



Investigasi Lingkungan Termal Ruang Kelas Sekolah di Kota Pontianak

Investigation of the Thermal Environment of School Classrooms in Pontianak City

Lestari*, Muhammad Ridha Alhamdani, Muhammad Nurhamsyah, Syaiful Muazir, Rudiono

Architecture Department, Engineering Faculty, Universitas Tanjung Pura, Pontianak, Indonesia

*Corresponding author lestari@teknik.untan.ac.id

Article history

Received: 28 Oct 2021

Accepted: 26 July 2022

Published: 30 Oct 2022

Abstract

The research of the thermal environment of the school building is useful for determining the design strategy of a thermally comfortable school building. This research method is based on field measurements. A total of 8 classrooms from 4 public school buildings in Pontianak City with different characteristics of opening directions, orientations, and floor locations were selected in this study. The results showed that the air temperature and humidity in the classroom ranged between 26.9°C-33.5°C and 74.5%-84.2%. The average air velocity in the classroom is 0.24m/s. The globe temperature is higher than the air temperature with an average difference of 7.7°C. Protection against solar radiation and increased air velocity can be potential design strategies to achieve thermal comfort in classrooms.

Keywords: *classroom; field measurement; thermal comfort; thermal environment*

Abstrak

Penelitian lingkungan termal gedung sekolah bermanfaat untuk menentukan strategi desain bangunan sekolah yang nyaman secara termal. Metode penelitian ini dilakukan berdasarkan pengukuran lapangan. Sebanyak 8 ruang kelas dari 4 gedung sekolah negeri di Kota Pontianak dengan karakteristik arah bukaan, orientasi, dan lokasi lantai yang berbeda dipilih dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu dan kelembaban udara di dalam kelas berkisar antara 26,9°C-33,5°C dan 74,5%-84,2%. Kecepatan udara rata-rata di dalam kelas adalah 0,24 m/s. Suhu bumi lebih tinggi dari suhu udara dengan selisih rata-rata 7,7°C. Perlindungan terhadap radiasi matahari dan peningkatan kecepatan udara dapat menjadi strategi desain potensial untuk mencapai kenyamanan termal di ruang kelas.

Kata kunci: ruang kelas; pengukuran lapangan; kenyamanan termal; lingkungan termal

Cite this as: Lestari, Alhamdani. M. R., Nurhamsyah. M., Muazir, S., Rudiono. (2022). Investigasi Lingkungan Termal Ruang Kelas Sekolah di Kota Pontianak. *Article. Arsitektura : Jurnal Ilmiah Arsitektur dan Lingkungan Binaan*, 20(2), 193-204. doi: <https://doi.org/10.20961/arst.v20i2.56058>

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pembangunan sekolah saat ini menjadi perhatian pemerintah baik pusat maupun daerah, mengingat pentingnya sektor pendidikan dalam meningkatkan mutu sumber daya manusia. Saat ini Indonesia mencanangkan percepatan pembangunan dan rehabilitasi sekolah maupun madrasah di seluruh Indonesia pada 2019-2024 melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, 2020). Kota Pontianak sebagai ibu kota Kalimantan Barat juga terus mengembangkan dan melakukan perbaikan terhadap sarana dan prasarana pendidikan. Melalui Pemerintah Kota Pontianak, perbaikan dan rehabilitasi sekolah-sekolah di Kota tersebut mulai banyak dilakukan sejak tahun 2016 (Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Pontianak, 2016).

Kota Pontianak sebagai kota yang tepat dilalui garis khatulistiwa memiliki iklim tropis lembap. Oleh sebab itu, Kota Pontianak memiliki temperatur udara cukup tinggi serta kelembaban yang tinggi (Pemerintah Kota Pontianak, 2018). Kondisi tersebut menyebabkan pendekatan perancangan dan strategi bangunan di kota tersebut harus dapat memperhitungkan lingkungan termal. Kondisi iklim setempat harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan, mengingat bangunan sebagai lingkungan terbangun dan iklim sebagai kondisi lingkungan tempat membangun memiliki hubungan timbal balik (Pearlmutter, 2007); (Orosa, dkk., 2014). Iklim di suatu tempat merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kenyamanan termal (Huang, dkk., 2020). Selain itu, iklim di suatu tempat memiliki pengaruh terhadap kesehatan dan produktivitas manusia (Nematchoua, dkk., 2011).

Bangunan sekolah sebagai fasilitas pendidikan dalam mencapai tujuan dan fungsinya perlu memenuhi kebutuhan dan kenyamanan penggunaannya. Kegiatan belajar mengajar merupakan aktivitas yang memerlukan konsentrasi tinggi. Aktivitas belajar mengajar tersebut dapat didukung dengan adanya lingkungan yang kondusif dari bangunan sekolah (Zahra Sadat Zomorodian,

dkk., 2016); (Barrett, dkk., 2015). Anak-anak yang berada dalam waktu tertentu di lingkungan sekolah memerlukan kondisi lingkungan yang baik untuk mencapai tujuan dan prestasi belajar (Realyvásquez-Vargas, dkk., 2020). Faktor desain dan kondisi lingkungan anak-anak di sekolah sangat berpengaruh terhadap hasil belajarnya (Fisher, 1997); (Soleimanipirmorad & Vural, 2018); (Ali, dkk., 2020). Oleh karena itu, bangunan sekolah terutama ruang kelas memerlukan lingkungan yang dapat merangsang produktivitas belajar mengajar.

Temperatur merupakan parameter yang dianggap sangat penting dalam menjaga produktivitas dari siswa (Wargocki & Wyon, 2007). Kondisi termal merupakan salah satu faktor selain pencahayaan, kondisi ventilasi dan akustik yang berpengaruh terhadap hasil belajar siswa (Sogol Salary, dkk., 2018). Kondisi kenyamanan termal dalam ruang dapat dicapai dengan mengatur kondisi udara melalui penghawaan buatan. Namun, penghawaan buatan berpotensi meningkatkan konsumsi energi pada bangunan sekolah seperti terjadi pada banyak negara (Dias Pereira, dkk., 2014). Optimalisasi desain pada bangunan sekolah harus dapat meningkatkan kenyamanan termal dan mengefisienkan konsumsi energi pada bangunan (Z S Zomorodian & Nasrollahi, 2013). Strategi pendinginan pasif dinilai sebagai langkah dalam meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan sekolah sekaligus mendukung efisiensi energi pada bangunan.

