



Penentuan Ambang Batas Kenyamanan Termal pada Anak Sekolah dan Wisatawan Domestik di Pulau Lombok

Determination of Thermal Comforts Threshold on Students and Domestic Tourists in Lombok Island

Rini Hidayati* dan Abytia Etika Banja

Departemen Geofisika dan Meteorologi, Gedung FMIPA, IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 May 2018

Received in revised from 8 October 2018

Accepted 12 November 2018

doi: 10.29244/j.agromet.32.2.71-80

Keywords:

Heat stress

Temperature-humidity index

Thermal index

Tropical environment

Wet-bulb global temperature

ABSTRACT

The research aims to identify the comfort level on Lombok island, and to determine the comfort threshold values based on various thermal indices for indoor and outdoor. We applied three different indices namely Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT), Temperature Humidity Index (THI), and Heat Stress Index (HSI). We observed climate variables including air temperature, relative humidity, wind speed, and black-globe temperature for periode February-March 2018. Then we correlated the indices against comfort and heat perceptions. Our results showed that altitude has influenced on the comfort index. Location on the higher altitude will have low index values, which were consistent for all indices. For the comfort threshold values, adaptation to local climate is the key to determine the values. The adapted people (students) will have a higher threshold value than those whom they were tourists. Our finding revealed that the threshold values for the indices were 28.5, 27.5, 92 for WBGT, THI, HSI, respectively. Based on our statistical analysis, we found that HSI was the best index to determine the comfort level in Lombok for the observed period, as the HSI has strong correlation with comfort and heat perceptions. Further, we recommend the wider used of HSI as the index uses more easily obtained climate variables.

PENDAHULUAN

Lombok merupakan pulau yang berada di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Keindahan alam dari pulau Lombok menjadi salah satu destinasi wisata yang banyak dikunjungi wisatawan domestik maupun mancanegara. Seiring dengan hal itu, terjadi peningkatan penduduk yang menetap di pulau Lombok. Untuk mendukung potensi wisata dan memenuhi kebutuhan tempat tinggal, penduduk pulau Lombok melakukan pembangunan infrastruktur. Alih fungsi lahan pertanian atau perkebunan menjadi gedung pertokoan atau hotel sangat sering terjadi.

Dampak dari pembangunan tersebut mengakibatkan peningkatan suhu udara di perkotaan atau fenomena *urban heat island* (UHI) (Gago et al., 2013; Stewart and Oke, 2012). Studi mengenai UHI semakin menarik seiring dengan perkembangan isu perubahan iklim (Emmanuel and Krüger, 2012; Fischer et al., 2012).

Perubahan kondisi suhu udara kawasan perkotaan dan wilayah sekitar, berpengaruh terhadap kondisi kenyamanan lingkungan baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan (Krüger et al., 2013; Qaid et al., 2016; Sailor, 2014).

Kondisi suhu udara yang nyaman bagi orang normal untuk beraktivitas pada wilayah tropis, terutama Indonesia, berkisar 24.1-27.7 °C (Damiati et al., 2016; Karyono et al., 2015). Sedangkan bagi orang yang mampu beraklimatisasi dengan kondisi iklim wilayah tropis, memiliki batas nilai kenyamanan suhu udara yang lebih tinggi dibandingkan dengan orang normal (Cândido et al., 2012). Kondisi suhu udara yang tinggi secara tidak langsung berdampak pada kesehatan manusia (Anderson et al., 2012; Lundgren et al., 2013), dan menurunkan tingkat kenyamanan yang berakibat pada penurunan produktivitas kerja (Zander et al., 2015).

* Corresponding author: rinihidayatigfm@gmail.com

Untuk menghitung tingkat kenyamanan suhu, terdapat beberapa jenis indeks termal yang telah dikembangkan, misal *temperature-humidity index* (THI) (Segnalini et al., 2013), *wet-bulb globe temperature* (WBGT) (Maia et al., 2015), *heat stress index* (HSI) (Bishop-Williams et al., 2015), *universal thermal climate index* (UTCI) (Park et al., 2014), dan *physiological equivalent temperature* (PET) (Chen and Ng, 2013). Masing-masing indeks termal memiliki rentang nilai yang berbeda berdasarkan kondisi iklim (suhu udara, kelembaban udara, dan radiasi matahari) pada lokasi tertentu. Beberapa penelitian telah mengemukakan batas kenyamanan termal untuk beberapa indeks. Misal untuk suatu wilayah yang beriklim subtropis, nilai batas kenyamanan berdasar indeks WBGT sebesar $<23^{\circ}\text{C}$ (Binkley et al., 2002), sedangkan batas kenyamanan berdasar HTI sebesar $<25^{\circ}\text{C}$ (Emmanuel, 2005), dan berdasar HSI sebesar $<84^{\circ}\text{F}$.

Informasi mengenai batas kenyamanan untuk wilayah tropis, terutama wilayah Indonesia, berdasarkan tiga indeks tersebut (WBGT, HTI, dan HSI) masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tingkat kenyamanan termal, dan menentukan nilai batas kenyamanan termal yang dirasakan oleh siswa dan wisatawan domestik di Pulau Lombok.

METODE PENELITIAN

Data dan Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan data lapang hasil pengukuran parameter cuaca dan hasil angket pada enam lokasi dengan ketinggian yang berbeda, meliputi dataran rendah (<400 mdpl), dataran sedang (400-800 mdpl), dan dataran tinggi (>800 mdpl). Masing-masing ketinggian lokasi, data lapang diambil pada dua lokasi berbeda, yaitu ruang kelas sekolah (mewakili kondisi indoor), dan lokasi objek wisata (mewakili kondisi outdoor) (Tabel 1). Instrumen yang digunakan dalam pengambilan data lapang terdiri dari: (1) termometer bola basah dan bola kering, (2) digital anemometer CW-70 untuk mengukur kecepatan angin dan kelembaban relatif, dan (3) alat ukur suhu bola hitam.

Tabel 1 Lokasi pengambilan data lapang.

Ketinggian Lokasi	Lokasi	
	Indoor	Outdoor
Rendah (<400 mdpl)	SMAN 1 Selong	Tanjung Aan
Sedang (400-800 mdpl)	MA Yastaqiem Pangadangan	Otak Kokoq Joben
Tinggi (>800 mdpl)	MA Nurul Huda NW Sembalun	Taman Wisata Pusuk Sembalun

Untuk kondisi indoor, pengukuran suhu udara dan kelembaban relatif dilakukan 2 kali sehari, yaitu pukul 08.00 WITA dan 12.00 WITA, selama lima hari berturut-turut di masing-masing sekolah. Pengisian kuisioner angket dilakukan oleh sekitar 31 siswa yang tergabung dalam satu kelas. Sedangkan untuk kondisi outdoor, pengukuran hanya dilakukan sekali dalam satu hari, selama lima hari berturut-turut untuk tiap lokasi wisata. Parameter yang diukur meliputi suhu bola kering, suhu bola basah, suhu bola hitam, dan kelembaban relatif. Pengisian kuisioner dilakukan oleh sekitar 21 wisatawan domestik yang tinggal diluar kawasan objek wisata dengan usia remaja.

