
PENKONDISIAN TERMAL PADA BANGUNAN SEKOLAH DI INDONESIA

Luhur Sapto Pamungkas¹, Jatmika Adi Suryabrata²

¹Program Doktor Teknik Arsitektur dan Perencanaan, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada

²Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada

Email: luhursapto777@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Abstract: *This study is a literature review based on a number of empirical studies on the thermal conditions of elementary, junior high and high school schools, especially in Indonesia. School buildings in tropical climates are generally not specifically designed for thermal comfort. So far, school buildings have only focused on the principle of fulfilling functional needs even though thermal comfort is needed by students. On average, school students in tropical climates have a high thermal tolerance between 1°C to 12°C or above the standard thermal measurement (24°C - 26°C). However, most students still expressed a hot thermal sensation and still hoped that the room temperature could be lowered. For this reason, school buildings certainly need a thermal control strategy which will also be discussed in this paper.*

Keywords: *School building; Thermal Conditioning; Thermal Sensation.*

Abstrak: Penelitian ini adalah sebuah pengkajian literatur berdasarkan sejumlah penelitian empiris tentang kondisi termal bangunan sekolah SD, SMP, dan SMU khususnya di Indonesia. Bangunan sekolah di daerah iklim tropis secara umum tidak di desain secara khusus untuk memperoleh kenyamanan termal. Bangunan sekolah sejauh ini hanya difokuskan pada asas pemenuhan kebutuhan fungsional saja meskipun kenyamanan termal sangat dibutuhkan oleh siswa. Rata-rata siswa sekolah pada daerah beriklim tropis memiliki toleransi yang tinggi terhadap termal antara 1°C hingga 12°C atau berada di atas ukuran termal standar (24°C - 26°C). Namun demikian, sebagian besar siswa tetap menyatakan sensasi termal yang panas dan tetap mengharapkan suhu ruang dapat diturunkan. Untuk itu bangunan sekolah tentu diperlukan strategi pengendalian termal yang juga akan didiskusikan dalam makalah ini.

Kata Kunci: Bangunan Sekolah; Pengkondisian Termal; Sensasi Termal.

Article history:

Received; 2020-01-28

Revised; 2020-03-29

Accepted; 2020-04-29

PENDAHULUAN

Di berbagai negara yang termasuk dalam wilayah negara beriklim tropis, termal akan selalu menjadi fokus perhatian. Berkaitan dengan kenyamanan termal pada bangunan sekolah, tren yang terjadi pada negara-negara di wilayah ini adalah semakin meningkatnya penggunaan alat pendingin ruang (AC) yang dikawatirkan oleh banyak pihak akan turut mengancam kelestarian lingkungan (Priya & Kaja, 2016). Pada sisi lain kenyamanan ruang kelas di banyak sekolah khususnya pada tingkat pendidikan dasar SD, SMP, SMU dinilai memiliki dampak penting terhadap kualitas siswa terkait dengan kinerja belajar dan kesehatan (Porras-Salazar, Wyon, Piderit-Moreno, Contreras-Espinoza, & Wargocki, 2018; Singh, Ooka, & Rijal, 2018; Teli, James, & Jentsch, 2013).

Dalam penelitian Teli, Jentsch, and James (2012) disebutkan bahwa anak-anak yang berada di tingkat SD dan SMP memiliki sensitifitas yang tinggi terhadap termal antara 2°C - 4°C dibandingkan dengan orang dewasa. Penelitian yang dilakukan Porras-Salazar et al. (2018) terhadap sejumlah siswa SD bahkan menemukan bahwa pada suhu normal dengan kisaran 25°C siswa dapat lebih mudah aklimatisasi pada ruang dan dalam serangkaian waktu pengamatan terjadi tendensi meningkatnya prestasi siswa. Humpreys (1977) yang juga meneliti termal pada anak-anak SD menyatakan bahwa kenyamanan termal pada anak-anak menjadi hal yang sangat penting karena metabolismenya lebih tinggi dibandingkan orang dewasa, selain itu anak-anak juga memiliki kerentanan pada faktor kesehatan yang salah satunya dipengaruhi kondisi termal.

Di Indonesia, sejumlah penelitian yang berkaitan dengan kenyamanan termal di sekolah menyatakan bahwa siswa merasakan ketidaknyamanan secara termal. Jika dikaitkan dengan Termal Standard ASHRAE yang terdiri dari 7 skala termal (Cold, Cool, Slightly Cool, Neutral, Slightly Warm, Warm, Hot) maka sensasi termal rata-rata adalah antara slightly warm, warm, dan hot yang kemudian berujung pada suatu generalisasi bahwa secara umum kenyamanan termal di sekolah itu tidak benar-benar ada untuk iklim tropis saat ini (Gunawan & Ananda, 2017; Hamzah, Mulyadi, & Amin, 2016; Latif, Rahim, & Hamzah, 2016; Ridho, 2015; Susanti & Aulia, 2013; Tayeb, Rahim, & Baharuddin, 2016). Patokan standar termal yang digunakan dalam penelitian-penelitian tersebut, beragam yaitu SNI, Kementerian Kesehatan, ASHRAE-55, juga sejumlah penelitian terdahulu dengan kisaran suhu antara 24°C - 30°C (Karyono, 1986, 2016). Sementara itu determinan kenyamanan termal yang digunakan meliputi 4 variabel iklim : suhu, radiasi, kelembaban, dan kecepatan angin, dan 2 variabel personal : metabolisme dan pakaian. Sensasi termal diukur dengan menggunakan PMV (Predicted Mean Vote) dan PPD (Percentage Predicted of Dissatisfied)(Fanger, 1982).

