

PERUMUSAN PERSEPSI KENYAMANAN TERMIS PEJALAN KAKI DI IKLIM TROPIS LEMBAB DAN MEMBANDINGKAN DENGAN RUMUS UNTUK IKLIM LAINNYA

Development of Equation on Perception of Thermal Comfort for Pedestrian in Humid Tropical Climate and Comparing with Equations for Other Climates

Sangkertadi¹ dan Reny Syafriny²

¹ Program Studi S2 Arsitektur

² Jurusan Arsitektur, Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fak. Teknik
Universitas Sam Ratulangi
E-mail: t_sangkertadi@yahoo.com

ABSTRACT

This article is about development a regression equation to determine the perception of thermal comfort for pedestrians in the humid tropical climate. Methods used was field studies and questionnaires to 60 samples as respondents in Manado. Each of the respondents was asked to act as pedestrian but walked on a treadmill for 2 minutes 5 five times. They regrouped into two parts, one who walked under open-sky and another group was under the shade of trees. Measurements of climate variables include air temperature, air humidity, radiation temperature, land surface temperature and solar radiation. Measurements to the respondents were their height, weight and skin temperature. By using statistical approach it is obtained a regression equation "Y = - 6.1369 + 0.479 Adu + 0.1143 Ta + 0.0376 Trm + 0.2541 RH + 1.6793 clo". The equation was then validated by comparison with other equations of non-tropical humid climate case. It is found that the empirical regression equations of outdoor thermal comfort developed by means of field studies in a certain climatic conditions could not be applied for a wide range of climate.

Keywords: urban planning, open-space, pedestrian, thermal comfort, tropical humid

ABSTRAK

Tulisan ini memaparkan pengembangan persamaan regresi untuk menentukan persepsi kenyamanan termal bagi pejalan kaki di iklim tropis lembab. Metode yang digunakan adalah studi lapangan dan kuesioner kepada 60 sampel sebagai responden, dengan lokasi di Kota Manado. Mereka diminta bertindak sebagai pejalan kaki dan berjalan di atas treadmill masing-masing selama 5 x 2 menit. Responden dikelompokkan menjadi dua bagian, satu yang beraktifitas di bawah langit terbuka dan kelompok lain berada di bawah naungan pohon. Pengukuran variabel iklim meliputi suhu udara, kelembaban udara, suhu radiasi, suhu permukaan tanah dan radiasi matahari. Pendataan responden meliputi tinggi, berat dan suhu kulit mereka. Dengan pendekatan statistik diperoleh persamaan regresi "Y = - 6,1369 + 0,479 + 0,1143 Adu Ta + 0,0376 + 0,2541 TRM RH + 1,6793 Clo". Persamaan ini kemudian divalidasi melalui perbandingan dengan persamaan lain untuk non-iklim tropis lembab. Ditemukan bahwa persamaan empiris persepsi termal luar ruang ternyata tidak dapat diterapkan untuk berbagai macam iklim, tetapi digunakan hanya untuk iklim tertentu sesuai batasan.

Kata kunci: perencanaan kota, lahan terbuka, pedestrian, suhu nyaman, kelembaban tropis

PENDAHULUAN

Ruang luar (*public openspace/ pedestrian/ playground*) selain merupakan suatu prasarana publik bagi lingkungan pemukiman, adalah juga merupakan area bersosialisasi dan berkomunikasi bagi berbagai kelompok komunitas. Agar aktifitas berlangsung dengan baik, maka ruang luar membutuhkan kondisi nyaman secara fisis untuk mendukung keberhasilan bersosialisasi tersebut. Pada umumnya manusia tidak bersikap individualistis atau egois, pada saat berada di ruang publik terbuka dimana dia memerlukan kehangatan hubungan sosial secara naluriah. Tidak nyamannya situasi fisis ruang luar akan menyebabkan terganggunya keinginan naluriah manusia tersebut yang berdampak pada tidak lancarnya hubungan sosial yang diharapkan. Apabila keinginan ini terganggu maka akibatnya manusia akan terganggu secara psikologis dan terjadi perubahan sikap karena adanya kemauan alamiah yang tidak terpenuhi. Salah satu aspek fisis nyaman di ruang-luar dalam konteks ini menyangkut kenyamanan termis yang juga menjadi fokus utama dari tulisan ini.