Karakteristik bangunan memiliki pengaruh terhadap kepuasan termal dalam ruangan. Karakter bangunan seperti orientasi memiliki dampak yang kuat terhadap persepsi termal penghuni bangunan (Teli, dkk., 2012). Ventilasi kelas ditetapkan sebagai elemen penting dalam mencapai kenyamanan termal dan menjaga kualitas udara dalam ruangan (Zahra Sadat Zomorodian, dkk., 2016). Material yang digunakan pada bangunan diteliti sebagai elemen yang juga berpengaruh terhadap kenyamanan termal yang terbentuk (Dudzińska & Kotowicz, 2015); (Dantata & Alibaba, 2018). Elemen desain lain seperti *shading device* juga telah diteliti memberikan pengaruh pada lingkungan dan kenyamanan termal pada bangunan (Dudzińska, 2021);

(Heidari, dkk., 2021). Hasil penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut, menguatkan bahwa desain fitur bangunan merupakan elemen penting yang dapat memengaruhi kenyamanan bangunan akibat kondisi termal yang terbentuk.

Bangunan sekolah khususnya ruang kelas didesain dengan fungsi mewadahi aktivitas belajar mengajar sehingga perlu mencapai kondisi nyaman untuk pengoptimalan capaian dan tujuan belajar. Penyelidikan terhadap kondisi termal dapat memberi gambaran mengenai kondisi nyata lingkungan termal yang terbentuk di ruang kelas. Daerah dengan temperatur udara yang tinggi seperti Kota Pontianak perlu penyelidikan secara khusus terhadap kondisi termal pada ruang kelas di bangunan-bangunan sekolah. Penyelidikan terhadap kondisi termal dapat membantu memprediksi capaian kenyamanan termal sehingga dapat menjadi bahan diskusi untuk arah perbaikan perancangan bangunan sekolah dan pemilihan strategi yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki lingkungan termal yang terbentuk di empat sekolah di Kota Pontianak sehingga dapat dijadikan bahan masukan dan diskusi dalam menentukan strategi pendinginan pasif pada bangunan sekolah.

1.2 Pendekatan Penilaian Kenyamanan Termal

Dengan adanya model pendekatan dan standar untuk memprediksi kenyamanan termal, kondisi lingkungan termal dalam mencapai kenyamanan dari suatu bangunan dapat diprediksi. Kenyamanan termal menggambarkan lingkungan termal dalam ruang yang memuaskan. Kenyamanan didefinisikan sebagai kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal dan dinilai dengan evaluasi subjektif (ASHRAE, 2017). Ada beberapa model pendekatan dalam memprediksi kenyamanan termal, diantaranya yang banyak digunakan dalam penelitian adalah PMV (*Predict Mean Votes*), *two-node model* dan *multi-node model*, serta model kenyamanan termal adaptif (Zhao, dkk., 2021). Beberapa penelitian mengenai pendekatan untuk memprediksi kenyamanan termal telah dilakukan dan memiliki model tersendiri

untuk bangunan pendidikan (Singh, dkk., 2019). *American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) mengembangkan standar internasional untuk menentukan kriteria kenyamanan termal yaitu ASHRAE Standard 55. Ada enam variabel yang digunakan oleh ASHRAE Standard 55 yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal yaitu temperatur udara, temperatur radiasi, kelembaban, kecepatan udara, tingkat metabolisme, dan insulasi pakaian. Keempat variabel yang pertama merupakan variabel yang berasal dari kondisi termal lingkungan, sedangkan dua variabel berikutnya merupakan variabel personal. ASHRAE 55 tahun 2017 juga mengadopsi model kenyamanan adaptif untuk mendefinisikan kondisi termal pada bangunan berventilasi alami di mana lingkungan termalnya dikendalikan dari penggunaan jendela. Dengan pendekatan ini, ASHRAE 55 menggunakan hubungan antara iklim dan lingkungan termal yang terbentuk di dalam ruangan untuk menentukan suhu operasi dalam ruangan yang dapat diterima.

Indonesia menetapkan standar untuk kenyamanan termal dalam bangunan yang tercantum dalam SNI 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan Gedung. Standar ini mengacu pada standar Amerika (ASHRAE) dan mendefinisikan zona kenyamanan menggunakan temperatur efektif. Daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis berdasarkan standar tersebut dibagi menjadi: sejuk nyaman ($20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), nyaman optimal ($22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan hangat nyaman ($25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $27,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Badan Standardisasi Nasional Republik Indonesia, 2001). Standar Nasional Indonesia lain yaitu SNI 03-6390-2000 yang dimutakhirkan pada tahun 2011 tentang konservasi energi sistem tata udara bangunan gedung juga menyebutkan bahwa untuk mencapai kenyamanan termal pada bangunan gedung ditetapkan temperatur udara ruang dalam adalah $24\text{--}27\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau $25,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperatur ruang luar adalah $27\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau $28,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Badan Standardisasi Nasional Republik Indonesia, 2011).

2. METODE

2.1 Sampel Riset

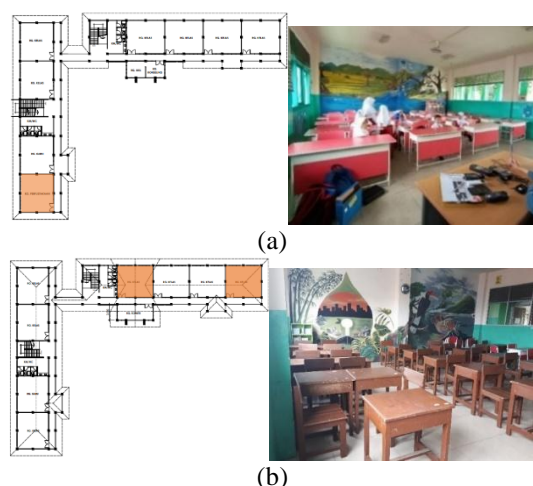
Penelitian ini dilakukan di 8 ruang kelas yang terdapat di 4 sekolah negeri, yaitu 2 sekolah dasar dan 2 sekolah menengah pertama. Keempat sekolah yang dijadikan sampel dalam penelitian ini adalah Sekolah Dasar Negeri 56 Pontianak Barat, Sekolah Dasar Negeri 14 Pontianak Kota, Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Pontianak Selatan, dan Sekolah Menengah Pertama Negeri 10 Pontianak Selatan. Bangunan sampel merupakan bangunan yang dibangun sebagai upaya perbaikan fasilitas sekolah yang ada di Kota Pontianak. Sampel bangunan sekolah dipilih untuk mewakili beberapa kecamatan di Kota Pontianak dengan mempertimbangkan jumlah lantai, adanya elemen peneduh dan variasi orientasi bangunan. Keseluruhan bangunan yang dipilih merupakan bangunan bertingkat. Ruang kelas yang dijadikan sampel berada di lantai 1, 2 atau 3 yang berada pada kondisi ruang kelas yang cenderung tidak mendapat pembayangan dari lingkungan sekitarnya. Semua bangunan yang dipilih merupakan bangunan dari material bata plester dan atap genting metal. Jendela yang terdapat masing-masing ruang kelas juga memiliki karakteristik yang sama yaitu terdiri dari jendela dalam dan jendela luar. Jendela dalam terletak di salah satu sisi kelas yang terhubung dengan bagian koridor, sedangkan jendela luar terletak pada sisi kelas lain yang terhubung dengan area luar kelas. Jendela masing-masing sampel bangunan sekolah ini menghadap arah yang berbeda-beda sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Bagian atas jendela juga terdapat bukaan yang memungkinkan terjadinya ventilasi alami, selain melalui jendela jika dalam keadaan terbuka. Tabel 1 menunjukkan karakteristik sekolah yang menjadi sampel dalam penelitian.