Perhitungan Indeks Termal

Indeks termal yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi WBGT, HTI dan HSI. Untuk perhitungan nilai indeks WBGT dalam ruangan (indoor), digunakan Persamaan (1) yang diperoleh dari laman *website*: http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/.

$$\text{WBGT} = 0.567 \times T_a + 0.393 \times e + 3.94 \quad (1)$$

dimana WBGT adalah *wet-bulb globe temperature*, T_a *dry bulb temperature* ($^{\circ}\text{C}$), dan e tekanan uap air (hPa). Nilai e dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2).

$$e = \frac{\text{RH}}{100} \times 6.1078 \exp\left(\frac{17.239T_a}{273.3 + T_a}\right) \quad (2)$$

dimana RH kelembaban relatif (%). Nilai WBGT di luar ruangan dapat diukur menggunakan Persamaan (3) (Binkley et al., 2002).

$$\text{WBGT} = 0.7T_{wb} + 0.2T_{bg} + 0.1T_{db} \quad (3)$$

dimana T_{wb} suhu bola basah (*wet-bulb temperature*) ($^{\circ}\text{C}$), T_{bg} suhu bola hitam (*black-globe temperature*) ($^{\circ}\text{C}$), T_{db} suhu bola kering (*dry-bulb temperature*) ($^{\circ}\text{C}$). Sedangkan nilai THI dapat dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$\text{THI} = 0.8 T_a + \frac{\text{RH} \times T_a}{500} \quad (4)$$

dimana THI *temperature-humidity index*, T_a suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), RH kelembaban udara (%). Untuk menghitung nilai HSI dapat menggunakan persamaan polinomial yang dikembangkan oleh Rothfusz (1990) dan disajikan pada Persamaan (5). Satuan untuk suhu udara dalam perhitungan HSI adalah derajat Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).

Identifikasi Tingkat Kenyamanan

Selain menggunakan indeks termal, analisis tingkat ketidaknyamanan juga didukung dengan perhitungan persepsi kenyamanan dan persepsi panas dalam bentuk skor. Analisis kedua skor tersebut memanfaatkan data kuisioner mengenai persepsi kenyamanan dan rasa panas yang dialami oleh

responden. Skor ketidaknyamanan dihitung menggunakan Persamaan (6) dengan skor maksimum sebesar 1, yaitu jika semua responden menyatakan tidak nyaman, sedangkan skor minimum sebesar 0,2, yaitu jika semua responden menyatakan sangat nyaman.

$$HSI = -42.37 + 2.05T_a + 10.14RH - 0.22TRH - 6.84 \times 10^{-3} T_a^2 - 5.48 \times 10^{-2} RH^2 + 1.23 \times 10^{-3} T_a^2 RH + 8.53 \times 10^{-4} T_a RH^2 - 1.99 \times 10^{-6} T_a^2 RH^2 \tag{5}$$

$$\text{Skor ketidaknyamanan} = \frac{(\%sn \times 1 + \%n \times 2 + \%an \times 3 + \%tn \times 4 + \%stn \times 5)}{500} \tag{6}$$

$$\text{Skor panas} = \frac{(\%d \times 1 + \%ad \times 2 + \%s \times 3 + \%ap \times 4 + \%p \times 5)}{500} \tag{7}$$

dimana *sn* kategori sangat nyaman, *n* nyaman, *an* agak nyaman, *tn* tidak nyaman, *stn* sangat tidak nyaman, *d* dingin, *ad* agak dingin, *s* sedang/biasa saja, *ap* agak panas, dan *p* panas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

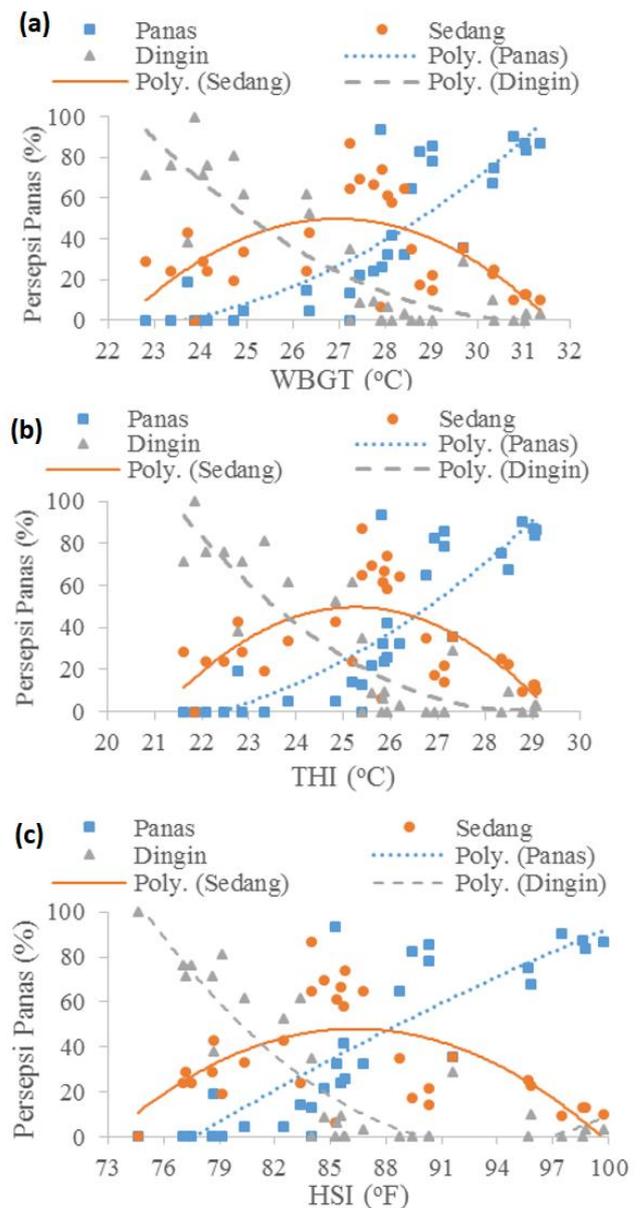
Hubungan Tingkat Kenyamanan dengan Indeks Termal untuk Kondisi Dalam Ruangan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, ketiga indeks memiliki rentang nilai yang berbeda-beda. Jika dilihat dari pola yang ada, ketiga indeks memiliki pola yang hampir sama terhadap tiga kategori persepsi panas (dingin, sedang, dan panas) (Gambar 1). Rentang nilai masing-masing indeks yang diperoleh selama periode pengamatan dalam ruangan kelas sekolah, antara lain WBGT sebesar 23-31, THI 22-29, dan HSI 75-100. Kategori panas memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan nilai indeks, artinya peningkatan nilai indeks akan berpengaruh terhadap peningkatan persentase kategori panas.