Apabila manusia merasa kepanasan atau sebaliknya merasa kedinginan di ruang luar, maka akan menyebabkan hubungan sosial (berkomunikasi, bermain bersama, berdagang) yang tidak nyaman diantara mereka. Karena itu pentingnya kondisi nyaman secara termis di ruang luar sangat diperlukan dalam rangka mendukung untuk memelihara sifat dasar sosial manusia.

Dalam pandangan yang lebih teknis, kebutuhan akan kenyamanan termis di ruang luar, mulai diperbincangkan, sejak terasa adanya gangguan akibat peningkatan suhu udara di wilayah perkotaan. Peningkatan suhu tersebut merupakan dampak dari pemanasan global maupun akibat kegiatan manusia penduduk

perkotaan sebagai efek urbanisasi dan tingginya angka kepadatan (manusia dan bangunan). Sekarang ini ditengarai sudah lebih dari 50% penduduk dunia hidup di perkotaan dengan kepadatan yang lebih besar dibandingkan di pedesaan, yang semestinya diantisipasi dalam rangka memberikan rasa nyaman bagi para penduduk agar hidup tenteram. Berbagai studi juga menunjukkan bahwa kota-kota di Indonesia juga semakin diperpadat dan diperluas akibat adanya urbanisasi di kawasan *peri-urban* diantaranya adalah studi oleh Andri K dan Bambang S E Prakoso (2008). Selain itu, kurangnya penghijauan akibat perluasan area perkerasan pada halaman, taman bermain bahkan pada taman kota khususnya di daerah beriklim panas, menyebabkan akumulasi refleksi panas matahari dan berakibat tingginya panas radiasi lingkungan kemudian menimbulkan rasa ketidaknyamanan termis bagi manusia selaku pemakai ruang. Keadaan ini merugikan, khususnya bagi yang melakukan aktifitas ekonomi, rekreasi, olahraga, maupun sosial di ruang luar. Keringat yang berlebihan akibat ketidaknyamanan di lingkungan beriklim tropis lembab akan berakibat pada kelelahan, yang selanjutnya dapat menurunkan kualitas serta produktifitas kegiatan manusia. Selain itu juga berarti menandakan kegagalan rancangan ruang luar yang semestinya ramah lingkungan. Disisi lain, di era pembangunan berwawasan hijau (*green development*), para pejalan kaki di ruang luar di perkotaan turut berperan penting dalam hal penghematan energy transportasi. Karena itu, aspek kenyamanan di ruang luar dari hari ke hari mendapat perhatian yang semakin baik. Sejauh ini studi menyangkut geografi iklim suatu kawasan kota yang dikaitkan dengan kualitas ruang luar, lebih banyak menekankan pada aspek kualitas kandungan unsur gas rumah kaca (CO_x, NO_x, dll), seperti yang pernah dilakukan oleh Ibnu Kadyarsi

(2008) mengenai pemetaan terhadap kualitas udara Kota Surakarta. Sementara itu, hal pemetaan kualitas kenyamanan termis ruang luar yang banyak disebabkan oleh kualitas "suhu" udara ruang luar, ternyata belum mendapat perhatian yang cukup intensif bagi kalangan geograf. Disinilah, melalui tulisan ini penulis ingin menunjukkan bahwa sebenarnya terdapat keterkaitan keilmuan antara bidang-bidang studi geografi dan arsitektur perkotaan atau arsitektur lansekap pada sisi lain, yang dalam hal ini menekankan perihal kenyamanan termis manusia di ruang luar. Pemetaan area nyaman termis di ruang luar didalam kota dengan menggunakan sistim informasi geografi, adalah salah satu contoh produk yang memadukan antara bidang ilmu geografi, landscape, perencanaan kota dan arsitektur.

