 1 berikut memperlihatkan suasana kompleks sekolah SMAN 8 Gowa dan gambar 2 memperlihatkan suasana kelas beserta layout ruang kelas serta titik-titik penempatan alat ukur yang digunakan.



Gambar 1. Lokasi dan tampak atas kompleks SMAN 8 Kabupaten Gowa. Sumber: <https://earth.google.com/web/@5.23143089,119.5061466,21.46359716a,443.28377917d,35y,6.79893471h,0t,0r>



Gambar 2. Layout ruang kelas dan suasana ruang kelas.

Saat pelaksanaan pengukuran lingkungan termal di dalam ruang kelas, alat-alat ukur ditempatkan pada posisi vertikal pada ketinggian 1 meter di atas permukaan lantai selama 5 jam berturut-turut, mulai dari pukul 08:00 hingga 13:00 WITA, dengan interval log data setiap 15 menit. Layout penempatan alat ukur di dalam ruang kelas dapat dilihat pada gambar 2. Pemilihan penempatan alat ukur pada ketinggian vertikal satu meter di atas permukaan lantai tersebut berdasarkan pada posisi rata-rata duduk tegak siswa, sedangkan durasi pengambilan data selama lima jam

(08:00-13:00) adalah menyesuaikan dengan waktu belajar siswa di kelas yang pada saat itu dibatasi hanya lima jam.

Alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan data kondisi lingkungan termal adalah: *Hobo data logger* (Hobo UX100) yang dapat mengukur temperatur, kelembaban, dan kecepatan aliran udara serta alat LSI LASTEM *Multilogger* yang dapat mengukur selain temperatur udara juga temperature globe sebagaimana terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. (a) LSI-LASTEM Multi Logger dan (b) HOB0 data logger, serta (c) HOB0 data logger dengan sensor eksternal.

Metode Analisis Data

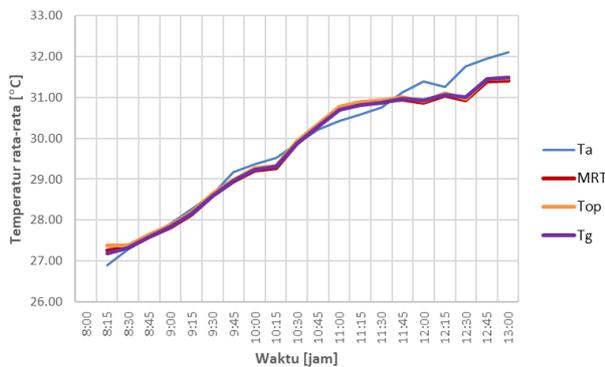
Analisis data dilakukan berdasarkan data-data kondisi lingkungan termal yang telah diperoleh (T_a , RH, dan V) dan dikalkulasi (MRT dan T_{op}), yang telah dikumpulkan dan kemudian disandingkan dengan standar ASHRAE

55 menggunakan metode PMV melalui *CBE Thermal Comfort Tool* <<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>>.

Hasil dan Pembahasan

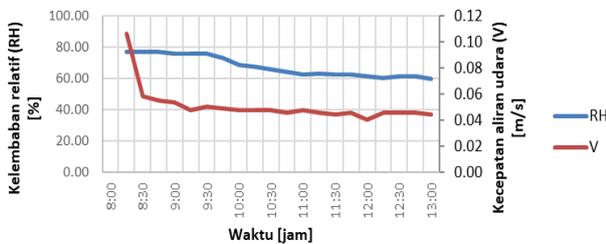
Hasil pengukuran kondisi lingkungan termal ruang kelas yang telah dilakukan selama lima hari pada lima

kelas yang berbeda pada kondisi jendela dan ventilasi terbuka lebar di masa pandemi COVID-19 dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Profil temperatur udara (T_a) [°C], MRT [°C], Temperatur operatif (T_{op}) [°C], dan Temperatur globe (T_g) [°C].

Pada gambar 4, dapat dilihat bahwa profil kondisi temperatur udara (T_a) di dalam ruang kelas rata-rata sebesar 29,80°C, dengan temperatur maksimum (T_{max}) sebesar 32,47°C di siang hari dan minimum (T_{min}) sebesar 26,74°C di pagi hari. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa terjadi peningkatan temperatur udara di dalam kelas rata-rata sebesar 5,72°C mulai dari pagi hari pukul 08:00 hingga siang hari pukul 13:00 WITA. Rata-rata peningkatan temperatur di dalam ruang kelas sebesar 1,14°C per jam atau sekitar 0,02°C per menit.