Berdasar fakta tersebut, bagaimana sebenarnya permasalahan pembangunan fasilitas gedung sekolah di Indonesia jika dikaitkan dengan kenyamanan termal?. Mengacu pada regulasi yang ada yaitu Permendiknas Nomor 24 Tahun 2007 tentang Standard Sarana dan Prasarana Untuk SD/MI, SMP/MTs, dan SMA/MA memang tidak spesifik menyebut perihal persyaratan untuk menciptakan kenyamanan termal di sekolah. Di dalam peraturan tersebut hanya disebutkan mengenai ketentuan bahwa bangunan gedung memenuhi persyaratan kenyamanan dari getaran dan kebisingan yang mengganggu kegiatan pembelajaran; setiap ruangan memiliki temperatur dan kelembaban yang tidak melebihi kondisi di luar ruangan dan setiap ruangan dilengkapi dengan lampu penerangan. Dengan demikian, dapat dipastikan bahwa mayoritas sekolah yang ada di Indonesia memang masih bergantung pada ventilasi alami, walaupun sejumlah sekolah di perkotaan sudah menggunakan intervensi mekanis pendingin ruangan untuk mengkondisikan termal ruang.

Tulisan ini berupaya untuk membahas bagaimana implikasi dari ketidaknyamanan termal pada bangunan sekolah khususnya di Indonesia

yang merupakan daerah tropis, dapat diantisipasi dengan baik, sehingga menciptakan bangunan sekolah yang lebih baik dari segi kenyamanan termal. Pendekatan penyelesaian masalah adalah dengan strategi pengendalian termal dan implikasinya pada desain bangunan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam tulisan ini adalah pengkajian literatur (literature review). Metode ini adalah salah satu metode riset ilmiah yang oleh Snyder (2019) disebut sebagai metoda yang lebih canggih dan cepat dalam memberikan kontribusi teoritik dan praktis dari penelitian yang telah ada. Ada tiga model pendekatan yaitu systematic, semi-systematic, dan integrative. Pendekatan sistematis dianggap yang paling relevan dalam penelitian ini. Dalam definisi Snyder (2019) pendekatan ini diperuntukkan untuk tipologi penelitian kuantitatif yang disertai dengan dampak bukti (evidence of effect). Sementara itu, pada dua pendekatan lain yang diutamakan adalah pada dasar teori (state of knowledge), sejarah penelitian, kritik, dan pada umumnya digunakan pada tipe penelitian kualitatif.

Data yang digunakan adalah hasil-hasil penelitian termal di lingkungan sekolah yang ada di Indonesia dan di luar Indonesia yang memiliki kesamaan iklim dengan Indonesia yaitu negara-negara tropis. Batasan sekolah dalam hal ini adalah SD, SMP, SMU dengan pertimbangan intensitas pengguna berada di dalam ruang kelas tinggi, adanya faktor penggunaan saragam khusus, sensitifitas pengaruh termal yang lebih tinggi pada anak-anak, dan kondisi eksisting mayoritas bangunan sekolah di Indonesia yang masih menggunakan penghawaan alami daripada intervensi mekanis dalam pengkondisian termal ruang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Standar Kenyamanan Termal di Indonesia

Indonesia merupakan bagian dari zona tropis yang menurut Karyono (2016) memiliki iklim dengan temperatur udara tinggi karena radiasi matahari jatuh di permukaan hampir tegak lurus pada siang hari sepanjang tahun. Tingginya radiasi berakibat pada tingginya penguapan yang memicu meningkatnya kelembaban sekaligus suhu rata-rata antara 20°C-30°C bahkan pada waktu-waktu tertentu dapat mencapai lebih dari 36°C seperti sering terjadi di beberapa kota di Indonesia saat ini (<https://www.bmkg.go.id/>, 2020).

Penelitian termal yang pernah dilakukan di Indonesia berkaitan dengan kenyamanan termal cukup beragam, Karyono, Sri, Sulistiawan, and Triswanti (2015) dan Sugini (2012) mengatakan bahwa standar internasional ASHRAE-55 atau ISO-7730 (sebesar 24°C dan kelembaban 60%) tidak relevan diterapkan untuk patokan kenyamanan termal di Indonesia yang memiliki suhu lebih tinggi. ASHRAE maupun ISO adalah standar kenyamanan termal yang banyak digunakan di Amerika Serikat. Di Indonesia standar kenyamanan termal banyak mengacu pada SNI 6390-2011 atau ketentuan dari Kementerian Kesehatan NO.261/MENKES/SK/II/1998 yang mengaproksimasi

standard ASHRAE/ISO dengan menambahkan $\pm 2^{\circ}\text{C}$ untuk suhu (sehingga menjadi $\pm 26^{\circ}\text{C}$) dan menambahkan $\pm 5^{\circ}\text{C}$ untuk kelembaban (sehingga menjadi $\pm 65^{\circ}\text{C}$) (Karyono, 2016).

Dalam perkembangannya, standar kenyamanan termal ini kemudian terus bergeser di mana kenyamanan termal tidak serta merta hanya ditentukan dari rentang suhu dalam bentuk angka dan satuan termal melainkan melibatkan faktor-faktor dinamis yang berkaitan dengan suhu lingkungan sekitar dan juga aktifitas/metabolisme, pakaian, dan psikis atau dikenal dengan teori adaptasi termal (Auliciems, 1981; Fanger, 1982; Humphreys & Nicol, 2002; Nicol & Humphreys, 2002).