Pola dari persepsi panas terhadap nilai indeks memiliki bentuk garis polinom dengan perpotongan yang sama untuk tiap indeks termal. Dominasi persepsi panas merupakan nilai persentase persepsi panas yang berada di wilayah atas garis polinom. Dominasi persepsi tersebut dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan perpotongan garis polinom. Perpotongan antara garis polinom kategori dingin dengan kategori sedang, disebut titik batas kondisi dingin. Sedangkan perpotongan garis polinom kategori panas dengan kategori sedang disebut titik batas kondisi panas. Kondisi sedang merupakan rentang antara titik batas kondisi dingin sampai kondisi panas. Untuk WBGT, rentang nilai untuk kondisi dingin, sedang, dan panas secara berturut adalah <25.5, 25.5-28.5, dan >28.5. Untuk THI, rentang nilai untuk kondisi dingin, sedang, dan panas secara berturut adalah <24, 24-26.5, dan >26.5. Untuk HSI, rentang nilai untuk kondisi dingin, sedang, dan panas secara berturut adalah <81, 81-88, dan >88. Suhu yang melebihi ambang batas panas dapat menjadi ancaman bagi kondisi tubuh dan

Skor panas dihitung menggunakan Persamaan (7). Skor maksimum sebesar 1, yaitu jika semua responden menyatakan panas, dan skor minimum 0,2, jika semua responden menyatakan dingin.

menyebabkan ketidaknyamanan, karena kondisi yang panas merupakan beban bagi metabolisme tubuh.



Gambar 1 Hubungan polinomial antara persepsi panas dengan indeks termal: (a) WBGT, (b) THI, dan (c) HSI untuk kondisi dalam ruangan (*indoor*). Garis biru menunjukkan persepsi panas kategori panas, garis jingga-sedang, dan garis abu-dingin.

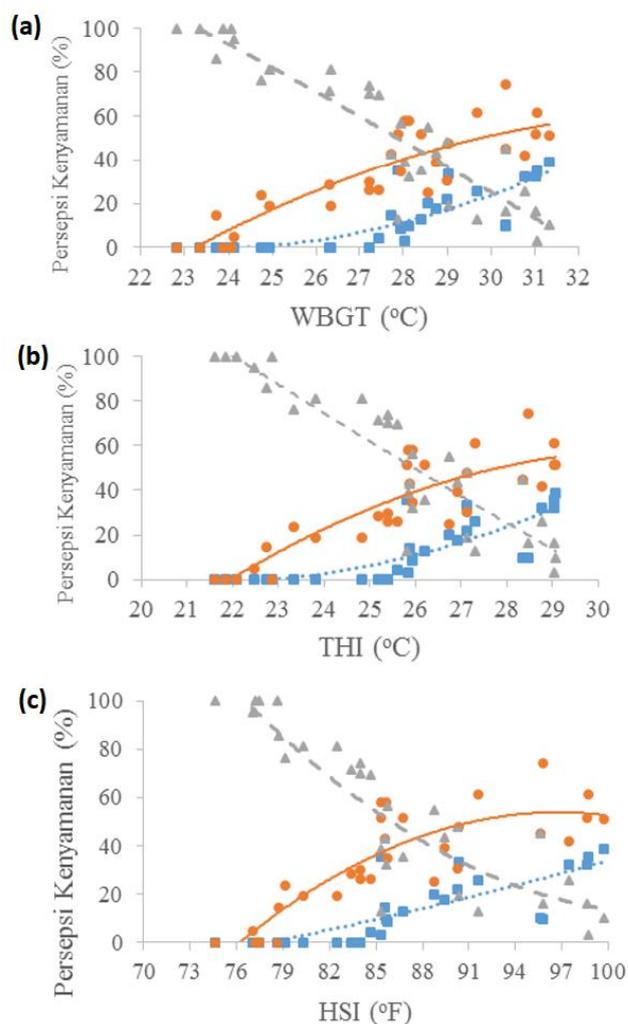
Apabila tubuh harus mengerjakan aktivitas-aktivitas fisik yang berat, kondisi lingkungan terlalu panas dapat mempengaruhi produktifitas, maupun kesehatan tubuh (Kjellstrom et al., 2016; Lundgren et al., 2013). Setiap individu manusia memiliki perbedaan sensitivitas dalam merespon kondisi lingkungan. Dalam aktivitas sehari-hari dengan kondisi lingkungan yang panas, tubuh akan mengekskresikan panas bersama dengan hasil metabolisme berupa keringat melalui pori-pori kulit. Suhu udara tinggi akan menurunkan kelembaban udara, sehingga kondisi lingkungan akan menjadi panas dan kering yang mengakibatkan penurunan tingkat kenyamanan tubuh dalam beraktivitas.

Kondisi panas di dalam ruang kelas mempengaruhi tingkat kenyamanan siswa dalam belajar. Terdapat tiga kategori persepsi kenyamanan yakni tidak nyaman, agak nyaman, dan nyaman. Berdasarkan grafik hubungan antara indeks termal dengan persentase persepsi kenyamanan yang dirasakan oleh siswa, ketiga indeks termal menghasilkan pola garis polinomial yang sama (Gambar 2). Berdasarkan perpotongan garis polinomial, persepsi kenyamanan dengan persentase tinggi dibagi dalam dua kategori, yaitu kategori nyaman dan kategori agak nyaman. Batas maksimum nilai indeks WBGT untuk kategori nyaman, yaitu 28.5, sedangkan untuk THI dan HSI secara berturut sebesar 26.5 dan 88. Kondisi lingkungan dengan nilai indeks lebih dari nilai batas tersebut, termasuk dalam kondisi agak nyaman. Berdasarkan pola pada grafik, dapat dikatakan bahwa pada kondisi tersebut belum ada yang menyatakan persepsi tidak nyaman, ditunjukkan dengan garis tren kategori tidak nyaman berada di bawah garis tren agak nyaman.

Kondisi suhu ruang dengan nilai indeks termal masuk dalam kategori panas dapat dikategorikan kondisi lingkungan mendekati tidak nyaman dan dapat mengganggu kesehatan secara tidak langsung. Standar kenyamanan untuk setiap ruang ditentukan oleh macam kegiatan yang dilakukan dalam ruang dan kondisi iklim setempat. Intensitas suhu yang tinggi dapat mengganggu kenyamanan seseorang bahkan kerja organ tubuh orang tersebut. Tubuh akan merasa gerah karena kulit basah oleh keringat, penurunan produktivitas bekerja, dan perasaan stres merupakan tanda-tanda ketidaknyamanan. Usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak dari tekanan suhu tersebut, yaitu memodifikasi bahan ruangan (Ramakrishnan et al., 2017), dan menambahkan kipas atau pendingin udara (Wargoocki and Wyon, 2013), sehingga suhu yang terasa akan menurun (Binkley et al., 2002).