Tabel 1. Karakteristik Sampel Ruang Kelas

Nama Sekolah	Kode Kelas	Letak Ruang dan Arah Jendela	Tanggal Pengukuran	Waktu Pengukuran
SDN 56 Pontianak Barat (Bangunan A)	1	Lantai 2 Dalam: Timur Luar: Barat	13-14 September 2021	07.00 WIB
	2	Lantai 3 Dalam: Selatan Luar: Utara		10.00 WIB

Nama Sekolah	Kode Kelas	Letak Ruang dan Arah Jendela	Tanggal Pengukuran	Waktu Pengukuran
SMPN 2 Pontianak Selatan (Bangunan B)	3	Lantai 3 Dalam: Selatan Luar: Utara	15-16 September 2021	07.00 WIB
	4	Lantai 3 Dalam: Barat Laut Luar: Tenggara		10.00 WIB
	5	Lantai 3 Dalam: Timur Luar: Barat		13.00 WIB
SDN 14 Pontianak Kota (Bangunan C)	6	Lantai 2 Dalam: Barat Laut Luar: Tenggara	20-21 September 2021	07.00 WIB
				10.00 WIB
SMPN 10 Pontianak Selatan (Bangunan D)	7	Lantai 1 Dalam: Tenggara Luar: Barat Laut	22-23 September 2021	07.00 WIB
	8	Lantai 1 Dalam: Tenggara Luar: Barat Laut		10.00 WIB

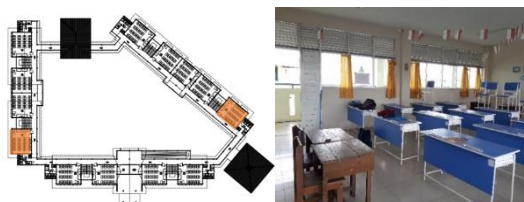
SDN 56 Pontianak terletak di Jalan Komodor Yos Sudarso di sekitar permukiman padat penduduk. Kondisi cuaca cerah pada saat pengukuran. Setiap ruang kelas pada SD 56 berukuran sama yaitu 8 m x 7 m atau memiliki luas 56 m² seperti pada gambar 1. Masing-masing sisi kelas terdapat 6 jendela. Ukuran setiap jendela luar adalah 0,8 m x 1,15 m atau setiap jendela memiliki luas 0,92 m². Ukuran setiap jendela dalam 0,71 m x 0,9 m atau memiliki luas 0,63 m² pada gambar 1.



Gambar 1. Ruang Kelas Lantai 2 (a) dan Lantai 3 (b) SDN 56 Pontianak Barat.

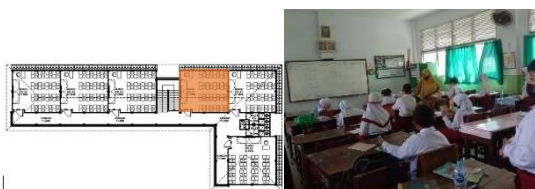
SMPN 2 Pontianak terletak di Jalan Selayar, Kecamatan Pontianak Selatan di sekitar

permukiman padat penduduk. Kondisi cuaca pada saat pengukuran di sekolah ini sebagian besar cerah berawan. Pengukuran dilakukan di dua ruang kelas yang berada di lantai yang sama yaitu lantai 3. Ukuran setiap kelas di SMPN 2 sama yaitu 7 m x 9 m atau memiliki luas 63 m². Masing-masing sisi kelas, seperti pada gambar 2, terdapat 8 buah jendela. Salah satu sisi kelas yang terhubung dengan area luar didesain dengan ukuran jendela 0,50 m x 1,1 m atau dengan luas 0,55 m² setiap jendelanya. Lebar masing-masing jendela pada sisi kelas yang terhubung dengan koridor adalah 0,75 m x 0,90 m atau setiap jendela memiliki luas 0,675 m².



Gambar 2. Ruang Kelas Lantai 3 SMPN 2 Pontianak Selatan.

SDN 14 Pontianak Kota berada di Jalan Tamar, Kecamatan Pontianak Selatan. Bangunan ini terletak di pusat permukiman penduduk yang berbatasan dengan jalan raya lingkungan. Kondisi cuaca pada saat pengukuran cenderung cerah. Pengukuran SD Negeri 14 dilakukan pada satu ruang kelas di lantai 2. Gambar 3 menjelaskan ukuran setiap kelas di SDN 14 ini adalah sama yaitu 8 m x 9 m atau dengan luas 72 m². Masing-masing sisi kelas terdapat 8 jendela. Ukuran setiap jendela adalah 0,9 m x 1,35 m atau setiap jendela memiliki luas 1,2 m².



Gambar 3. Letak dan Ruang Kelas Lantai 2 SDN 14 Pontianak Kota

SMPN 10 Pontianak Selatan terletak di kawasan yang dekat permukiman penduduk dan berdekatan dengan jalan lingkungan. Kondisi cuaca saat pengukuran tanggal 22 September cenderung cerah, sedangkan tanggal 23 September 2021 cuaca hujan. Dua kelas yang dipilih sebagai sampel terletak di

lantai dasar, seperti pada gambar 4. Ukuran setiap kelas di SMPN 10 ini sama yaitu 8 m x 9 m atau memiliki luas 72 m². Masing-masing sisi terdapat 8 jendela. Ukuran setiap jendela dalam adalah 0,8 m x 0,8 m atau setiap jendela memiliki luas 0,64 m². Ukuran setiap jendela luar adalah 0,8 m x 1,2 m atau setiap jendela memiliki luas 0,96 m².