Gambar 5. Profil kelembaban relatif (RH) [%] udara rata-rata dan kecepatan aliran udara (V) [m/s].

Berdasarkan hasil pengukuran kondisi lingkungan termal ruang kelas tersebut dapat pula diketahui bahwa kelembaban udara rata-rata di dalam ruang kelas sebesar 67,71% sebagaimana terlihat pada gambar 5. Kelembaban udara maksimum (RH_{max}) terjadi di pagi hari sebesar 81,27%, dan kelembaban udara minimum (RH_{min}) terjadi di siang hari sebesar 53,51%. Terjadi penurunan kelembaban udara dari pagi hari hingga siang hari sebesar rata-rata 5,55% perjam. Kondisi kecepatan aliran udara di dalam ruang kelas relatif rendah sebagaimana terlihat pada gambar 5, dengan kecepatan rata-rata sebesar 0,05m/s.

Kecepatan aliran udara minimum (V_{min}) sebesar 0,04m/s terjadi mulai dari menjelang siang hingga siang hari. Kecepatan aliran udara maksimum (V_{max}) terjadi di pagi hari sebesar 0,14m/s. Dengan terbukanya jendela dan ventilasi maka tentunya sirkulasi udara dapat terjadi dengan baik. Namun demikian, hal ini akan sangat tergantung kepada kondisi kecepatan aliran udara luar yang masuk ke dalam ruang kelas beserta posisi dan dimensi bukaan jendela dan ventilasi. Sebagaimana terlihat pada gambar 2, bukaan jendela dan ventilasi sangat memungkinkan terjadinya ventilasi silang sehingga dapat memperlancar aliran udara masuk dan keluar dari ruang kelas.

Selanjutnya, untuk mengetahui nilai *Mean Radiant Temperature* (MRT) dilakukan kalkulasi menggunakan data hasil pengukuran Temperatur globe (T_g) dan Kecepatan Aliran Udara (V), sebagai berikut [21]:

$$MRT = T_g + 2.42 \times V \times (T_g - T_a) \quad \dots(1)$$

Di mana; MRT adalah *Mean Radiant Temperature* [°C], T_g adalah Temperatur globe [°C], V adalah kecepatan aliran udara [m/s] dan T_a adalah Temperatur udara [°C].

Hasil kalkulasi MRT menggunakan Rumus 1 dapat dilihat pada gambar 4. Berdasarkan hasil kalkulasi tersebut, dapat diketahui bahwa rata-rata nilai MRT di dalam ruang kelas adalah sebesar 29,67°C. Nilai MRT terendah terjadi di pagi hari sebesar 27,27°C dan nilai MRT tertinggi terjadi di siang hari sebesar 31,41°C. Hal ini dapat terjadi kemungkinan karena diakibatkan oleh tingginya nilai T_g . Berdasarkan informasi sebagaimana terlihat pada gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai rata-rata T_g adalah sebesar 29,68°C, dengan nilai T_g tertinggi sebesar 31,48°C di siang hari dan T_g terendah di pagi hari sebesar 27,19°C. Hal inilah yang dapat menyebabkan nilai MRT juga tinggi, disamping kontribusi dari kecepatan aliran udara (V) tentunya. Kecepatan aliran udara (V) yang relatif rendah pada saat itu pun ikut berkontribusi terhadap tingginya nilai MRT. Sebagaimana terlihat pada gambar 4, nilai rata-rata kecepatan aliran udara (V) hanya sebesar 0,05m/s, dengan nilai maksimum sebesar 0,14m/s, nilai ini tentunya sangat rendah untuk dapat mengalirkan udara panas yang ada keluar dari dalam ruangan kelas.