Mengidentifikasi Kenyamanan di Luar Ruangan

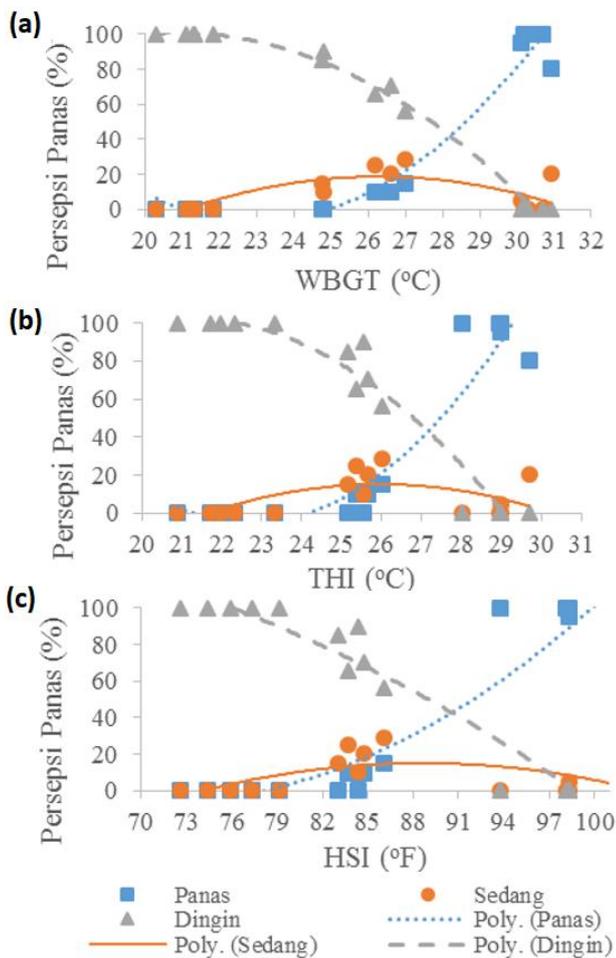
Kondisi kenyamanan bersifat subyektif karena setiap individu memiliki persepsi yang berbeda-beda dalam menginterpretasi apa yang dirasakan. Perasaan nyaman dapat dirasakan oleh seseorang secara psikologis, fisiologis, dan sosiologis. Kenyamanan psikologis merupakan perasaan nyaman yang menekankan subyektif, personal, dan pribadi. Kenyamanan fisiologis berkaitan dengan lingkungan alam sekitar, misalnya kondisi *termal*. Sedangkan kenyamanan sosiologis berkaitan dengan suasana hubungan dengan anggota keluarga, teman, dan masyarakat. Faktor-faktor yang mendukung kenyamanan dapat yaitu seperti suasana dan kesan, sirkulasi yang tercipta apakah telah memenuhi standar kenyamanan, elemen pendukung yang lengkap (Iswanto, 2006).



Gambar 2 Hubungan polinomial antara persepsi kenyamanan dengan indeks termal: (a) WBGT, (b) THI, dan (c) HSI untuk kondisi dalam ruangan (*indoor*). Garis biru menunjukkan persepsi kenyamanan kategori tidak nyaman, garis jingga-agak nyaman, dan garis abu-nyaman.

Hubungan Tingkat Kenyamanan dengan Indeks Termal untuk Kondisi Luar Ruangan

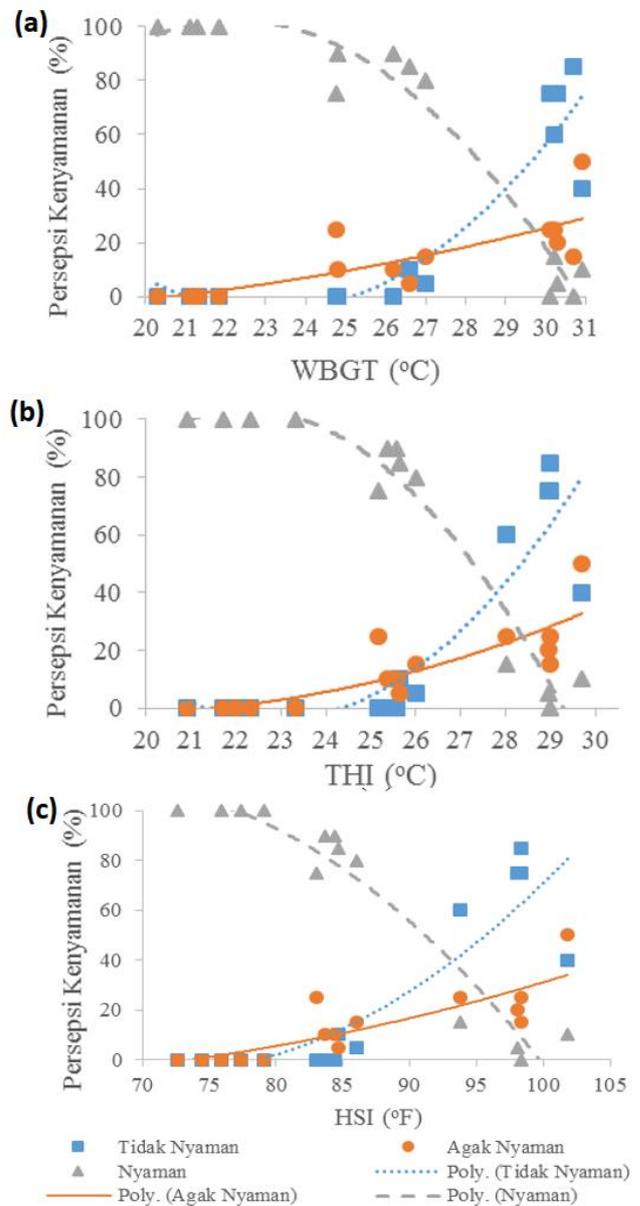
Pengamatan di luar ruangan dilakukan dengan menganalisis unsur iklim mikro seperti suhu bola kering, suhu bola basah, suhu bola hitam, dan kelembaban relatif. Hasil plot terhadap seluruh data menghasilkan tren grafik yang hampir sama pada ketiga indeks. Peningkatan nilai indeks akan berpengaruh terhadap peningkatan persentase kategori panas, dimana kategori panas berbanding lurus dengan nilai indeks. Rentang nilai masing-masing indeks yang diperoleh selama pengamatan di luar ruangan antara lain WBGT 20.3-30.9, THI 20.9-29.7, dan HSI 72.6-101.8.



Gambar 3 Hubungan polinomial antara persepsi panas dengan indeks termal: (a) WBGT, (b) THI, dan (c) HSI untuk kondisi luar ruangan (*outdoor*). Garis biru menunjukkan persepsi panas kategori panas, garis jingga-sedang, dan garis abu-dingin.