Gambar 4. Ruang Kelas Lantai 1 SMPN 10 Pontianak Selatan

2.2 Pengumpulan dan Analisis Data

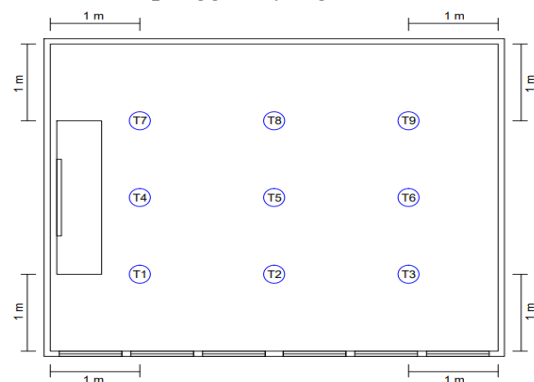
Penelitian yang dilakukan menggunakan metode pengukuran lapangan. Seluruh kelas yang dijadikan sampel diukur kondisinya pada 3 waktu selama 2 hari, Pengukuran dilakukan pada pukul 07.00 WIB, 10.00 WIB dan 13.00 WIB dengan pertimbangan waktu operasional bangunan tersebut digunakan untuk aktivitas belajar mengajar dengan alat ukur pada tabel 2. Pengguna yang menggunakan ruang kelas sesuai usia SD yaitu 6 sampai 12 tahun dan SMP yaitu 13 sampai 15 tahun. Setiap ruang kelas digunakan oleh setengah dari kapasitas kelas yaitu paling banyak 17 orang setiap kelasnya. Hal ini disebabkan pengukuran dilakukan pada bulan September 2021, di mana tahun ajaran tersebut masih dalam masa pandemi Covid-19 yang mensyaratkan berlangsungnya kegiatan belajar mengajar dengan jumlah terbatas.

Variabel yang diukur terdiri dari temperatur udara (°C), kelembaban relatif (RH), temperatur radiasi, dan kecepatan angin (m/s).

Tabel 2. Spesifikasi Alat Ukur

No	Nama Alat	Rentang	Resolusi
1	LT-Lutron	0 °C – 80	0.1 °C
	WBGT-208	°C	
2	LT-Lutron LM-8000A	10 % - 95	0.1 %
		%	0.1 °C
3	LT-Lutron AM-4204	0 °C – 50	
		°C	
		s/d 20.0	0.1 m/s
		m/s	

Pengukuran dilakukan di dalam ruang dan di luar ruang. Titik pengukuran di dalam ruang terdiri dari 9 titik yang terbagi menjadi 3 titik berada di sisi dinding dengan jendela terhubung area luar, 3 titik di tengah ruang dan 3 titik di sisi dinding dengan jendela terhubung dengan koridor (gambar 5). Jarak pengukuran dengan dinding sekitar 1 meter dan seluruh pengukuran dilakukan pada ketinggian 0,6 m di atas permukaan lantai berdasarkan prosedur dan instrumentasi yang disebutkan dalam ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) untuk pengguna yang duduk.



Gambar 5. Titik Ukur pada Ruang

Data hasil pengukuran diolah menggunakan Microsoft excel dan dianalisis secara statistik menggunakan program JMP.

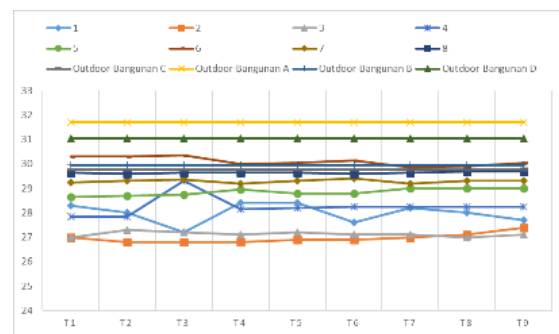
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran

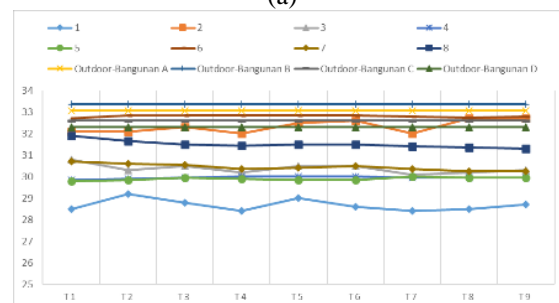
Temperatur Udara

Hasil pengukuran yang dilakukan menunjukkan rentang temperatur udara rata-rata ruang kelas berkisar antara 26.9°C-33.5°C, yang dapat dilihat pada gambar 6. Perbedaan temperatur udara dalam dan luar ruang saat pengukuran pukul 07.00 WIB berada pada nilai 4.73 °C lebih rendah sampai 0.36 °C lebih tinggi dibandingkan temperatur udara ruang luar. Pengukuran pada pukul 10.00 WIB menunjukkan perbedaan temperatur udara dalam ruang dengan temperatur udara ruang luar berada pada nilai 4.37°C lebih rendah sampai 0.21°C lebih tinggi dibandingkan temperatur udara ruang luar. Pengukuran pada pukul 13.00 WIB menunjukkan temperatur udara dalam

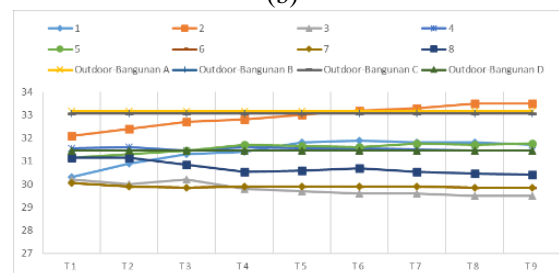
ruang lebih rendah sekitar 0.21°C-3.36 °C dibandingkan temperatur luar ruang.