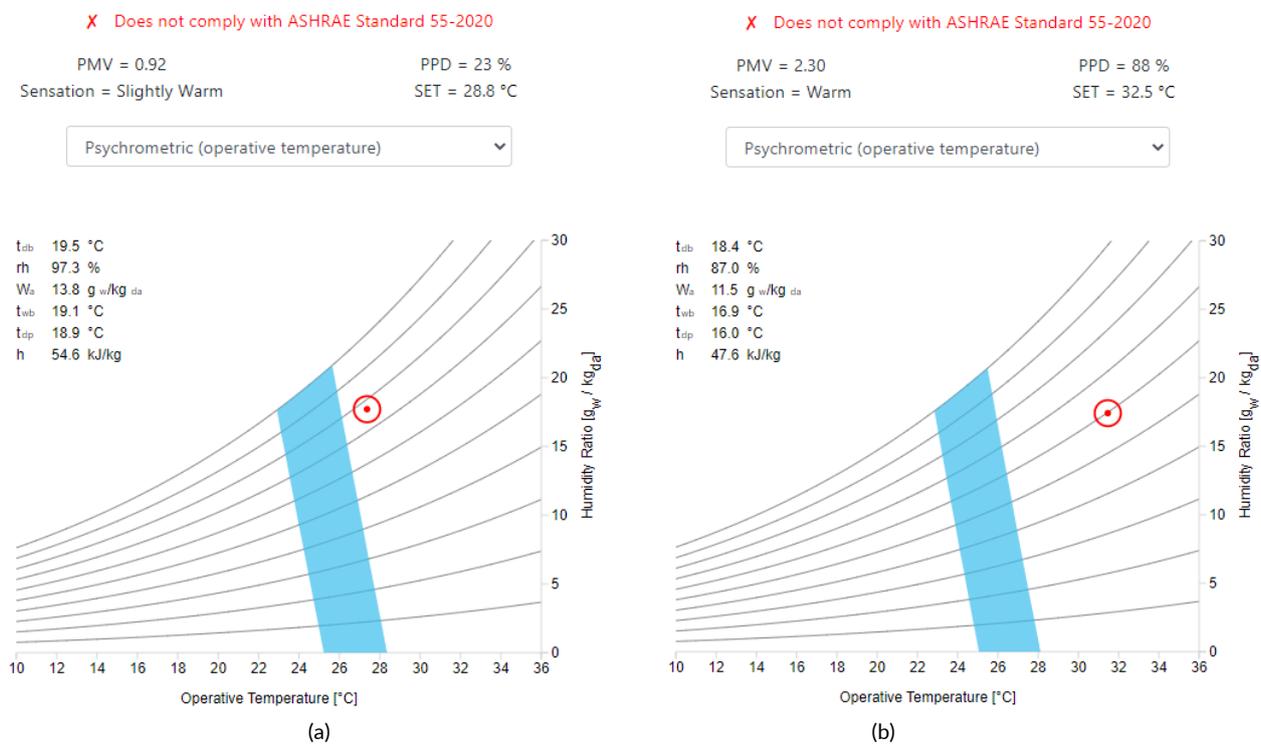
Selain MRT, Temperatur operatif (T_{op}) pun perlu dikalkulasi. Formula yang digunakan adalah sebagaimana terlihat pada Rumus 2. Temperatur

R. Mulyadi, B. Hamzah, N. J. Bangsawan, A. Kusno, M. T. Ishak, Y. R. F. Taufik, M. R. Syukri, A. A. F. Bachtiar, Nurhasanah, P. A. Duminggu
operatif (T_{op}) adalah temperatur seragam dari selungkup/lapisan/permukaan hitam imajiner di mana pengguna akan menukar jumlah panas yang sama dengan radiasi ditambah konveksi. Secara matematis, kalkulasi temperatur operatif (T_{op}) dapat ditunjukkan sebagai berikut [22]:

$$T_o = \frac{\{MRT+(T_a \times \sqrt{10V})\}}{1+\sqrt{10V}} \quad \dots(2)$$

Di mana; T_{op} adalah temperatur operatif [$^{\circ}\text{C}$], MRT adalah *Mean Radiant Temperature* [$^{\circ}\text{C}$], T_a adalah temperatur udara [$^{\circ}\text{C}$], dan V adalah kecepatan aliran udara [m/s]. Berdasarkan kalkulasi yang dilakukan menggunakan Rumus 2 tersebut, dapat diketahui

Dengan menggunakan *CBE Thermal Comfort Tool*, kondisi lingkungan termal di dalam ruang kelas tersebut dapat diprediksi apakah telah memenuhi standar ASHRAE 55 atau belum, baik di waktu pagi hari maupun di waktu siang hari. Sebagaimana informasi yang dapat dilihat pada grafik psychrometric sebagaimana terlihat di gambar 6 (a) dan (b). Pada gambar 6 tersebut, absis adalah temperatur operatif (T_{op}) dan untuk setiap titik temperatur bola kering sama dengan temperatur radiasi rata-rata (*Dry Bulb Temperature* (DBT) = MRT). Zona nyaman mewakili kombinasi kondisi dengan DBT dan MRT yang sama