Hasil pengamatan di luar ruangan yakni tiga tempat wisata di ketinggian berbeda digabungkan menjadi satu untuk melihat tren dari masing-masing indeks. Grafik pada Gambar 3 menggambarkan persepsi wisatawan terhadap kondisi suhu lingkungan

yang diidentifikasi dari pengukuran. Kategori persepsi terdiri dari kategori panas, sedang, dan dingin. Perpotongan pada grafik merupakan tingkat cekaman panas di luar ruangan yang masih mampu diterima oleh wisatawan.



Gambar 4 Hubungan polinomial antara persepsi kenyamanan dengan indeks termal: (a) WBGT, (b) THI, dan (c) HSI untuk kondisi luar ruangan (*outdoor*). Garis biru menunjukkan persepsi kenyamanan kategori tidak nyaman, garis jingga-agak nyaman, dan garis abu-nyaman.

Berdasarkan titik perpotongan pada tiap grafik, batas ambang yang tergambar pada grafik hanya antara kategori panas dengan kategori dingin. Hal ini dikarenakan garis polinomial untuk kategori sedang hampir mendekati nol. Batas ambang untuk masing-masing indeks adalah 28.5 untuk WBGT, 27.5 untuk THI, dan 90 untuk HSI. Nilai indeks yang melebihi ambang

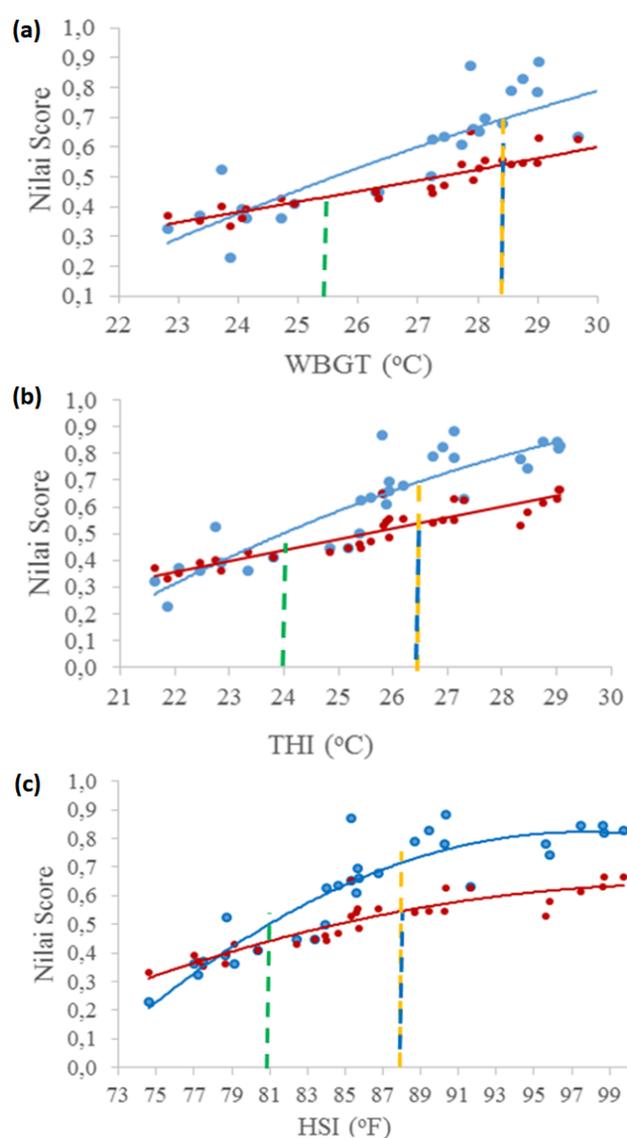
batas tersebut diduga mampu menimbulkan cekaman suhu bagi tubuh ketika berada di luar ruangan, sehingga menurunkan kenyamanan termal yang dirasakan oleh tubuh.

Kenyamanan adalah situasi dimana manusia mengekspresikan setuju dengan kondisi yang ada di lingkungan. Manusia yang menempati ruang luar, membutuhkan suasana nyaman agar dapat melakukan kegiatan secara produktif. Iklim mikro inilah yang berhubungan langsung dengan rasa nyaman bagi manusia. Berdasarkan pada Gambar 4, grafik tingkat kenyamanan wisatawan di luar ruangan (tempat wisata) terdapat titik perpotongan antara garis polinomial kategori nyaman dengan garis polinomial kategori tidak nyaman. Perpotongan tersebut menunjukkan ambang batas nyaman wisatawan domestik. Dengan kata lain, nilai WBGT >28.5, THI >27.5, serta HSI >92 termasuk dalam kategori tidak nyaman bagi wisatawan ketika berada di lingkungan luar.

Analisis Korelasi Skor Panas dan Skor Ketidaknyamanan

Analisis dilakukan untuk mengetahui seberapa besar hubungan nilai indeks WBGT, THI, dan HSI terhadap persepsi kenyamanan siswa. Keeratan hubungan antara satu variabel dengan variabel yang lain biasa disebut dengan koefisien korelasi yang ditandai dengan huruf 'r'. Dua variabel dikatakan berkorelasi apabila perubahan pada variabel yang satu akan diikuti perubahan pada variabel yang lain secara teratur dengan arah yang sama (korelasi positif) atau berlawanan (korelasi negatif). Nilai korelasi berkisar antara 1 sampai -1, nilai semakin mendekati 1 atau -1 berarti hubungan antara dua variabel semakin kuat. Sebaliknya, jika nilai mendekati 0 berarti hubungan antara dua variabel semakin lemah.

Nilai positif menunjukkan hubungan searah (X naik, maka Y naik) sementara nilai negatif menunjukkan hubungan terbalik (X naik, maka Y turun). Nilai p menunjukkan signifikansi hubungan dua variabel. Variabel dikatakan signifikan ketika nilai $p \leq 0.05$. Pola data yang diperoleh dari pengamatan menyebar bervariasi sehingga digunakan model regresi bentuk kuadrat (orde dua). Perubahan pada nilai indeks diikuti dengan perubahan pada nilai skor yang tidak tetap dalam wilayah yang ditentukan. Saat ini indeks yang paling sering digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan adalah THI. Dengan menggunakan analisis korelasi dari ketiga indeks yang digunakan dalam penelitian ini, kita dapat mengetahui indeks yang paling merepresentasikan tingkat kenyamanan manusia baik saat berada di dalam ruangan maupun di luar ruangan.



Gambar 5 Perbandingan skor panas terhadap indeks termal: (a) WBGT, (b) THI, dan (c) HIS pada kondisi dalam ruang. Garis polinomial biru mewakili skor panas, garis merah mewakili skor ketidaknyamanan. Garis hijau putus-putus menunjukkan batas kondisi dingin, dan garis kuning-biru putus-putus menunjukkan batas kondisi panas.