Fanger (1970) mendefinisikan kenyamanan termis sebagai suatu kondisi atau rasa puas dari seseorang menghadapi lingkungan termisnya atau dengan kata lain adalah situasi dengan absennya rasa tidak nyaman. Upaya mengembangkan model perhitungan tentang kenyamanan termis manusia yang berada didalam ruang, telah dilakukan sejak puluhan tahun terakhir, yakni oleh Houghten & Yaglou (1923), Gagge (1938). Diteruskan kemudian diantaranya oleh Olgay (1973), Givoni (1969), Fanger (1970), Mc Intyre (1978), Gagge (1985), Berglund & Cunningham (1986), Berger & Deval (1985), Sangkertadi (1994), dll. Studi untuk menghasilkan model perhitungan skala kenyamanan termis pada umumnya didukung oleh experimentasi lapangan untuk menghasilkan persamaan kenyamanan dengan pendekatan empiris berdasarkan hasil kuesioner respon nyaman manusia yang dihadapkan pada kondisi iklim tertentu. Namun semua studi oleh para peneliti tersebut hanya dibatasi untuk kasus kebutuhan kenyamanan termis hanya

didalam ruang meskipun dengan kondisi iklim yang berbeda. ISO-7730 (2003) yang menetapkan standarisasi perhitungan kenyamanan termis lebih spesifik lagi, hanya dibatasi untuk kasus ruang dalam (interior) yang berada didaerah beriklim sedang. Persamaan dasar untuk mengkuantifikasi persepsi kenyamanan termis berasal dari hukum fisika perpindahan panas yang diterapkan pada kasus manusia terhadap lingkungan klimatik sekitarnya, serta dilakukan eksperimentasi terhadap respon fisiologis pada tubuh manusia. Selanjutnya diturunkan persamaan-persamaan yang mengubungkan antara rasa kenyamanan dengan dengan parameter tubuh (aktifitas, pakaian, ukuran) dan variabel iklim sekitarnya (temperatur, kelembaban, angin). Dalam proses eksperimentasi bisa dilakukan di ruang luar dan di ruang dalam, sehingga terdapat persamaan yang secara spesifik menggambarkan hubungan antara rasa nyaman dan variabel iklim di ruang dalam, serta terdapat pula persamaan yang menunjukkan hubungan antara tingkat kenyamanan dan situasi iklim di ruang luar.

Terdapat perbedaan mendasar mengenai metode perhitungan kenyamanan termis didalam dan diluar ruang, demikian pula perbedaan antara kasus bagi iklim tropis lembab dan tipe iklim lainnya. Di luar ruang terdapat penetrasi radiasi langsung matahari yang dapat mempengaruhi tingkat kenyamanan manusia secara signifikan. Sebaliknya didalam ruang, dimana suhu radiatif (yang berasal dari dinding-plafond-lantai) bernilai tidak jauh berbeda dibandingkan suhu udara, maka pengaruh suhu radiatif tersebut terhadap tingkat kenyamanan termis tidak terlalu kuat. Di ruang luar khususnya di iklim panas dimana suhu radiatif yang berasal dari radiasi sinar matahari (langsung maupun tidak langsung/terpantul) dapat terasa menyengat pada

permukaan kulit manusia sehingga logikanya dapat menyebabkan respon ketidaknyamanan yang cukup kuat. Namun demikian, kecepatan udara diruang luar pada umumnya lebih besar dibandingkan didalam ruang, sehingga bermakna dalam proses peningkatan rasa kenyamanan termis secara konvektif dan evaporatif (penguapan keringat oleh hembusan angin). Kebiasaan manusia keluar ruangan untuk mencari udara segar adalah contoh nyata dalam kasus ini. Manusia yang berjalan di ruang luar (jalur pejalan kaki), berpeluang menerima kecepatan relatif angin yang dapat menambah rasa nyaman melalui sentuhan pada permukaan kulit, khususnya di daerah beriklim tropis dan lembab. Rasa lelah akibat kegiatan berjalan kaki, dapat diimbangi dengan rasa nyaman oleh penetrasi angin segar menyentuh kulit manusia dan mendorong evaporasi keringat. Penelitian lapangan oleh Arens E dan Ballanti D (1977) juga menemukan adanya pengaruh kecepatan angin cukup signifikan terhadap rasa nyaman bagi manusia yang beraktifitas jalan di ruang luar.