Gambar 6. (a) PMV pada kondisi pagi hari $T_{op} = 27.37^{\circ}\text{C}$, $V = 0.11\text{m/s}$, dan $\text{RH} = 7.69\%$, metabolic rate = 1met, dan clothing = 0.61clo, dan (b) PMV pada kondisi siang hari $T_{op} = 31.46^{\circ}\text{C}$, $V = 0.04\text{m/s}$, dan $\text{RH} = 59.80\%$, metabolic rate = 1met, dan clothing = 0.61clo. Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>.

bahwa nilai rata-rata T_{op} adalah sebesar 29.72°C . Nilai maksimum T_{op} adalah sebesar 31.46°C terjadi di siang

dengan PMV antara -0,5 dan +0,5, menurut standar ASHRAE.

Berdasarkan hasil analisis, pada kondisi pagi hari sebagaimana terlihat pada gambar 6 (a), di mana Temperatur operatif (T_{op}) sebesar 27.37°C , kecepatan aliran udara (V) sebesar 0.11m/s , kelembaban relatif (RH) sebesar 76.95% serta dengan *metabolic rate* sebesar 1 met dan jenis pakaian sebesar 0.61clo , dengan menggunakan Metode PMV, dapat diketahui bahwa kondisi tersebut belum memenuhi standar ASHRAE 55. Dari hasil kalkulasi, nilai PMV yang

dihasilkan sebesar 0.92 yang berarti bahwa rata-rata responden akan memilih skala mendekati skala 1 (*slightly warm*), di mana skala yang digunakan oleh ASHRAE adalah: *cold* (-3), *cool* (-2), *slightly cool* (-1), *neutral* (0), *slightly warm* (1), *warm* (2), dan *hot* (3). Prediksi persentase ketidakpuasan (*Prediction Percentage Dissatisfied* = PPD) sebesar 23% yang berarti akan ada sebanyak 23% siswa yang akan mengalami ketidakpuasan terhadap kondisi

R. Mulyadi, B. Hamzah, N. J. Bangsawan, A. Kusno, M. T. Ishak, Y. R. F. Taufik, M. R. Syukri, A. A. F. Bachtiar, Nurhasanah, P. A. Duminggu lingkungan termal di dalam ruang kelas tersebut. Nilai *Standard Effective Temperature* (SET) sebesar 28.8°C menandakan bahwa pada kondisi tersebut, siswa akan merasakan temperatur yang sama dengan 28.8°C. Pada kondisi tersebut, nilai SET ini lebih tinggi dari nilai T_{op} .

Begitu pula terhadap hasil analisis pada kondisi siang hari sebagaimana terlihat pada gambar 6 (b). Pada saat itu, Temperatur operatif (T_{op}) pada siang hari sebesar 31.46°C. Sekitar 4.09°C lebih tinggi dari Temperatur operatif (T_{op}) pada pagi hari. Pada siang hari, kecepatan aliran udara cenderung konstan di angka 0.04m/s. Kelembaban relatif (RH) di siang hari sebesar 59.80%, cenderung berkurang bila dibandingkan dengan kondisi kelembaban lingkungan termal di pagi hari. Dengan menggunakan nilai metabolic rate sebesar 1 met dan jenis pakaian sebesar 0.61clo, serta dengan menggunakan metode PMV menggunakan CBE Thermal Comfort Tool dapat diketahui bahwa kondisi lingkungan termal di ruang kelas di siang hari belum memenuhi standar ASHRAE 55-2020 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 6 (b).

Berdasarkan hasil analisis dari *CBE Thermal Comfort Tool*, nilai PMV yang dihasilkan sebesar 2.30. Nilai ini berada di atas kondisi *Warm* (hangat) pada skala kenyamanan termal ASHRAE. Nilai *Warm* pada skala kenyamanan termal ASHRAE adalah 2. Tersisa 0,7 poin lagi kondisi tersebut akan berada di posisi *Hot* (Panas). Seiring dengan merambatnya waktu dari pagi hari ke siang hari dan jika memperhatikan tren kondisi lingkungan termal di dalam ruang kelas, maka dapat diprediksi bahwa, temperatur udara akan semakin meningkat, kelembaban udara akan menurun dan juga kecepatan aliran udara akan menurun sehingga besar kemungkinan ruang kelas akan mengalami kondisi hangat (*warm*) pada jam-jam selanjutnya hingga sore hari.