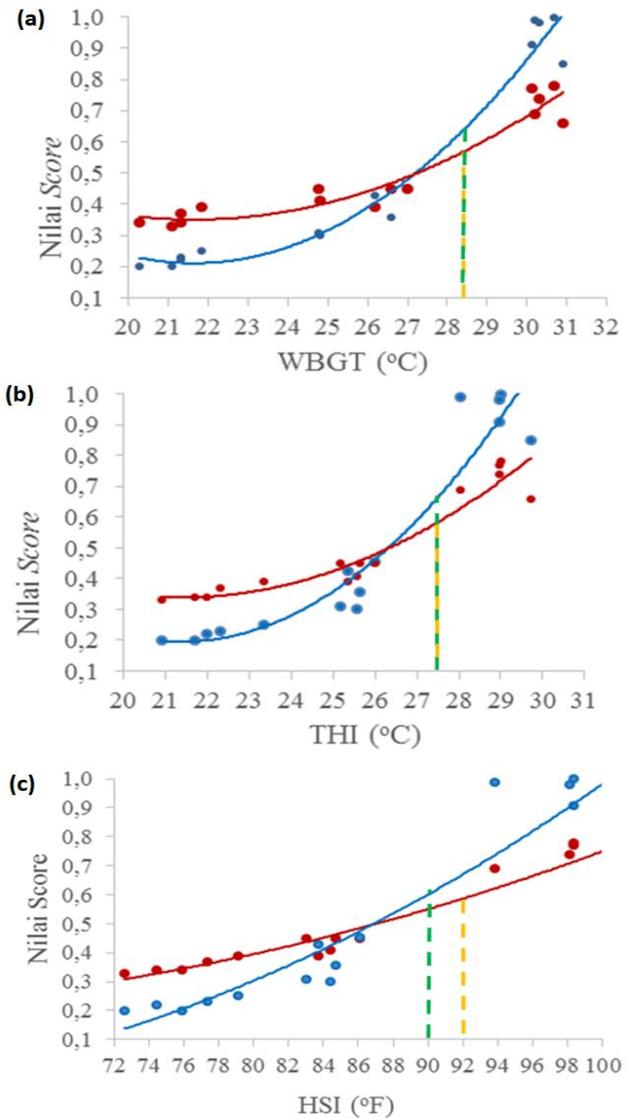
Hubungan skor panas dan skor ketidaknyamanan dengan WBGT, THI, dan HSI dalam ruangan disajikan pada Gambar 5. Garis vertikal putus-putus pada grafik menunjukkan ambang batas berdasarkan skor panas dan skor ketidaknyamanan. Ambang batas dingin pada masing-masing indeks ditunjukkan oleh garis putus-putus hijau, ambang batas sedang ditunjukkan oleh garis putus-putus kuning. Sementara ambang batas tidak nyaman ditunjukkan oleh garis putus-putus biru. Nilai korelasi dari masing-masing indeks dengan skor panas secara berurutan sebesar 0.89 untuk WBGT, 0.86 untuk THI, dan 0.92 untuk HSI dengan nilai p masing-masing $3.1E-11$ untuk WBGT, $3.2E-11$ untuk THI, dan $1.1E-09$ untuk HSI. Nilai korelasi masing-masing indeks dengan skor ketidaknyamanan

adalah 0.92 untuk WBGT, 0.91 untuk THI, dan 0.89 untuk HSI dengan nilai p masing-masing $9.9E-13$ untuk WBGT, $5.9E-12$ untuk THI, dan $7.3E-11$ untuk HSI.

Nilai korelasi (r) tersebut besar dan mendekati 1, serta nilai $p \leq 0.05$ yang mana menunjukkan hubungan yang nyata, ketika nilai indeks meningkat maka nilai dari skor akan meningkat. Berdasarkan tingkat korelasi, ketiga indeks memiliki nilai korelasi yang tinggi dengan nilai korelasi tertinggi adalah indeks HSI. Berdasarkan grafik hubungan antara skor ketidaknyamanan terhadap indeks termal (Gambar 6), nilai korelasi dari masing-masing indeks dengan skor panas secara berurutan adalah sebesar 0.9 untuk WBGT, 0.91 untuk THI, dan 0.94 untuk HSI dengan nilai p masing-masing $3.6E-07$ untuk WBGT, $2E-01$ untuk THI, dan $1.6E-09$ untuk HSI. Nilai korelasi masing-masing indeks dengan skor ketidaknyamanan adalah 0.92 untuk WBGT, 0.92 untuk THI, dan 0.95 untuk HSI dengan nilai p masing-masing $1.7E-06$ untuk WBGT, $1.6E-06$ untuk THI, dan $9E-08$ untuk HSI. Berdasarkan analisis nilai korelasi (r) dan nilai $p \leq 0.05$, hubungan antara skor panas dan skor ketidaknyamanan dengan WBGT, THI, dan HSI adalah nyata, yang mana ketika nilai indeks meningkat maka nilai dari skor akan meningkat. Nilai r yang diperoleh hampir sama besar, namun dari ketiga indeks tersebut HSI memiliki nilai r tertinggi. Oleh karena itu, menentukan tingkat nyaman di luar ruangan sudah mampu dijelaskan menggunakan indeks HSI, meskipun WBGT menggunakan suhu bola hitam namun dari analisis korelasi yang diperoleh tidaklah lebih baik.

WBGT diharapkan dapat menjelaskan radiasi namun nilai radiasi sudah dapat diwakili oleh suhu. Selain itu data yang dibutuhkan dalam menentukan indeks kenyamanan dengan menggunakan WBGT adalah data yang jarang tersedia. Kenyamanan terdiri dari dasar fisiologi suatu nyaman, rentang suhu yang nyaman, faktor klimatik dan kenyamanan. Suhu nyaman optimal antara $22.8 - 25.8^{\circ}\text{C}$. Dalam teori kenyamanan termal dinyatakan bahwa rasa panas atau dingin yang dirasakan oleh tubuh manusia sesungguhnya merupakan wujud respon dari sensor perasa yang terdapat pada kulit terhadap stimuli suhu yang ada di sekitarnya. Sensor perasa berperan menyampaikan informasi rangsangan rasa kepada otak di manan otak akan memberikan perintah kepada bagian-bagian tubuh tertentu agar melakukan antisipasi guna mempertahankan suhu tubuh agar tetap berada pada sekitar 37°C , dimana hal ini diperlukan agar organ dalam tubuh dapat menjalankan fungsinya secara baik. Tubuh manusia merubah energi kimia menjadi energi mekanis dan panas. Tubuh menggunakan panas ini untuk menjaga skor suhu tetap konstan dan mengurangi keluarnya panas yang

berlebihan pada lingkungan luar tubuh. Ketika suhu lingkungan tidak nyaman tubuh sendiri melakukan input dan mekanisme seperti mencari makanan yang banyak, berjemur, dan sebagainya. Namun ketika suhu lebih dari optimum nyaman kondisi lingkungan maka tubuh akan membuang kelebihan energi.