Penelitian Termal Pada Bangunan Sekolah di Indonesia

Masih minimnya penelitian termal pada bangunan sekolah di Indonesia menjadi salah satu kendala dalam mengkaji secara mendalam penyelesaian permasalahan menciptakan kenyamanan termal yang efektif pada bangunan sekolah. Sejumlah penelitian termal di Indonesia secara umum menyatakan bahwa sekolah-sekolah yang ada tidak memberikan kenyamanan termal dalam ruang. Dari 13 hasil penelitian yang ditemukan pada sejumlah jurnal semua menyatakan bahwa ruang kelas tidak nyaman. Hal yang khas dalam penelitian termal di wilayah tropis adalah bahwa siswa selaku pengguna ruang ternyata memiliki toleransi yang tinggi terhadap kondisi termal yang ada. Rata-rata suhu pada jam efektif belajar berkisar antara 27°C - 33°C bahkan ada yang mencapai 35°C pada siang hari. Kelembaban bervariasi antara 60 – 80%, kecepatan angin 0-0.1m/s masih dapat ditoleransi walaupun secara umum siswa menyatakan sensasi panas khususnya pada siang hari.

Pada umumnya siswa pada sekolah-sekolah di Indonesia sudah terbiasa dengan suhu tinggi sehari-harinya, melebihi suhu optimal yang berkisar antara 26°C (Humphreys & Nicol, 2002; Humphreys, 1977; Teli, Jentsch, & James, 2014) sebagaimana juga ketetapan standar termal SNI atau Kementerian Kesehatan. Kondisi demikian sebenarnya cukup lazim terjadi pada daerah beriklim tropis. Sejumlah penelitian yang sama tentang termal di sekolah di negara lain yang memiliki iklim tropis juga menghasilkan persepsi termal yang sama dengan kondisi di Indonesia (Emir, 2016; Kamaruzzaman & Tazilan, 2013; Porrás-Salazar et al., 2018; Rajkumar, Amirtham, & Horrison, 2015; Wong & Khoo, 2003).

Ketidaknyaman termal yang lazim digunakan dalam penelitian dewasa ini adalah termal adaptif (*thermo adaptif*) yaitu kondisi kenyamanan termal yang dipengaruhi oleh termal individual dan termal eksternal (Nicol & Humphreys, 2002). Atas dasar ini sangat bisa dipahami mengapa manusia yang berada di wilayah iklim tropis cenderung memiliki toleransi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan manusia yang biasa hidup di iklim yang lebih rendah (sub tropis). Demikian halnya manusia yang terbiasa hidup dengan suhu sub tropis akan lebih mudah metolerir suhu yang lebih rendah dibandingkan suhu yang lebih tinggi.

Untuk lebih mendalami bagaimana kenyamanan termal di bangunan sekolah berikut ini adalah tinjauan pada sejumlah penelitian termal pada

bangunan sekolah yang ditemukan di Indonesia:

Tabel 1. Studi Terdahulu Yang Membahas Kenyamanan Termal di Bangunan Sekolah di Indonesia

No	Peneliti	Objek & Lokasi Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
1	Razak, Gandarum, and Juwana (2015)	SMP di Jakarta Selatan	Suhu cenderung tinggi : Suhu rata-rata Pada Jam 08.00 = 29,46°C Suhu rata-rata Pada Jam 10.00 = 37,25°C Suhu rata-rata Pada Jam 13.00 = 36,82°C Suhu rerata : 29,5°C - 36,8°C	Temperatur cenderung tinggi, Kenyamanan termal hanya terjadi di pagi hari. Disarankan untuk memperlebar dimensi jendela untuk pengkondisian termal lebih baik
2	Susanti and Aulia (2013)	11 SMU N di Kota Padang Sumatera Barat	Suhu rata-rata ruang berkisar antara 27 °C - 30°C, kelembaban 68%-80% dan kecepatan angin 0 m/s. PMV +1 (agak hangat) - +2 (hangat) dan PPD lebih dari 20% Suhu rerata: 27°C - 30°C	Kenyamanan termal tidak di dapatkan siswa Disarankan pendekatan mekanis (AC) dan desain pasif dengan iklim mikro dan mengubah warna cat dinding dengan warna terang
3	Gunawan and Ananda (2017)	13 SMU di Kecamatan Mandau, Bengkalis, Riau	Sebagian besar SMU di Bengkalis tidak nyaman secara termal. Dari 13 sampel hanya 1 sekolah saja yang memnuhi syarat nyaman secara termal dengan suhu 25,9°C - 27,6°C Suhu rerata : 27°C - 30°C	Tidak didapatkan kenyamanan termal pada tiap sekolah. Kecuali 1 karena berada di lingkungan yang sejuk dan terdapat pepohonan di sekitar.
4	Oktavia, Arisanty, and Adyatma (2016)	SMU Banjarmasin Utara, Banjarmasin Kalimantan Selatan	PMV pada rentang 0.5 - 2.57 dan PPD 6% - 95% Suhu cenderung meningkatkan dari pagi hingga siang, terjadi kelembaban tinggi dalam ruang pada siang hari Sensasi Termal : Agak Panas - Panas	Kenyamanan termal ruang hanya di waktu pagi selebihnya ruang menjadi tidak nyaman
5	Aienna, Adyatma, and Arisanty (2016)	SMU Banjarmasin Timur, Kalimantan Selatan	Nilai PMV pada tiap ruang kelas berkisar antara 0.01 -3.29 dan nilai PPD berkisar antara 5% - 100% Sensasi termal kondisi nyaman dirasakan pada	Kenyamanan termal ruang hanya di waktu pagi selebihnya ruang menjadi tidak nyaman