Selain itu, nilai prediksi persentase ketidakpuasan (PPD) berada diangka 88%. Nilai ini sangat tinggi dan menginformasikan tentang angka prediksi persentase ketidakpuasan pengguna (siswa) terhadap kondisi ruang kelas di siang hari. Tentunya kondisi ini dapat saja mempengaruhi kinerja belajar siswa, sebab 88% siswa diprediksi akan mengalami ketidakpuasan terhadap kondisi lingkungan termal di ruang kelas tersebut. Nilai PPD pada siang hari tersebut bertambah sebesar 66% lebih tinggi dari PPD pada pagi hari yang hanya sebesar 23%. Selain itu, nilai *Standard Effective Temperature* (SET) di pagi hari

sebesar 28.8°C pun bertambah sebesar 3.7°C menjadi 32.5°C di siang hari. Hal ini berarti bahwa meskipun Temperatur operatif (T_{op}) berada diangka 31.46°C akan tetapi yang dapat dirasakan oleh siswa adalah temperatur sebesar 32.5°C, lebih tinggi 1.04°C. Kondisi tersebut tentunya tidak dapat memenuhi syarat kenyamanan termal berdasarkan standar ASHRAE 55.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terhadap kondisi lingkungan termal di ruang kelas sekolah menengah di area suburban pada masa pandemi COVID-19, hal mana sesuai dengan protokol COVID-19 di masa pandemi maka semua jendela dan ventilasi terbuka lebar dan ruang kelas menggunakan penghawaan alami, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi lingkungan termal pada ruang kelas antara lain: kondisi temperatur udara (T_a) di dalam ruang kelas rata-rata sebesar 29,80°C, dengan temperatur maksimum (T_{max}) sebesar 32.47°C di siang hari dan temperature minimum (T_{min}) sebesar 26.74°C di pagi hari. Terjadi peningkatan temperatur udara di dalam kelas rata-rata sebesar 5.72°C mulai dari pagi hari pukul 08:00 hingga siang hari pukul 13:00 WITA. Rata-rata peningkatan temperatur di dalam ruang kelas sebesar 1.14°C per jam atau 0.02°C per menit.

Kelembaban udara (RH) rata-rata di dalam ruang kelas sebesar 67.71%. Kelembaban udara maksimum (RH_{max}) terjadi di pagi hari sebesar 81.27%, dan kelembaban udara minimum (RH_{min}) terjadi di siang hari sebesar 53.51%. Terjadi penurunan kelembaban udara dari pagi hari hingga siang hari sebesar rata-rata 5.55% perjam.

Kecepatan aliran udara di dalam ruang kelas relatif rendah, rata-rata sebesar 0.05m/s. Kecepatan aliran udara minimum (V_{min}) sebesar 0.04m/s terjadi mulai menjelang siang dan berlanjut hingga siang hari. Kecepatan aliran udara maksimum (V_{max}) terjadi di pagi hari sebesar 0.14m/s. Rata-rata nilai MRT (*Mean Radiant Temperature*) di dalam ruang kelas sebesar 29.67°C. Nilai MRT terendah terjadi di pagi hari sebesar 27.27°C dan nilai MRT tertinggi terjadi di siang hari sebesar 31.41°C. Rata-rata nilai T_{op} adalah sebesar 29.72°C. Nilai maksimum T_{op} adalah sebesar 31.46°C terjadi di