(a)



(b)



(c)

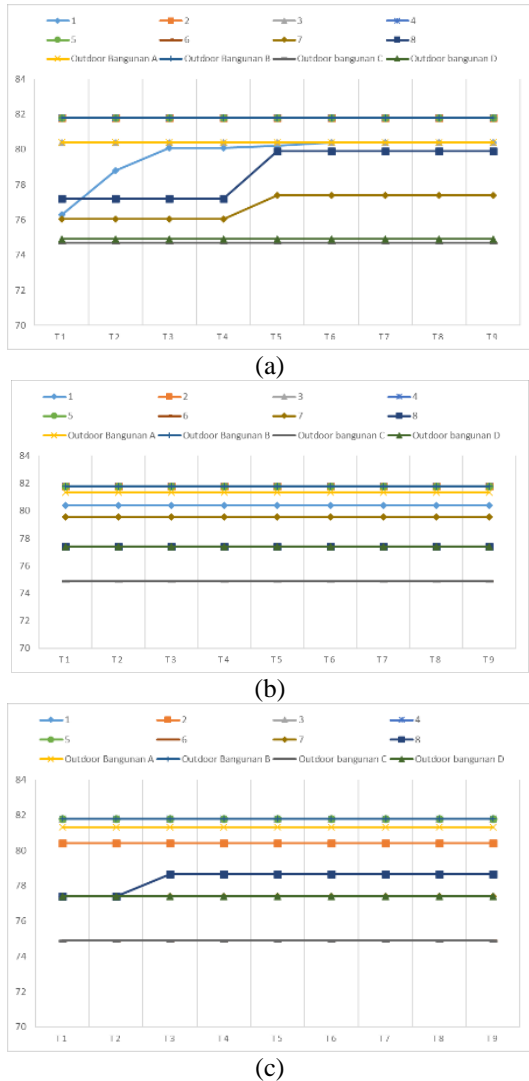
Gambar 6. Temperatur Udara Setiap Titik Ukur Ruang Kelas pada Pukul 07.00 WIB (a), 10.00 WIB (b) dan 13.00 WIB (c)

Hasil pengukuran disetiap waktu pada semua sampel menunjukkan kecenderungan temperatur udara dalam ruang lebih rendah dibandingkan ruang luar dengan rata-rata perbedaan nilai 2°C.

Kelembaban Udara (RH)

Hasil pengukuran terhadap kelembaban udara menunjukkan nilai yang hampir seragam di setiap titik ukur pada setiap sampel ruang kelas. Hasil pengukuran menunjukkan rentang nilai kelembaban udara adalah 74.5%-84.2%, yang dapat dilihat pada gambar 7. Nilai kelembaban udara ini menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan nilai kelembaban udara luar ruang yang diukur. Kelembaban udara pada ruang luar terukur pada rentang

nilai 74.7%-81.8%. Perbedaan nilai kelembaban di antara ruang dalam dan ruang luar sangat rendah. Kelembaban udara ruang dalam cenderung lebih tinggi dibandingkan kelembaban udara ruang luar dengan perbedaan nilai rata-rata adalah 0.4%. Perbedaan kelembaban udara dalam ruang mulai 2.15% lebih tinggi sampai 0.93% lebih rendah dibandingkan kelembaban udara luar ruang.

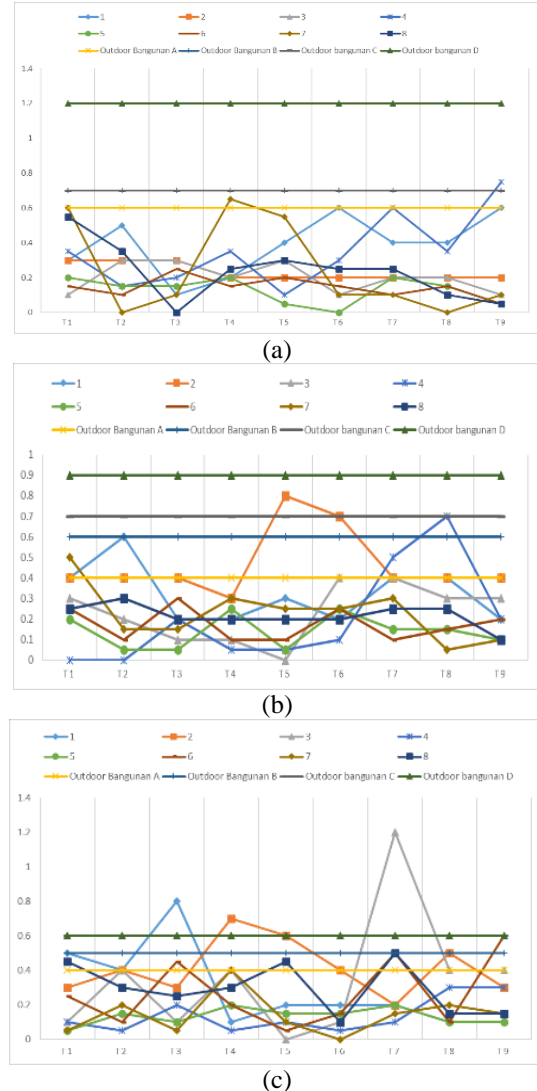


Gambar 7. Kelembaban Udara Setiap Titik Ukur Ruang Kelas pada Pukul 07.00 WIB (a), 10.00 WIB (b) dan 13.00 WIB (c)

a. Kecepatan Udara

Hasil pengukuran terhadap kecepatan angin menunjukkan rentang kecepatan angin yang terjadi pada ruang dalam berkisar antara 0.0 m/s – 0.75 m/s (Gambar 8). Sementara kecepatan angin yang terjadi di luar ruang

berkisar antara 0.6 m/s – 1.2 m/s. Kecepatan angin yang terjadi dalam ruang kelas rata-rata adalah 0.24m/s. Perbedaan kecepatan udara dalam dan luar ruang rata-rata adalah 0.39 m/s.

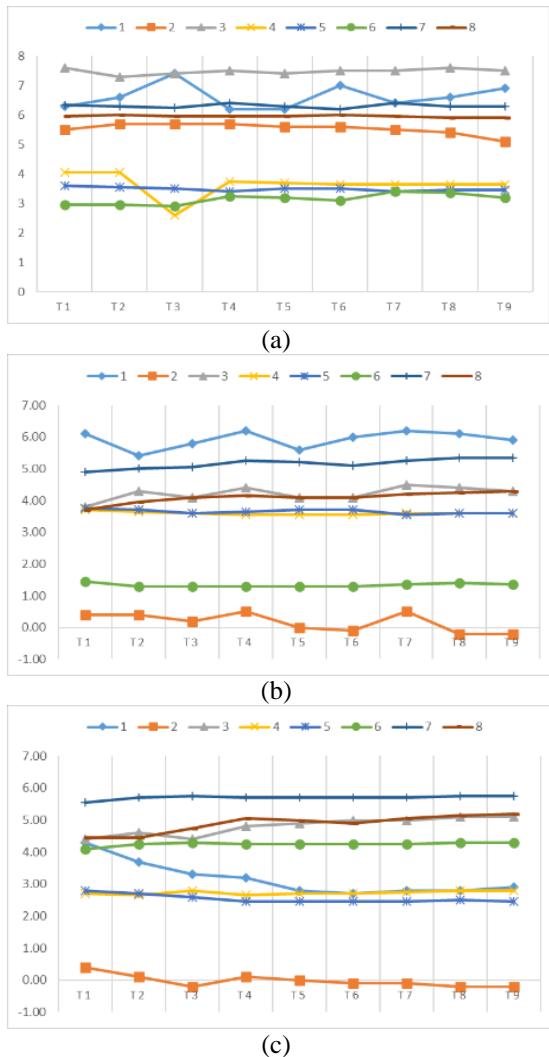


Gambar 8. Kecepatan Udara Setiap Titik Ukur Ruang Kelas pada Pukul 07.00 WIB (a), 10.00 WIB (b) dan 13.00 WIB (c)