No	Peneliti	Objek & Lokasi Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
			jam pelajaran ke 1-4 dan mulai tidak nyaman pada jam pelajaran ke 5-6 Sensasi Termal : Agak Panas - Panas	
6	Ridho (2015)	SMK N 2 Pengasih, Kulon Progo, D.I Yogyakarta	Dalam keadaan jendela terbuka ruang nyaman hanya pukul 07.00 dengan indeks PMV 0,18, sedangkan pukul 08.00 - 14.00 indeks PMV agak panas dan panas Dalam keadaan tertutup ruang nyaman hanya pukul 07.00 dengan indeks PMV 0,48, sedangkan pukul 08.00 - 14.00 indeks PMV agak panas dan panas Sensasi Termal : Agak Panas - Panas	Kenyamanan termal ruang hanya di waktu pagi selebihnya ruang menjadi tidak nyaman Untuk mengkondisikan ruangan agar lebih nyaman dapat digunakan kipas angin untuk meningkatkan pergerakan udara.
7	Latif et al. (2016)	SD Inpres Tamalanrea, Makassar, Sulawesi Selatan	Pada jam 08.00-10.50 WITA temperatur tertinggi 32,52°C, kelembaban relatif 60-76%. Hasil survei kenyamanan pengguna menunjukkan bahwa sebagian responden tetap merasa nyaman. Suhu rerata : 29.0°C - 32,5°C	Ruang cenderung panas Toleransi kenyamanan termal tinggi, siswa sudah terbiasa dengan kondisi suhu tinggi
8	Hamzah et al. (2016)	SD Todopulli, Kota Makassar, Sulawesi Selatan	Temperatur berkisar 30,30°C-33,5°C. Siswa yang merasa tidak nyaman, dan berharap adanya penurunan temperature (67.9%). Ekspektasi lain siswa juga menginginkan adanya peningkatan kecepatan aliran udara di dalam ruang kelas. Suhu rerata : 30.3°C - 33,5°C	Tidak ada kenyamanan termal. Guna mengurangi beban panas, disarankan untuk tidak menggunakan rompi selama di ruang kelas.
9	Tayeb et al. (2016)	SD N Sudirman Makassar Sulawesi Selatan	Suhu tertinggi jam 10.30 sebesar 29,82 °C sampai dengan jam 11.00 sebesar 29,88 °C. Suhu terendah dari jam 08.31 sebesar 29,36°C sampai dengan jam 09.00	Dengan nilai PMV +2,0 dan +2,2 nilai menunjukkan bahwa ruangan memberikan sensasi sedikit panas

No	Peneliti	Objek & Lokasi Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
			sebesar 29.10 °C. Suhu rerata : 29.4°C - 29,9°C	
10	Yunita, Hamzah, and Mulyadi (2018)	SMP N di Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan	Temperatur berada diatas batas kenyamanan yang dipersyaratkan (MENKES 26°C) kelembaban di dataran rendah >60%. Sensasi Termal : Agak Panas - Panas	Berdasarkan voting responden di daerah pesisir dan pegunungan merasa nyaman, sedangkan di dataran rendah hanya merasa sedikit tidak nyaman. Siswa dapat mentoleransi termal yang tinggi
11	Hamzah, Mulyadi, and Amin (2017)	6 SD di Kota Makassar, Sulawesi Selatan	Suhu berada pada 28.33°C pada jam 08.00 pagi dan mencapai 34.29°C pada jam 2.20 siang. Kelembaban 53%-89% dengan rata-rata 68%. Kecepatan angin 0 m/s. Suhu rerata : 28.3°C - 34,3°C	Siswa dapat mentoleransi termal ruang (28%), sedangkan yang merasakan panas (43%) tetapi secara umum (86%) bisa menerima suhu yang ada. Ada 72% yang berharap untuk mendapat suhu yang lebih rendah.
12	Rachmad and Amin (2017)	SD Musi, Palembang, Sumatera Selatan	Sekolah berada di lingkungan permukiman yang padat, sehingga aliran angin terhambat. Kelembaban tinggi (80%) dan suhu juga tinggi (35°C) Suhu rerata : 32°C - 35°C	Tidak ada kenyamanan termal. Saran : redesain bangunan dan membuka beberapa bangunan sekitar untuk meningkatkan penghawaan
13	Rahmawati (2013)	SMU N 5 Bandung, Jawa Barat	Ruang nyaman optimal pada pukul 07.00, dengan suhu 23,7°C - 25°C. Pada pukul 10.00 hangat nyaman, dengan rata-rata suhu 26,2°C - 27 °C. Pada pukul 13.00, setiap ruangan tidak nyaman dengan rata-rata suhu 28,9°C - 30,2°C. Suhu rerata : 25°C - 30,2°C	Kenyamanan termal ruang hanya di waktu pagi selebihnya ruang menjadi tidak nyaman

Berdasarkan pada tabel di atas dapat dijelaskan bahwa tidak semua penelitian dilakukan secara komprehensif, ada yang melakukan pengukuran

tetapi ada yang hanya menggunakan thermal sensation vote. Oleh karena itu, generalisasi yang dapat diambil berdasarkan rentang suhu dan sensasi termal yang dirasakan bahwa bangunan sekolah memang tidak di kondisikan secara khusus untuk kenyamanan termal. Hampir seluruh bangunan sekolah untuk SD, SMP, SMU pada penelitian tersebut merasa tidak nyaman secara termal.

Penelitian Termal Pada Bangunan Sekolah di Luar Indonesia

Sebelum sampai pada penyelesaian terkait dengan pengkondisian termal pada bangunan sekolah dan untuk dapat secara objektif menilai bahwa secara umum bangunan sekolah di wilayah tropis (tidak hanya di Indonesia) tidak nyaman, ada baiknya juga melihat sejumlah penelitian yang dilakukan di negara lain yang memiliki iklim sama dengan Indonesia (Tabel 2).