- R. Mulyadi, B. Hamzah, N. J. Bangsawan, A. Kusno, M. T. Ishak, Y. R. F. Taufik, M. R. Syukri, A. A. F. Bachtiar, Nurhasanah, P. A. Duminggu siang hari dan nilai minimum T_{op} di pagi hari adalah sebesar 27.37°C.
2. Kondisi lingkungan termal pada objek penelitian ruang kelas di sekolah menengah di area suburban berdasarkan hasil analisis menggunakan metode PMV belum memenuhi standar kenyamanan termal berdasarkan ASHRAE 55.
- Penelitian ini menganalisis kondisi lingkungan termal di dalam ruang kelas di area suburban di masa pandemic covid-19 menggunakan Metode PMV (Predicted Mean Vote) yang terdapat pada *CBE Thermal Comfort Tool*. Olehnya itu hasil analisis pada penelitian ini terbatas pada kondisi tersebut. Diperlukan penelitian lebih lanjut menggunakan metode lain seperti metode adaptif dan lain sebagainya untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.
- ### Daftar Pustaka
- [1] General Office of the National Health Commission, "Notice on Printing and Distributing Novel Coronavirus Pneumonia Diagnosis and Treatment Program (Trial Version 3)," 2020. [Online]. Available: <http://www.nhc.gov.cn/xcs/zhengcwj/202002/8334a8326dd94d329df351d7da8aefc2.shtml>. [Accessed: 03-Feb-2022].
- [2] R. M. S. F. Almeida, N. M. M. Ramos, and V. P. De Freitas, "Thermal comfort models and pupils' perception in free-running school buildings of a mild climate country," *Energy Build.*, vol. 111, 2016.
- [3] P. Barrett, F. Davies, Y. Zhang, and L. Barrett, "The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis," *Build. Environ.*, vol. 89, pp. 118–133, Jul. 2015.
- [4] Z. S. Zomorodian, M. Tahsildoost, and M. Hafezi, "Thermal comfort in educational buildings: A review article," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 895–906, Jun. 2016.
- [5] R. De Dear, J. Kim, C. Candido, and M. Deuble, "Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms," <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.991627>, vol. 43, no. 3, pp. 383–398, May 2015.
- [6] J. William, J. Fisk~, and A. H. Rosenfeld~, "Estimates of Improved Productivity and Health from Better Indoor Environments," *Indoor Air*, vol. 7, no. 3, pp. 158–172, Sep. 1997.
- [7] R. M. Baloch *et al.*, "Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study," *Sci. Total Environ.*, vol. 739, p. 139870, Oct. 2020.
- [8] P. M. Bluysen, "Health, comfort and performance of children in classrooms – New directions for research;," <https://doi.org/10.1177/1420326X16661866>, vol. 26, no. 8, pp. 1040–1050, Aug. 2016.
- [9] ASHRAE, *Thermal Environmental Condition for Human Occupancy (ASHRAE Standard 55)*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2004.
- [10] I. M. Budaiwi, "An approach to investigate and remedy thermal-comfort problems in buildings," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 5, pp. 2124–2131, May 2007.
- [11] R. Mulyadi, B. Hamzah, M. T. Ishak, and Y. R. F. Taufik, "Adaptive Thermal Comfort of Elementary School Student (A Case study of the West Coastal Area of South Sulawesi)," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 875, no. 1.
- [12] F. B. R. De Brito, L. B. Da Silva, E. L. De Souza, and T. S. R. Barros, "Study of globe temperature relative to air temperature during cognitive activities in information technology laboratories," *Work*, vol. 62, no. 3, pp. 393–410, 2019.
- [13] P. Wargocki, J. A. Porras-Salazar, and S. Contreras-Espinoza, "The relationship between classroom temperature and children's performance in school," *Build. Environ.*, vol. 157, pp. 197–204, Jun. 2019.
- [14] B. Hamzah, A. Kusno, and R. Mulyadi, "Design of energy efficient and thermally comfortable air-conditioned university classrooms in the tropics," *Int. J. Sustain. Energy*, Oct. 2018.
- [15] M. T. Mustamin, R. Rahim, B. Hamzah, and R. Mulyadi, "The Effect of Human Body Surface Area on Thermal Comfort of University Students," *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 9, pp. 495–504, 2020.
- [16] D. Teli, M. F. Jentsch, and P. A. B. James, "Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children," *Energy Build.*, vol. 53, pp. 166–182, 2012.

- [17] G. Yun, K. C. Yoon, and K. S. Kim, "The influence of shading control strategies on the visual comfort and energy demand of office buildings," *Energy Build.*, vol. 84, pp. 70–85, Dec. 2014.
- [18] A. Montazami, M. Gaterell, F. Nicol, M. Lumley, and C. Thoua, "Impact of social background and behaviour on children's thermal comfort," *Build. Environ.*, vol. 122, pp. 422–434, Sep. 2017.
- [19] K. Fabbri, "Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire," *Build. Environ.*, vol. 68, pp. 202–214, Oct. 2013.
- [20] B. Hamzah, Z. Gou, R. Mulyadi, and S. Amin, "Thermal Comfort Analyses of Secondary School Students in the Tropics," *Build. 2018, Vol. 8, Page 56*, vol. 8, no. 4, p. 56, Apr. 2018.
- [21] "Mean radiant temperature - Designing Buildings." [Online]. Available: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Mean_radiant_temperature. [Accessed: 22-Sep-2022].
- [22] I. Standard, "ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities," *ISO Stand.*, vol. 1998, pp. 1–56, 1998.