b. Temperatur Bola Hitam

Temperatur bola hitam dapat digunakan untuk mengukur efek dari radiasi yang dipancarkan oleh permukaan, yaitu dengan membandingkan nilai temperatur udara dan temperatur bola hitam. Perbedaan nilai temperatur bola hitam dan temperatur udara di ketiga waktu pengukuran dapat dilihat pada gambar 9. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa temperatur bola hitam cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan

temperatur udara. Nilai perbedaan tersebut mencapai 7,7 °C. Lebih tinggi temperatur bola hitam dibandingkan temperatur udara yang diukur pada titik dan waktu yang bersamaan. Walaupun terdapat nilai temperatur udara yang lebih tinggi, perbedaan nilainya tidak terlalu besar, yaitu hanya sekitar 2 °C dan hanya terjadi pada sebagian kecil titik pengukuran.

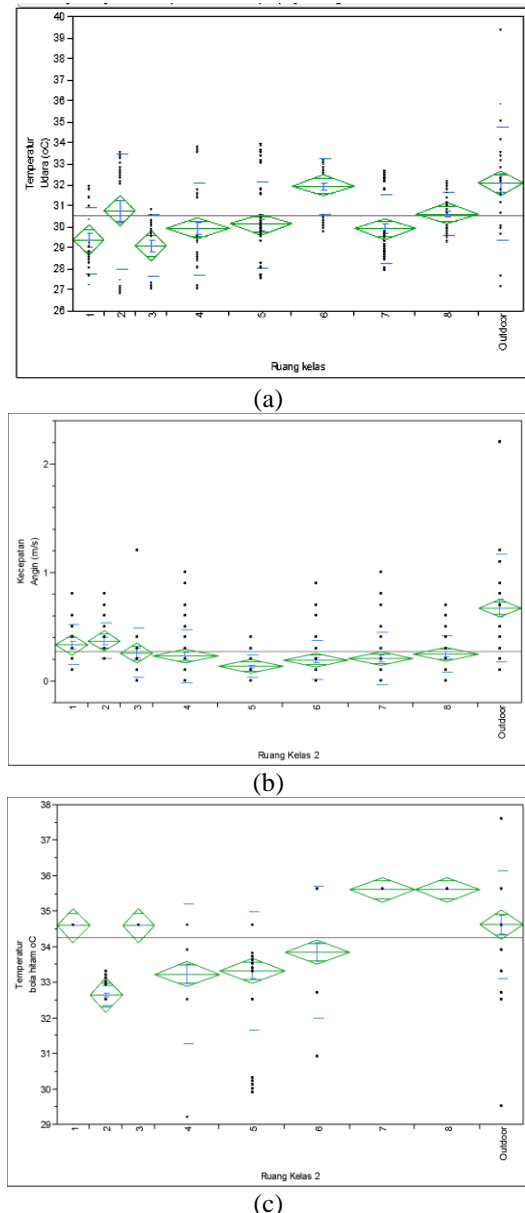


Gambar 9. Perbedaan Nilai Temperatur Bola Hitam dan Temperatur Udara Setiap Titik Ukur Ruang Kelas pada Pukul 07.00 WIB (a), 10.00 WIB (b) dan 13.00 WIB (c)

3.2 Evaluasi Kenyamanan

Keseluruhan ruang kelas yang menjadi sampel dalam penelitian ini menggunakan penghawaan alami. Model PMV yang juga digunakan dalam standar ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) lebih cocok untuk bangunan dengan penghawaan buatan

sehingga model adaptif digunakan sebagai pendekatan untuk memprediksi kenyamanan termal dalam penelitian ini. Berdasarkan data di mana rentang hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 10, dilakukan prediksi terhadap kenyamanan termal.

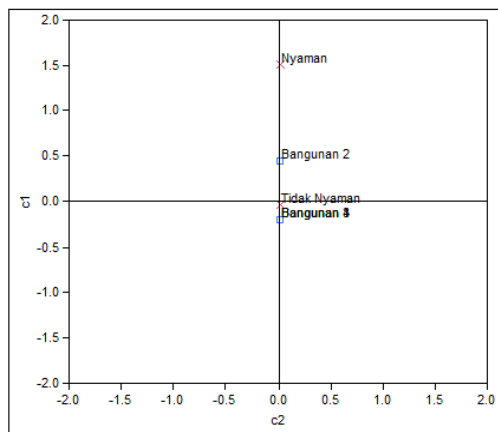


Gambar 10. Kondisi lingkungan termal: Temperatur Udara (a), Kecepatan Angin (b) dan Temperatur Bola Hitam (c)

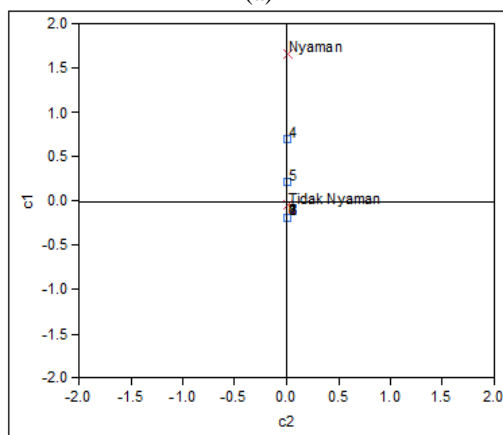
Prediksi kenyamanan termal berdasarkan pendekatan adaptif yang dilakukan menunjukkan hasil bahwa sebagian besar ruang kelas mengalami kondisi yang tidak nyaman. Hanya beberapa bagian kecil dari sampel yang terevaluasi mendapatkan kondisi nyaman. Hal ini juga dapat terlihat dari

temperatur operatif yang cukup tinggi yaitu berkisar 28,01 °C sampai 38,84 °C. Bangunan yang masih mendapatkan evaluasi nyaman adalah bangunan B yaitu ruang kelas 4 dan 5, seperti ditunjukkan oleh grafik pada gambar 11.