Perbedaan persepsi iklim oleh manusia juga terjadi antara iklim tropis lembab dan jenis iklim lainnya. Iklim tropis lembab secara geografis berada disekitar garis tropis dan dicirikan oleh suhu udara sekitar 20 s/d sekitar 30 °C disertai radiasi matahari yang tinggi dan kelembaban udara yang bisa mencapai lebih dari 90%. Suasana dengan suhu udara tertentu yang sudah dirasakan panas atau agak panas apabila diterapkan di daerah beriklim sedang dan dingin, namun ternyata masih bisa ditoleransi sebagai rasa cukup nyaman apabila diterapkan di iklim tropis lembab. Terjadinya perbedaan persepsi tersebut dibuktikan melalui sejumlah studi lapangan maupun eksperimentasi ruang bioklimatik oleh Berger dan Deval (1985), Busch (1992), dan De Dear R J, Leow K G dan Ameen A

(1991). Studi lapangan oleh Busch (1992) di Thailand menghasilkan kesimpulan bahwa pada suhu 30 °C manusia masih dapat menerima sebagai rasa cukup nyaman, meskipun masih memerlukan bantuan hembusan angin. Sementara di daerah beriklim dingin, pada umumnya manusia baru merasa nyaman pada suhu sekitar 22 °C. Lin, T.P., dkk (2008) juga membuktikan adanya perbedaan persepsi antara situasi di iklim sedang (mediterania) dan sub tropis. Adapun yang dijadikan tolok ukur untuk menentukan rasa nyaman secara fisis adalah perubahan-perubahan yang terjadi pada karakteristik biologis seseorang, yakni sebuah tanggapan sensorial secara biologis terhadap keadaan atau lingkungan termis di sekitarnya.

Di lingkungan area studi mengenai kenyamanan termis telah jamak diketahui bahwa terdapat suatu skala bagi seseorang merasa nyaman atau tidak didalam suatu lingkungan termofisis. Skala tersebut dikenal sebagai pendekatan untuk mengukur atau menentukan seberapa nyaman termis bagi seseorang yang berada di suatu lingkungan klimatik. Skala yang dimaksud diantaranya adalah skala PMV dari ASHRAE (2009) dan Fanger (1970), atau skala DISC (Berglund & Cunningham 1986, Sangkertadi 1994). Akan tetapi untuk dapat menentukan angka tingkat kenyamanan termis tersebut, terlebih dahulu harus dilakukan perhitungan pertukaran kalor antara manusia dan lingkungan iklim sekitarnya, serta harus diketahui besaran-besaran termis atau parameter-parameter sebagai variabel input. Besaran-besaran variabel input meliputi kelompok besaran klimatologi seperti suhu udara, suhu radiasi, kelembaban udara dan kecepatan angin. Sedangkan variabel manusia meliputi ukuran tubuh, jenis aktifitas dan jenis pakaian yang dikenakan.