Tabel 2. Studi Terdahulu Yang Membahas Kenyamanan Termal di Bangunan Sekolah di Daerah Iklim Tropis di Luar Indonesia

No	Peneliti	Objek & Lokasi Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
1	Wong and Khoo (2003)	Ruang Kelas SMU di Singapura	Temperatur rata-rata pada 27,1°C – 29.3°C suhu ini jauh di atas standar kenyamanan termal ASHRAE Dari sensasi termal, siswa di dalam kelas jauh lebih senang dengan suasana kelas yang dingin dibandingkan dengan kondisi panas Sebagian besar responden mengeluhkan tentang radiasi dari jendela yang dibuat tanpa koridor Suhu rerata : 27,1°C - 29.3°C	Temperatur cenderung tinggi, Kenyamanan termal kurang bisa diterima Saran : Pemakaian shading untuk mengurangi panas, orientasi bukaan sesuai dengan arah mata angin (Utara-Selatan)
2	Kamaruzzaman and Tazilan (2013)	Ruang Kelas di Selangor, Malaysia	Sensasi termal yang dirasakan adalah panas (level 7 pada skala ASHRAE) Regresi liner antara PMV dan suhu udara yang dapat diterima berkisar pada 26.5°C Suhu rerata : > 26,5°C	Sensasi termal yang dirasakan adalah panas dan Kenyamanan termal kurang bisa diterima Suhu melebihi 26.5 °C
3	Gupta et al. (2016)	Ruang Kelas di India	Temperatur ruang antara 26 °C - 36 °C	Kenyamanan ruang hanya dirasakan pada jam tertentu dan ruang tertentu
4	Emir (2016)	Ruang kelas SD di	Suhu ruang kelas berada pada rentang	Temperatur cenderung tinggi,

No	Peneliti	Objek & Lokasi Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
		Antalya, Turki	antara 27.5 °C - 29 °C, PPD 41,9% Suhu ini jika dikaitkan dengan standar termal ASHRAE adalah panas dan 40.5% responden tidak bisa menerima kondisi termal ini Suhu rerata : 27,5°C - 29°C	Kenyamanan termal kurang bisa diterima Saran : kaca film, kaca dengan <i>sun proof</i>
5	Porras-Salazar et al. (2018)	Ruang kelas di Costa Rica, Amerika Tengah	Suhu ruang kelas berada pada rentang antara 26 °C - 32 °C Suhu ini jika dikaitkan dengan standar termal ASHRAE adalah panas Suhu rerata : 26°C - 32°C	Temperatur cenderung tinggi, Kenyamanan termal kurang
6	Le, Gillott, and Rodrigues (2017)	Ruang Kelas SD di Ho Chi Min, Vietnam	Suhu ruang rata-rata pada musim panas 29°C dengan kelembaban relatif 73,6%. Pada musim terpanas suhu 31.8°C dengan kelembaban relatif 68.4%. Suhu rerata : 29°C - 31,8°C	Temperatur cenderung tinggi, Kenyamanan termal kurang bisa diterima. Tetapi pada dasarnya responden mampu mentoleransi termal yang tinggi
7	Appah and Koranteng (2012)	Ruang kelas SMP di Accra Ghana	Suhu pada lantai bawah bangunan lebih dingin 2°C dibandingkan dengan kondisi lantai atas. Rerata suhu antara 29.4°C - 32.3°C dengan kelembaban antara 60.8%-74,2%. Termal standard yang digunakan antara 26°C - 28 °C dan kelembaban relative 30%-70% (ASHRAE). Suhu rerata : 29,4°C - 32.3°C	Temperatur cenderung tinggi, Kenyamanan termal kurang bisa diterima. Tetapi pada dasarnya responden mampu mentoleransi termal yang tinggi antara 1°C - 5°C dari termal standar

Hasil penelitian pada sejumlah sekolah di negara lain yang memiliki karakteristik iklim yang sama dengan Indonesia yaitu iklim tropis juga memperlihatkan kondisi yang hampir sama, yaitu ketidaknyamanan termal di dalam ruang kelas. Sebagaimana juga terjadi di Indonesia, responden memiliki toleransi yang tinggi terhadap kondisi termal harian yang rata-rata di atas ambang suhu optimal ruang.

Jika dicermati baik pada Tabel 1 maupun Tabel 2 di atas dengan melihat

rerata suhu, dengan menggunakan standar termal Kementerian Kesehatan RI sebesar 26°C maka tingkat toleransi termal anak-anak sekolah di Indonesia berkisar antara 1°C – 9°C, sedangkan jika menggunakan standar ASHRAE sebesar 24°C maka toleransi termal baik di Indonesia maupun di luar Indonesia berkisar antara 2°C - 12°C. Kondisi ini adalah toleransi termal yang sangat tinggi atau bahkan tidak wajar.

Strategi Pengkondisian Termal

Menurut Karyono (2016) setiap penurunan 1°C suhu di dalam ruangan akan berdampak pada penghematan konsumsi energi dan operasional hingga 10%. Hal ini tentu menjadi hal yang menarik berkaitan dengan perancangan sebuah bangunan yang semestinya juga harus memperhatikan kenyamanan termal bagi penghuninya. Sebagaimana juga telah diteliti oleh Auliciems (1972) bahwa termal dalam ruang kelas berdampak pada kualitas belajar, sehingga perlu dilakukan pengkondisian termal bangunan sekolah. Pengendalian termal yang dapat dilakukan diantaranya meliputi *thermal insulation* dilakukan untuk membatasi keluar masuk panas, *air conditioning* untuk pendinginan, *heating* untuk pemanasan dan *dehumidification* untuk menurunkan kelembaban udara (Idham, 2016).