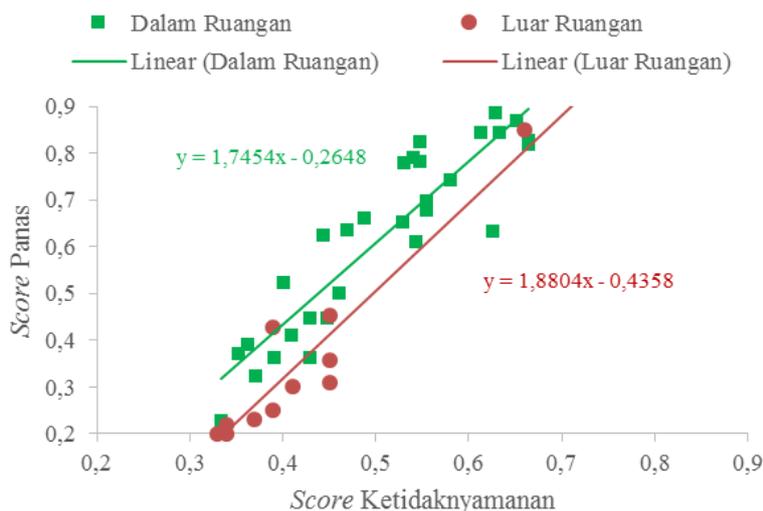
Gambar 6 Perbandingan skor ketidaknyamanan terhadap indeks termal: (a) WBGT, (b) THI, dan (c) HIS pada kondisi luar ruang. Garis polinomial biru mewakili skor panas, garis merah mewakili skor ketidaknyamanan. Garis hijau putus-putus menunjukkan batas kondisi dingin, dan garis kuning putus-putus menunjukkan batas kondisi panas.

Gambar 7 menjelaskan hubungan antara skor panas dan skor ketidaknyamanan yang diperoleh dari hasil persepsi responden baik dalam ruangan dan luar ruangan. Terlihat pada tren grafik nilai skor ketidaknyamanan meningkat seiring dengan peningkatan nilai skor panas. Hal ini menunjukkan semakin orang merasakan panas maka orang tersebut

semakin tidak nyaman berada di tempat tersebut. Nilai korelasi untuk masing-masih hubungan skor adalah 0.91 untuk di dalam ruangan dan 0.98 untuk di luar ruangan. Garis linear putus-putus merupakan garis tren normal yang seharusnya terjadi antara skor panas dan skor ketidaknyamanan.

Berdasarkan tren pada grafik, meskipun nilai korelasi tinggi namun skor panas tidak selalu identik dengan skor ketidaknyamanan. Sebagai contoh kasus

di dalam ruangan ketika skor panas bernilai 0.9 skor ketidaknyamanan masih berada pada nilai 0.6 yang artinya ketika wilayah tersebut berada pada kategori kelas panas, responden masih merasakan kondisi agak nyaman. Agak berbeda dengan kasus di luar ruangan dimana wisatawan domestik ketika skor panas berada pada nilai 0.6 skor ketidaknyamanan berada pada nilai 0.7 yang menunjukkan di luar ruangan responden lebih merasa tidak nyaman.



Gambar 7 Hubungan skor panas dan skor ketidaknyamanan

Analisis Kenyamanan Berdasarkan Ketinggian di Pulau Lombok

Tingkat kenyamanan orang berbeda-beda di setiap ketinggian. Kenyamanan dipengaruhi oleh kondisi suhu udara di wilayah tersebut. Dataran tinggi memiliki suhu yang lebih dingin sehingga terasa nyaman pada tubuh karena terdapat fenomena lapse rate pada lapisan troposfer, yaitu penurunan suhu akibat pertambahan tinggi suatu lokasi (Çalışkan et al., 2013). Peningkatan suhu tentu meningkatkan persepsi panas yang dirasakan, sehingga semakin panas kondisi wilayah maka orang merasa semakin tidak nyaman. Berdasarkan klasifikasi iklim Junghuhn, iklim tropis di Indonesia dibagi menjadi empat zona atau daerah yaitu zona iklim panas terletak pada ketinggian 0-600 mdpl dengan suhu udara 22-26.3 °C, zona iklim sedang terletak pada ketinggian antara 600-1500 mdpl dengan suhu udara 17.1-22 °C, zona iklim sejuk terletak pada ketinggian 1500-2500 mdpl dengan suhu udara 11.1-17.1°C, serta zona dingin terletak pada ketinggian di atas 2500 mdpl dengan suhu 6.2-11.1 °C.

Berdasarkan nilai masing-masing indeks baik WBGT, THI, dan HSI untuk wilayah dataran rendah nilai rata-rata indeks di dalam ruangan masing-masing adalah 29.7 untuk WBGT, 27.5 untuk THI, dan 92.5 untuk HSI, sedangkan nilai rata-rata indeks di luar ruangan adalah 30.4 untuk WBGT, 28.9 untuk THI, dan 98.1 untuk HSI. Nilai rata-rata indeks untuk wilayah

dataran sedang di dalam ruangan yakni 28.3 untuk WBGT, 26.4 untuk THI, dan 87.8 untuk HSI, sedangkan di luar ruangan yaitu 25.9 untuk WBGT, 25.5 THI, dan 84.4 untuk HSI. Wilayah dataran tinggi di dalam ruangan memiliki nilai rata-rata indeks 24.4 untuk WBGT, 23.1 untuk THI, dan 78.9 untuk HSI, sedangkan di luar ruangan yaitu 21.2 untuk WBGT, 22 untuk THI, dan 75.9 untuk HSI. Menurut Binkley et al. (2002) standar WBGT di negara beriklim sedang adalah <23, standar batas nyaman untuk THI adalah <25 (Emmanuel, 2005).

Berdasarkan standar nyaman untuk indeks HSI yang ditetapkan oleh NOAA (<84), wilayah dataran rendah dan dataran sedang di Lombok berada pada kondisi tidak nyaman, sedangkan wilayah dataran tinggi di Lombok berada pada kondisi nyaman. Namun berbeda dengan pendapat tersebut, tingkat kenyamanan yang diperoleh berdasarkan hasil pengamatan menyatakan semakin tinggi wilayah di Lombok, tingkat kenyamanan orang semakin tinggi. Berdasarkan nilai skor, untuk wilayah dataran rendah di Lombok berada pada kelas agak panas dengan kategori agak nyaman (dalam ruangan) dan berada pada kelas panas dengan kategori tidak nyaman (luar ruangan). Wilayah dataran sedang di Lombok berada pada kelas sedang dengan kategori agak nyaman (dalam ruangan) dan berada pada kelas agak dingin dengan kategori nyaman (luar ruangan). Wilayah dataran tinggi berada pada kelas

agak dingin dengan kategori nyaman (dalam ruangan) dan berada pada kelas dingin dengan kategori nyaman (luar ruangan).