Diantara para peneliti kenyamanan termis ruang luar, ada yang mengusulkan berbagai

penamaan skala kenyamanan termis ruang luar, dimana setiap nama skala tersebut merupakan persamaan (regresi) dari fungsi variabel iklim diantaranya meliputi radiasi matahari, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan suhu radiatif, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1. Namun diantara para peneliti tersebut belum ada yang mengusulkan perumusan secara khusus untuk iklim tropis lembab. Tulisan ini membahas mengenai hasil penelitian kenyamanan termis di ruang luar bagi pejalan kaki berkecepatan normal/santai di iklim tropis lembab. Penelitian menghasilkan rumus regresi dan selanjutnya diadakan perbandingan dengan rumus lainnya untuk iklim yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Kota Manado (01.29 LU; 124.5 BT.), terdiri dari dua tahapan, pertama pembuatan rumus kenyamanan termis bagi pejalan kaki di iklim tropis lembab, kedua, perbandingan antara hasil rumus di tahap pertama dengan rumus lain yang dikembangkan oleh para ahli untuk iklim bukan tropis lembab. Metode yang diterapkan pada tahap pertama berupa studi lapangan melalui uji sampel dan pengukuran iklim mikro, yang hasilnya dikembangkan menjadi persamaan regresi. Lokasi studi lapangan di Kota Manado. Observasi lapangan di ruang luar dilakukan pada sebanyak 60 sampel pejalan kaki, terdiri dari 30 laki-laki dan 30 perempuan semuanya berusia dewasa, dalam keadaan sehat berpakaian tipe tropis ringan (~ 0.5 clo) dan tipe seragam kantor/sekolah (~ 0.7 clo). Para sampel diminta berjalan normal (santai) diatas treadmill selama 5 x 2 menit dengan kecepatan 2 s/d 2.5 km/jam. Ada beberapa sampel yang merasa seolah berjalan normal/santai dengan kecepatan 2 km/h (terdeteksi pada

layar *treadmill*), namun ada yang merasa jalan normal pada kecepatan 2.5 km/h. Terdapat perbedaan, karena para sampel memiliki ukuran langkah kaki yang berbeda. Dari 60 sampel tersebut, dibagi lagi ada yang berjalan dibawah terik matahari, sebanyak 40 orang, dan 20 orang lainnya berjalan dibawah naungan pepohonan. Pada saat yang bersamaan dilakukan pengukuran iklim meliputi suhu udara, suhu radiasi rata-rata, kelembaban udara dan kontrol kecepatan angin. Kecepatan angin diatur pada angka konstan 1 m/s yang menyentuh tubuh. Namun karena adanya kemungkinan tambahan angin alam lingkungan, maka kecepatan angin bisa bertambah sampai 1.1 m/s. Ukuran tubuh meliputi tinggi dan berat juga didata. Setiap jeda 2 menit dari kegiatan berjalan diatas treadmill, para sampel diminta mengisi kuisisioner mengenai persepsi kenyamanannya merespon situasi iklim yang dialaminya pada saat berjala kaki secara santai; standar kuantifikasi persepsi mengacu pada ISO 7730 (2003), yakni angka +3=sangat panas/sangat tidak nyaman; +2=panas/tidak nyaman; +1=agak panas/agak tidak nyaman; 0=nyaman/netral; -1=agak dingin; -2=dingin; -3=sangat dingin. Jadi secara keseluruhan terdapat potensi isian sebanyak kuisisioner 5(kali)x 60(sampel)=300 votes. Selanjutnya dilakukan analisis signifikansi korelasi (r) diantara variabel iklim dan parameter tubuh yang dihubungkan dengan hasil kuisisioner. Kemudian diteruskan dengan pembentukan persamaan regresi antara persepsi kenyamanan sebagai Y terhadap variabel dan parameter penentu lainnya, yakni:

$$Y = f\{(x_1, x_2, \dots, x_n), (z_1, z_2, \dots, z_n)\} \text{ ----- (1)}$$

Dimana Y adalah angka yang menunjukkan persepsi tingkat kenyamanan termis (tanpa satuan), x adalah variabel iklim, dan z adalah parameter tubuh. Variabel meliputi

suhu udara, suhu radiatif rata-rata, kelembaban udara dan suhu kulit manusia. Parameter meliputi luas kulit manusia (yang dihitung berdasarkan rumus Area du Bois) dan jenis pakaian (dalam satuan clo). Rumus Area du Bois atau rumus yang menggambarkan luas kulit tubuh manusia adalah:

$$A_{DU} = 0.203 p^{0.425} h^{0.725} \text{ ----- (2)}$$

Dimana A_{DU} = luas permukaan kulit tubuh (Area du Bois) dalam m^2 , p = berat badan dalam kg, h = tinggi badan dalam m.