Insulasi termal pada bangunan untuk iklim panas digunakan untuk membatasi agar panas dari luar tidak mudah masuk ke dalam ruang dengan memberikan insulasi material yang mampu menahan perpindahan panas baik secara konveksi, induksi maupun radiasi. Insulasi dinding dengan bahan kayu atau batu, batu bata. Insulasi atap misalnya menggunakan pelapis *aluminium foil*. Berkaitan dengan pergerakan udara selain desain konstruksi atap juga dapat menggunakan bantuan kipas angin, dan ventilasi silang. Perpaduan yang baik dari insulasi termal dan pergerakan udara ini akan meningkatkan kenyamanan termal ruang.

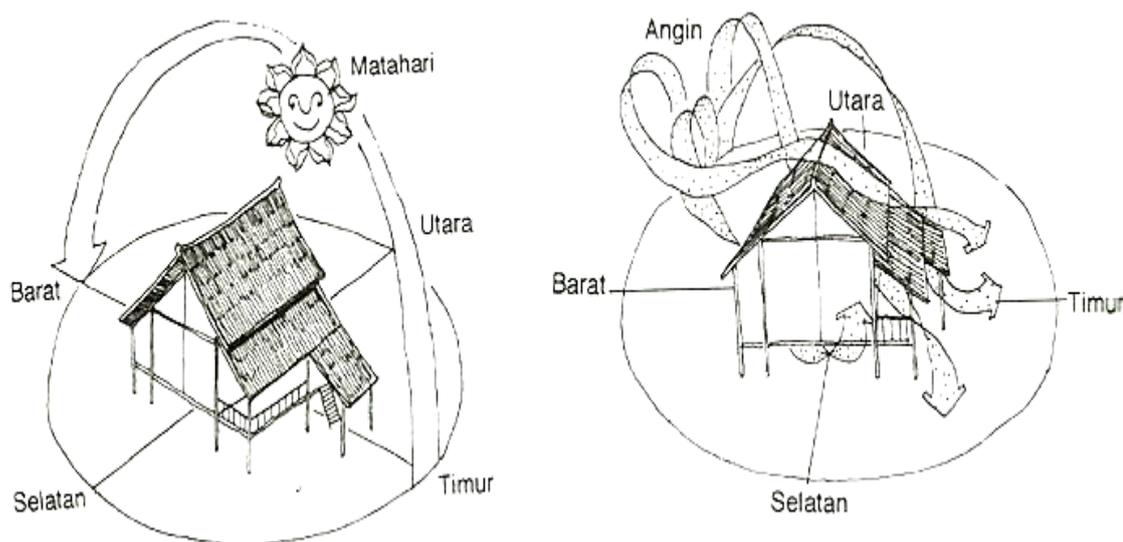
Cara praktis yang kemudian populer adalah dengan menggunakan pengendalian aktif dengan memanfaatkan 1) teknologi ventilasi aktif seperti exhaust fan, blower, 2) kipas angin dengan berbagai tipe, 3) AC dengan berbagai variasinya, 4) alat dehumifier, dan 5) referigeran yang semuanya berdampak pada pemborosan dan ancaman kelestarian lingkungan. Cara-cara ini tidak disarankan khususnya untuk bangunan sekolah yang memang sebagian besar masih menggunakan penghawaan alami.

Metode pengendalian atau pengkondisian termal secara pasif merupakan cara yang diharapkan mampu mendukung keberlanjutan lingkungan. Cara inilah yang banyak direkomendasikan oleh para ahli (Brager & Dear, 2000; Dear & Brager, 2002) dan para perencana bangunan terkait dengan cara menciptakan kenyamanan termal alamiah. Menurut Talarosha (2005) pengendalian pasif dapat dilakukan dengan mempertimbangkan orientasi bangunan terhadap matahari dan angin, pemanfaatan elemen arsitektur, lansekap bangunan, serta penggunaan material bangunan dengan menyesuaikan karakter iklim.

1) Orientasi bangunan

Orientasi bangunan dikaitkan dengan orientasi terhadap matahari dan

arah angin. Dalam kaitan dengan orientasi matahari semakin luas bidang yang menerima radiasi matahari secara langsung semakin besar juga panas yang diterima bangunan. Dalam kaitan dengan orientasi bangunan terhadap arah angin pada daerah beriklim tropis di mana kecepatan angin umumnya rendah, posisi bangunan yang melintang terhadap angin primer akan sangat membantu dalam pendinginan suhu ruang. Bukaannya jendela yang dapat menimbulkan ventilasi silang juga akan membantu dalam menurunkan suhu dan kelembaban.



Gambar 1. Orientasi bangunan Terhadap Sinar Matahari dan Arah Angin

Sumber : Disalin dari (Frick, 1997)

2) Pemanfaatan Elemen Arsitektur dan lansekap bangunan

Elemen arsitektur untuk mereduksi panas adalah selubung bangunan dalam konteks tentang penelitian bangunan sekolah adalah sirip-sirip (*fins*), *secondary skin*, atau *solar shading devices* lainnya yang dapat mengurangi tembusnya cahaya matahari ke dalam ruangan dan meredam perpindahan panas. Teritis atap yang lebar. Di Indonesia desain bangunan sekolah dapat dikatakan hampir seragam khususnya sekolah yang dibangun oleh pemerintah, sehingga dalam rencana pengkondisian termal perlu diperhitungkan bagaimana matahari tidak langsung masuk pada bangunan sekolah.

Adapun elemen lansekap adalah penanam pepohonan dan vegetasi yang juga berfungsi untuk meredam radiasi matahari. Vegetasi juga dapat menurunkan suhu di sekitarnya.