Evaluasi kenyamanan ini juga dapat terlihat dari pengaruh variabel sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 10. Kedua ruang kelas pada bangunan ini memiliki nilai pengukuran temperatur bola hitam yang rendah, walaupun kecepatan angin dan temperatur udara yang diukur hampir sama dengan ruang kelas lainnya. Ruang kelas 3 juga terukur dengan temperatur bola hitam yang rendah, namun temperatur udara terukur lebih tinggi.



(a)



(b)

Gambar 11. Kedekatan Hasil Prediksi Kenyamanan Termal dengan Bangunan Sekolah (a) dan Ruang Kelas (b)

3.3 Diskusi Strategi Desain

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kecepatan udara yang lebih tinggi cenderung dipilih untuk meningkatkan kenyamanan termal (Cândido, dkk., 2010); (Srivajana, 2003). Hasil pengukuran yang dilakukan menunjukkan kecepatan udara yang terjadi di ruang kelas cenderung rendah. Padahal untuk mencapai kenyamanan termal dengan temperatur operatif mencapai 30 °C diperlukan kecepatan udara yang lebih besar dari yang terukur. Strategi desain perlu mempertimbangkan agar angin dapat bergerak bebas dan meningkat kecepatannya, mengingat kecepatan angin yang terjadi di luar ruang lebih tinggi. Buka ventilasi yang ada pada ruang kelas saat ini belum dapat mencapai kecepatan angin yang diperlukan, terutama pada kondisi jendela tertutup. Desain massa bangunan termasuk bukaan yang dapat mengalirkan dan meningkatkan kecepatan udara dalam ruang sepanjang operasional bangunan bisa berpotensi sebagai strategi desain untuk meningkatkan kenyamanan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ruang-ruang kelas yang diteliti mengalami pengaruh radiasi matahari. Penelitian sebelumnya telah menyelidiki pengaruh radiasi matahari terhadap kenyamanan termal. Peningkatan radiasi matahari dapat meningkatkan skala sensasi termal yang dirasakan (Hodder & Parsons, 2007). Evaluasi kenyamanan termal yang telah dilakukan juga menunjukkan bahwa ruang-ruang kelas dengan perbedaan temperatur udara dan temperatur bola hitam yang rendah masih bisa mencapai kondisi nyaman. Namun sebaliknya, perbedaan yang tinggi antara temperatur bola hitam dengan temperatur udara tidak dapat mencapai kondisi nyaman. Oleh karena itu, strategi desain untuk mengurangi radiasi matahari masuk ke dalam ruang kelas perlu dipertimbangkan. Penggunaan *sun shading* dapat menjadi alternatif yang potensial untuk mengurangi radiasi matahari. Penggunaan *sun shading* telah diteliti mampu meningkatkan kenyamanan termal pada ruang (Dudzińska, 2021); (Ishaq & Alibaba, 2017); (Heidari, dkk., 2021).

Penggunaan koridor juga dapat menjadi alternatif lain yang bisa dipertimbangkan

untuk mengurangi radiasi matahari. Desain dengan menempatkan dua ruang kelas berhadapan yang dipisahkan oleh koridor sebagaimana kondisi ruang kelas 2 menunjukkan pengukuran temperatur bola hitam yang lebih rendah dibandingkan ruang kelas lain yang diukur pada saat bersamaan. Namun, variabel yang memengaruhi temperatur udara harus diperhitungkan karena rata-rata temperatur udara terukur pada ruang kelas tersebut justru lebih tinggi. Arah orientasi bangunan dapat menjadi salah satu pertimbangan penting lainnya untuk meminimalkan dampak radiasi matahari pada ruang. Pemilihan material yang dapat mereduksi radiasi matahari juga bisa menjadi alternatif. Material kaca misalnya, memiliki karakteristik spesifik, yang pemilihannya memengaruhi radiasi matahari yang diterima bangunan (Jelle, 2013).

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran dan evaluasi terhadap kondisi termal ruang kelas di Kota Pontianak dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Temperatur udara dalam ruang cenderung lebih rendah dibandingkan ruang luar. Namun, nilai perbedaannya tidak terlalu besar. Kondisi ini memberikan gambaran bahwa temperatur udara dalam ruang sangat dipengaruhi keadaan ruang luar dan cuaca yang berlangsung. Kelembaban udara dalam ruang kelas nilainya cukup besar mencapai 84,2%. Nilai ini tidak jauh berbeda dan cenderung lebih tinggi dibandingkan nilai kelembaban udara ruang luar. Pengukuran pada temperatur bola hitam menunjukkan nilai yang lebih tinggi dengan perbedaan yang cukup besar dibandingkan temperatur udara luar. Hal ini mengindikasikan bahwa ruang-ruang kelas sebagian besar mendapat pengaruh dari radiasi matahari. Pengukuran terhadap kecepatan angin yang terjadi di ruang-ruang kelas cenderung rendah dengan rata-rata 0,24 m/s. Padahal dengan kondisi temperatur udara, kelembaban, dan temperatur bola hitam yang tinggi diperlukan kecepatan angin yang sesuai untuk meningkatkan kenyamanan termal dalam bangunan. Hasil evaluasi prediksi kenyamanan termal pada ruang-ruang kelas menggunakan pendekatan adaptif

memberikan hasil bahwa hampir sebagian besar ruang berada pada kondisi tidak nyaman.

Strategi desain pada bangunan sekolah yang perlu dipertimbangkan terutama adalah mengurangi pengaruh radiasi matahari yang masuk serta meningkatkan pergerakan dan kecepatan angin dalam ruang kelas. Kedua kondisi termal yang memengaruhi kenyamanan dalam bangunan tersebut diukur masih dapat dioptimalkan dan berpotensi meningkatkan kenyamanan termal.

KONTRIBUSI PENULIS

Penelitian ini merupakan kerja sama dari tim penulis yang memiliki peran masing-masing. Penulis pertama (L) merupakan ketua tim penelitian yang mengkoordinasi seluruh penelitian, penulis kedua (MRA) dan ketiga (MN) merupakan koordinator pengukuran dan pengumpulan data lapangan, sedangkan penulis keempat (SM) dan kelima (R) merupakan tim pengelola analisis, penulisan dan publikasi hasil penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura yang telah memberikan dukungan dan pendanaan melalui DIPA tahun 2021 untuk penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada seluruh tim survei dan tim data, serta kepala sekolah beserta seluruh jajaran dari SDN 56, SDN 14, SMPN 2 dan SMPN 10 Kota Pontianak yang sangat membantu berjalannya penelitian ini.