KESIMPULAN

Nilai batas nyaman pada orang yang telah teradaptasi (anak sekolah) berada pada nilai indeks yang lebih tinggi dibandingkan dengan orang yang belum teradaptasi (wisatawan). Semakin tinggi tempat di Pulau Lombok, nilai indeks kenyamanan baik WBGT, THI, dan HSI menunjukkan nilai yang rendah serta skor ketidaknyamanan yang juga semakin rendah. Bagi anak sekolah nilai ambang batas nyaman di dalam ruangan dominan dinyatakan pada kondisi WBGT, THI dan HSI kurang dari 28.5 untuk WBGT, kurang dari 26.5 untuk THI, dan kurang dari 88 untuk HSI. Lebih dari nilai tersebut berada pada kondisi agak nyaman, dan belum didapatkan ambang batas pada kondisi nyaman. Di luar ruangan, bagi wisatawan domestik batas tidak nyaman adalah pada nilai WBGT lebih dari 28.5, THI lebih dari 27.5, dan HSI lebih dari 92. Ketiga indeks yang digunakan memiliki nilai korelasi yang hampir sama besar, namun indeks yang memiliki nilai tertinggi adalah HSI. Hal ini menunjukkan HSI cocok digunakan untuk menentukan tingkat kenyamanan di Lombok dimana unsur-unsur iklim yang digunakan dalam perhitungan HSI lebih mudah diperoleh di stasiun pengamatan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M., Carmichael, C., Murray, V., Dengel, A., Swainson, M., 2012. Defining indoor heat thresholds for health in the UK. *Perspect. Public Health* 133, 158–164. <https://doi.org/10.1177/1757913912453411>
- Binkley, H., Beckett, J., Casa, D., Kleiner, D., Plummer, P., 2002. National Athletic Trainers Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses. *J. Athl. Train.* 37, 329–343.
- Bishop-Williams, K.E., Berke, O., Pearl, D.L., Kelton, D.F., 2015. A spatial analysis of heat stress related emergency room visits in rural Southern Ontario during heat waves. *BMC Emerg. Med.* 15, 17. <https://doi.org/10.1186/s12873-015-0043-4>
- Çalışkan, O., Türkoğlu, N., Matzarakis, A., 2013. The effects of elevation on thermal bioclimatic conditions in Uludağ (Turkey). *Atmósfera* 26, 45–57. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71061-0](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71061-0)
- Cândido, C., de Dear, R., Ohba, M., 2012. Effects of artificially induced heat acclimatization on subjects' thermal and air movement preferences. *Build. Environ.* 49, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.032>
- Chen, L., Ng, E., 2013. Simulation of the effect of downtown greenery on thermal comfort in subtropical climate using PET index: a case study in Hong Kong. *Archit. Sci. Rev.* 56, 297–305. <https://doi.org/10.1080/00038628.2012.684871>
- Damiati, S.A., Zaki, S.A., Rijal, H.B., Wonorahardjo, S., 2016. Field study on adaptive thermal comfort in office buildings in Malaysia, Indonesia, Singapore, and Japan during hot and humid season. *Build. Environ.* 109, 208–223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.024>
- Emmanuel, R., 2005. Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Build. Environ.* 40, 1591–1601. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.12.004>
- Emmanuel, R., Krüger, E., 2012. Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. *Build. Environ.* 53, 137–149. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.020>
- Fischer, E.M., Oleson, K.W., Lawrence, D.M., 2012. Contrasting urban and rural heat stress responses to climate change. *Geophys. Res. Lett.* 39. <https://doi.org/10.1029/2011GL050576>
- Gago, E.J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., Ordóñez, J., 2013. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 25, 749–758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Iswanto, D., 2006. Pengaruh Elemen-Elemen Pelengkap jalur Pedestrian terhadap Kenyamanan Pejalan Kaki (studi kasus: Penggal Jalan Pandanaran, dimulai dari Jalan Randusari hingga kawasan Tugu Muda). *J. Ilm. Peranc. Kota Dan Permukiman*, 5, 21–29.
- Karyono, H.T., Sri, E., Sulistiawan, G.J., Triswanti, Y., 2015. Thermal Comfort Studies in Naturally Ventilated Buildings in Jakarta, Indonesia. *Buildings* 5. <https://doi.org/10.3390/buildings5030917>
- Kjellstrom, T., Briggs, D., Freyberg, C., Lemke, B., Otto, M., Hyatt, O., 2016. Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts. *Annu. Rev. Public Health* 37, 97–112. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032315-021740>
- Krüger, E., Drach, P., Emmanuel, R., Corbella, O., 2013. Urban heat island and differences in outdoor comfort levels in Glasgow, UK. *Theor. Appl. Climatol.* 112, 127–141. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0724-9>

- Lundgren, K., Kuklane, K., Gao, C., Holmer, I., 2013. Effects of Heat Stress on Working Populations when Facing Climate Change. *Ind. Health* 51, 3–15. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0089>
- Maia, P.A., Ruas, Á.C., Bitencourt, D.P., 2015. Wet-bulb globe temperature index estimation using meteorological data from São Paulo State, Brazil. *Int. J. Biometeorol.* 59, 1395–1403. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0949-7>
- Park, S., Tuller, S.E., Jo, M., 2014. Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments. *Landsc. Urban Plan.* 125, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.014>
- Qaid, A., Bin Lamit, H., Ossen, D.R., Raja Shahminan, R.N., 2016. Urban heat island and thermal comfort conditions at micro-climate scale in a tropical planned city. *Energy Build.* 133, 577–595. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.006>
- Ramakrishnan, S., Wang, X., Sanjayan, J., Wilson, J., 2017. Thermal performance of buildings integrated with phase change materials to reduce heat stress risks during extreme heatwave events. *Appl. Energy* 194, 410–421. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.084>
- Rothfus, L.P., 1990. The Heat Index “Equation” (Or, More than You Ever Wanted to Know about Heat Index). *West. Reg. Tech. Attach.*, 90-24.
- Sailor, D.J., 2014. Risks of summertime extreme thermal conditions in buildings as a result of climate change and exacerbation of urban heat islands. *Build. Environ.* 78, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.012>
- Segnalini, M., Bernabucci, U., Vitali, A., Nardone, A., Lacetera, N., 2013. Temperature humidity index scenarios in the Mediterranean basin. *Int. J. Biometeorol.* 57, 451–458. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0571-5>
- Stewart, I.D., Oke, T.R., 2012. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93, 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Wargocki, P., Wyon, D.P., 2013. Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Build. Environ.* 59, 581–589. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>
- Zander, K.K., Botzen, W.J.W., Oppermann, E., Kjellstrom, T., Garnett, S.T., 2015. Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. *Nat. Clim. Change* 5, 647.