Gambar 2. Ilustrasi Shading dan Lanscaping Untuk Menunjang Kenyamanan Termal Bangunan Sekolah

Sumber : Desa Mahkota School / Eleena Jamil Architect
(https://www.archdaily.com/470704/desa-mahkota-school-eleena-jamil-architect?ad_medium=gallery)

3) Penggunaan material bangunan sesuai dengan iklim tropis

Penggunaan bahan/material bangunan ini terutama adalah pada elemen-elemen yang memfasilitasi perpindahan kalor melalui konduksi atau radiasi. Misalnya menggunakan kaca maka harus dipilih kaca yang mampu meredam radiasi matahari (*high shading coefficient*) seperti kaca reflektif, Genteng keramik, dan pemilihan warna cat yang lebih terang misalnya putih.

Pada sekolah yang dibangun lebih dari 1 lantai, secara umum merasakan ruang yang lebih panas pada lantai atas, sehingga bangunan pada lantai atas dapat disiasati dengan bahan dan desain yang mendukung insulasi termal. Menurut {Idham, 2016 #202} ada beberapa cara *natural ventilatif cooling* seperti *stack ventilation* yaitu dengan cara mengalurkan udara dingin dari luar ruangan masuk ke dalam ruang dan *night flushing* yaitu mengalirkan udara dingin pada malam hari masuk ke ruangan.



Gambar 3. Ilustrasi Stack Ventilation (Kiri) dan Night Flushing Ventilation (Kanan)

Sumber : <http://www.2030palette.org/stack-ventilation/>; <http://www.2030palette.org/night-vent-cooling/>

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada sejumlah pengakajian literature di atas mengenai kenyamanan termal pada bangunan sekolah dapat disimpulkan bahwa bangunan sekolah pada daerah beriklim tropis secara umum tidak nyaman dan bangunan sekolah tidak di desain secara khusus untuk memperoleh kenyamanan termal. Kenyamanan termal sekolah yang besar kemungkinan berdampak terhadap kinerja belajar dan kualitas belajar mengajar serta kesehatan anak-anak belum menjadi fokus perhatian para perencana bangunan sekolah dan otoritas terkait. Bangunan sekolah lebih banyak difokuskan pada asas pemenuhan kebutuhan fungsional saja.

Rata-rata anak sekolah pada daerah beriklim tropis memiliki toleransi yang tinggi terhadap termal. Mampu beradaptasi pada suhu yang panas melebihi ambang kenyamanan termal standar bahkan toleransinya diperkirakan mencapai 1°C hingga 12°C. Kenyamanan termal sangat diperlukan pada bangunan sekolah, mengingat sebagian besar siswa menyatakan sensasi panas dan tetap mengharapkan suhu dapat sedikit diturunkan.

Untuk mendukung pengkondisian termal bangunan sekolah strategi pengendalian termal dapat dilakukan diantaranya pada orientasi bangunan terhadap matahari dan arah angin, pemanfaatan elemen arsitektur seperti secondary skin/shading, penataan lansekap dengan tanaman pelindung, pemilihan material dan desain bangunan yang dapat membantu pengkondisian termal ruangan.

DAFTAR RUJUKAN

- Aienna, Adyatma, S., & Arisanty, D. (2016). Kenyamanan Termal Ruang Kelas di Sekolah Tingkat SMA Banjarmasin Timur. *Jurnal Pendidikan Geografi (JPG)*, 3(3), 1-12.
- Appah, D. J., & Koranteng, C. (2012). A Thermal Comfort Evaluation Of A Junior High School Building In Accra, Ghana. *Journal of Construction Project Management and Innovation (JCPMI)*, 2(2), 403 - 423.
- Auliciems, A. (1972). Classroom Performance as a Function of Thermal Comfort. *Int. J. Biometeor*, 16(3), 233-246
- Auliciems, A. (1981). Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception. *Int. J. Biometeor*, 15(2), 109-122.
- Brager, G. S., & Dear, R. d. (2000). A Standard for Natural Ventilation. *ASHRAE Journal*.
- Dear, R. J. d., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34, 549-561. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1)
- Emir, S. (2016). The Evaluation of Thermal Comfort on Primary Schools in Hot-Humid Climates: A Case Study for Antalya. *European Journal of Sustainable Development*, 5(1), 53-62. doi:10.14207/ejsd.2016.v5n1p53
- Fanger, P. O. (1982). *Thermal Comfort* Malabar, Florida: Robert E. Krieger Publishing Company

- Frick, H. (1997). *Pola struktural dan teknik bangunan di Indonesia : suatu pendekatan arsitektur Indonesia melalui pattern language secara konstruktif dengan contoh arsitektur Jawa Tengah*. Yogyakarta: Kanisius.
- Gunawan, & Ananda, F. (2017). Aspek Kenyamanan Termal Ruang Belajar Gedung Sekolah Menengah Umum Di Wilayah Kecamatan Mandau. *JURNAL INOVTEKPOLBENG*, 7(2).
- Gupta, G., Buddi, D., Kumar, S., Singh, H. k., Ansari, A., & Sharma, V. (2016). Thermal comfort assessment for naturally ventilated classrooms during summer in composite climate of Jaipur. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 4 (12).
- Hamzah, B., Mulyadi, R., & Amin, S. (2016). *Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kelas Sekolah Dasar di Kota Makassar Studi Kasus SD Unggulan Toddopuli*. Paper presented at the Temu Ilmiah IPLBI 2016.
- Hamzah, B., Mulyadi, R., & Amin, S. (2017). *Thermal Comfort Analyses of Elementary School Students in the Tropical Region*. Paper presented at the Back to the Future: The Next 50 Years, (51st International Conference of the Architectural Science Association (ANZAScA))
- Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (2002). The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments *Energy and Buildings*, 34, 667±684 doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00018-X)
- Humphreys, M. A. (1977). A Study of the Thermal Comfort of Primary School Children in Summer. *Building and Environment*, 12, 231-239
- Idham, N. C. (2016). *Arsitektur dan Kenyamanan Termal* Yogyakarta: Penerbit Andi
- Kamaruzzaman, K., & Tazilan, A. S. B. M. (2013). *Thermal Comfort Assessment of a Classroom in Tropical Climate Conditions*. Recent Advances in Energy, Environment and Development.
- Karyono, T. H. (1986). *Arsitektur, Kenyamanan Termal dan Energi*. Paper presented at the Kuliah Terbuka Jurusan Arsitektur, Universitas Soegrijapranata, Semarang, 9 Nopember 1996, Semarang.
- Karyono, T. H. (2016). *Arsitektur Tropis Bentuk Teknologi Kenyamanan dan Penggunaan Energi*. Jakarta: Erlangga.
- Karyono, T. H., Sri, E., Sulistiawan, J. G., & Triswanti, Y. (2015). Thermal Comfort Studies in Naturally Ventilated Buildings in Jakarta, Indonesia. *Buildings*, 5, 917-932. doi:10.3390/buildings5030917
- Latif, S., Rahim, R., & Hamzah, B. (2016). *Analisis Kenyamanan Termal Siswadi Dalam Ruang Kelas (Studi Kasus Sd Inpres Tamalanrea IV Makassar)*. Paper presented at the Simposium Nasional RAPI XV-2016 FT UMS, Solo Surakarta.
- Le, T. H. V., Gillott, M., & Rodrigues, L. (2017). *Children thermal comfort in primary schools in Ho Chi Minh City in Vietnam*. Paper presented at the PLEA 2017 Edinburg Design to Thrive.