REFERENSI

- Ali, N., Khan, A. B., & Ahmad, T. (2020). Effects of School Building on Academic Achievement of Secondary School Students in Southern KP, Pakistan. *Global Educational Studies Review*, V(II), 28–34. [https://doi.org/10.31703/gesr.2020\(v-ii\).04](https://doi.org/10.31703/gesr.2020(v-ii).04)
- ASHRAE. (2017). ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *ASHRAE Inc., 2017*.
- Badan Standardisasi Nasional Republik

- Indonesia. (2001). *SNI - 03 - 6572 - 2001, Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung*. 1–55.
- Badan Standardisasi Nasional Republik Indonesia. (2011). *SNI 03-6390-2000 Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*.
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>
- Cândido, C., de Dear, R. J., Lamberts, R., & Bittencourt, L. (2010). Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. *Building and Environment*, 45(1), 222–229. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.005>
- Dantata, M. K., & Alibaba, H. Z. (2018). The effects of flooring material on thermal comfort in a comparative study marble and parquet flooring. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(12), 1470–1486. <https://www.ijser.org/researchpaper/the-effects-of-flooring-material-on-thermal-comfort-in-a-comparative-manner-Ceramic-tile-and-wood-flooring.pdf>
- Dias Pereira, L., Raimondo, D., Corgnati, S. P., & Gameiro Da Silva, M. (2014). Energy consumption in schools - A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 911–922. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.010>
- Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kota Pontianak. (2016). *Pemkot targetkan 30 SMPN di Pontianak*. <http://dindik.pontianakkota.go.id/news.php?readmore=675>
- Dudzińska, A. (2021). Efficiency of solar shading devices to improve thermal comfort in a sports hall. *Energies*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/en14123535>
- Dudzińska, A., & Kotowicz, A. (2015). Features of materials versus thermal comfort in a passive building. *Procedia Engineering*, 108, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.125>
- Fisher, K. (1997). *Building better outcomes: The impact of school infrastructure on student outcomes and behaviour*. (Issue 02).
- Heidari, A., Taghipour, M., & Yarmahmoodi, Z. (2021). The effect of fixed external shading devices on daylighting and thermal comfort in residential building. *Journal of Daylighting*, 8(2), 165–180. <https://doi.org/10.15627/JD.2021.15>
- Hodder, S. G., & Parsons, K. (2007). The effects of solar radiation on thermal comfort. *International Journal of Biometeorology*, 51(3), 233–250. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0050-y>
- Huang, Y., Lai, D., Liu, Y., & Xuan, H. (2020). Impact of climate change on outdoor thermal comfort in cities in United States. *E3S Web of Conferences*, 158, 4–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015801002>
- Ishaq, M. S., & Alibaba, H. Z. (2017). Effects Of Shading Device On Thermal Comfort Of Residential Building In Northern Nigeria. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(January 2018), 1021–1029.
- Jelle, B. P. (2013). Solar radiation glazing factors for window panes, glass structures and electrochromic windows in buildings - Measurement and calculation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 116(7465), 291–323. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.04.032>
- Nematchoua, M. K., Roshan, G., & Tchinda, R. (2011). Impact of climate change on outdoor thermal comfort and health in tropical wet and hot zone (Douala), Cameroon. *Bangladesh Journal of Medical Science*, 4(1), 10–19.
- Orosa, J. A., Costa, Á. M., Rodríguez-Fernández, Á., & Roshan, G. (2014). Effect of climate change on outdoor thermal comfort in humid climates. *Journal of Environmental Health*

- Science and Engineering*, 12(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-46>
- Pearlmutter, D. (2007). Architecture and Climate: The Environmental Continuum. *Geography Compass*, 1(4), 752–778.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00045.x>
- Pemerintah Kota Pontianak. (2018). *Kondisi Geografis Kota Pontianak*.
<https://www.pontianakkota.go.id/>
- Realyvásquez-Vargas, A., Maldonado-Macías, A. A., Arredondo-Soto, K. C., Baez-Lopez, Y., Carrillo-Gutiérrez, T., & Hernández-Escobedo, G. (2020). The impact of environmental factors on academic performance of university students taking online classes during the COVID-19 pandemic in Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su12219194>
- Sekretariat Kabinet Republik Indonesia. (2020). *Pemerintah Targetkan Pembangunan dan Rehabilitasi 10.000 Sekolah maupun Madrasah Periode 2019-2024*.
<https://setkab.go.id/pemerintah-targetkan-pembangunan-dan-rehabilitasi-10-000-sekolah-maupun-madrasah-periode-2019-2024/>
- Singh, M. K., Ooka, R., Rijal, H. B., Kumar, S., Kumar, A., & Mahapatra, S. (2019). Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. *Energy and Buildings*, 188–189, 149–174.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.051>
- Sogol Salary, Lisa Holliday, Marguerite Keese, & Hans-Peter Wachter. (2018). Building Features in Schools That Influence Academic Performance. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 12(3), 163–197.
<https://doi.org/10.17265/1934-7359/2018.03.001>
- Soleimanipirmorad, S., & Vural, S. M. (2018). Effects of Educational Buildings Conditions on Education Quality. *Creative Education*, 09(13), 1978–1995.
<https://doi.org/10.4236/ce.2018.913145>
- Srivajana, W. (2003). Effects of Air Velocity on Thermal Comfort in Hot and Humid Climates, Thammasat. *International Journal of Science and Technology*, 8(2), 45–54.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.543.2682>
- Teli, D., Jentsch, M. F., & James, P. A. B. (2012). Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. *Energy and Buildings*, 53, 166–182.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.022>
- Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2007). The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257). *HVAC and R Research*, 13(2), 193–220.
<https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10390951>
- Zhao, Q., Lian, Z., & Lai, D. (2021). Thermal comfort models and their developments: A review. *Energy and Built Environment*, 2(1), 21–33.
<https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.05.007>
- Zomorodian, Z S, & Nasrollahi, F. (2013). Architectural design optimization of school buildings for reduction of energy demand in hot and dry climates of Iran. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*, 23(December), 41–50.
- Zomorodian, Zahra Sadat, Tahsildoost, M., & Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 895–906.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>