- Nicol, F., & Humphreys, M. (2002). Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. *Energy and Buildings*. doi:10.1016/S0378-7788(02)00006-3
- Oktavia, R. A. A., Arisanty, D., & Adyatma, S. (2016). Kenyamanan Termal Ruang Kelas Sekolah Menengah Atas (SMA) Banjarmasin Utara. *Journal Pendidikan Geografi (JPG)*, 3(3). doi: <http://dx.doi.org/10.20527/jpg.v3i3.1500>
- Porras-Salazar, J. A., Wyon, D. P., Piderit-Moreno, B., Contreras-Espinoza, S., & Wargocki, P. (2018). Reducing classroom temperature in a tropical climate improved the thermal comfort and the performance of elementary school pupils. *Indoor Air*, 28(6), 892-904. doi:10.1111/ina.12501
- Priya, G., & Kaja, N. (2016). Significance of Air Movement for Thermal Comfort in Educational Buildings, Case Study of a Classroom. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3(3). doi:10.17148/IARJSET.2016.3321
- Rachmad, A., & Amin, Z. (2017). Studi Penghawaan Alami Pada Bangunan Sekolah Dasar Di Pinggiran Sungai Musi Palembang. *Jurnal Arsir Universitas Muhammadiyah Palembang*, 1(2).
- Rahmawati, E. (2013). *Kinerja Kenyamanan Termal Ruang Kelas Pada Bangunan Kolonial Hoogere Burger School (HBS) Bandung*. (Bachelor), Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Rajkumar, S., Amirtham, L. R., & Horrison, E. (2015). *Thermal Comfort assessment of a Studio Classroom in Hot & Humid Climate Conditions*. Paper presented at the ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment.
- Razak, H., Gandarum, D. N., & Juwana, J. S. (2015). Pengaruh Karakteristik Ventilasi Dan Lingkungan Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Ruang Kelas Smpn Di Jakarta Selatan. *AGORA, Jurnal Arsitektur*, 15(2).
- Ridho, M. R. (2015). *Kajian Kenyamanan Termal Ruang Gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih*. (Bachelor), Universitas Negeri Yogyakarta Yogyakarta.
- Singh, M. K., Ooka, R., & Rijal, H. B. (2018). *Thermal comfort in Classrooms: A critical review*. Paper presented at the 10th Windsor Conference Rethinking Comfort , 12th-15th April 2018, Cumberland Lodge, Windsor, UK.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sugini. (2012). The Index Of PMV Tap Reformulation Of Thermal Comfort Index Model Base On Thermo-Adaptive-Psychological Paradigm. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 12(6).
- Susanti, L., & Aulia, N. (2013). Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri Di Kota Padang. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 12(1), 310-316.

- Talarosha, B. (2005). Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 6(6).
- Tayeb, M., Rahim, R., & Baharuddin. (2016). *Pengaruh Luasan Bukaannya Terhadap Kenyamanan Termal Ruang Kelas Siswa Pada Bangunan Sd Negeri Sudirman 1 Kota Makassar*. Paper presented at the Simposium Nasional RAPI XV– 2016 FT UMS
- Teli, D., James, P. A. B., & Jentsch, M. F. (2013). Thermal comfort in naturally ventilated primary school classrooms. *Building Research & Information*, 41 (3), 301–316. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2013.773493>
- 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. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.022>
- Teli, D., Jentsch, M. F., & James, P. A. B. (2014). The role of a building's thermal properties on pupils' thermal comfort in junior school classrooms as determined in field studies *Building and Environment*. doi:10.1016/j.buildenv.2014.10.005
- Wong, N. H., & Khoo, S. S. (2003). Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and Buildings*, 35, 337–351.
- Yunita, A., Hamzah, B., & Mulyadi, R. (2018). Kenyamanan Termal Sekolah Menengah Pertama Negeri di Wilayah Pesisir, Dataran Rendah dan Pegunungan di Kabupaten Pangkajene Kepulauan. *Jurnal JPE UNHAS*, 22(2). doi:10.25042/jpe.112018.03
<http://www.2030palette.org/stack-ventilation/>;
<http://www.2030palette.org/night-vent-cooling/>
- <https://www.bmkg.go.id/>, B. (2020). Tren Suhu. Retrieved from <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=tren-suhu>