Peralatan pengukuran tinggi dan berat badan adalah timbangan digital. Sedangkan peralatan ukur iklim mikro yang digunakan meliputi: Thermohyrometer Digital (Merk Hanna, Type HI 8564); Infrared Thermometer (Merk Fluke, Type 62 Mini IR); Anemometer (Merk Meterman, Type TMA 10); Pyranometer (Merk EKO Instruments, Type MS 800); Globe thermometer (Nova Lynx 210-4417). Peralatan untuk pengukuran suhu permukaan kulit adalah infrared thermometer (Fluke, Type 62 Mini IR). Adapun yang diukur adalah kulit dada, lengan, paha dan betis, dimana suhu kulit rata-rata (T_{sk} , dalam $^{\circ}C$) dapat dihitung berdasarkan formula dari Ramanathan yang dipakai pada studi oleh Gaelou M I (1991), sebagai berikut:

$$T_{sk} = 0.3(T_{dada} + T_{lengan}) + 0.2(T_{paha} + T_{betis}) \text{ ----- (3)}$$

Di tahap selanjutnya diadakan validasi persamaan regresi melalui komparasi terhadap persamaan lainnya yang ditujukan untuk iklim bukan tropis lembab, yakni persamaan yang dikembangkan oleh Monteiro, dkk (2009), Nikolopoulou, dkk (2003), F Nico, dkk (2006), Cheng (2008) dan Givoni (2000), sebagaimana diuraikan pada Tabel 1.

Uraian lebih rinci mengenai metode pelaksanaan penelitian sejenis ini dapat juga dilihat di Sangkertadi dan Syafriny R (2011),

namun mengenai perihal perbandingan dengan rumus-rumus kenyamanan termal bagi iklim lainnya hanya dikembangkan dan dipublikasikan melalui tulisan ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses observasi lapangan, variasi suhu udara (diukur dengan thermometer) yang dialami responden atau sampel berkisar antara 25.3 s/d 34.3 $^{\circ}C$; sedangkan suhu radiasi rata-rata (dihitung berdasarkan hasil pengukuran dengan thermometer globe) berkisar antara 28.2 s/d 59.8 $^{\circ}C$ (Gambar 1 dan 2)

Hubungan korelasi antar variabel yang menjadi sasaran meliputi persepsi rasa kenyamanan (*thermal vote*), suhu udara, suhu radiatif, kelembaban udara, ukuran tubuh dan suhu permukaan kulit. Hasil analisis korelasi ditunjukkan pada Tabel 2, dimana koefisien korelasi terbesar adalah antara vote (tingkat kenyamanan) dengan suhu radiasi (T_{rm}), yakni dengan angka 0.4094, yang berarti terdapat korelasi "agak rendah" diantara kedua variabel tersebut.

Jadi apabila dijadikan persamaan regresi, maka variabel T_{rm} (suhu radiatif) berperan penting sebagai peubah dalam persamaan, setelah itu disusul T_a (suhu udara), dan clo (faktor pakaian) yang berkorelasi "rendah" dengan vote rasa nyaman. Adapun variabel A_{du} (ukuran tubuh/luas kulit manusia), v (kecepatan angin), RH (kelembaban udara) dan T_{sk} (suhu kulit manusia) tidak berperan penting, bahkan tidak berkorelasi atau berkorelasi sangat rendah dengan vote rasa nyaman, dimana koefisien korelasinya terhadap vote, bernilai relatif kecil, bahkan ada yang negatif.

Persamaan regresi yang dihasilkan untuk kasus aktifitas "jalan santai", di iklim tropis lembab adalah:

Tabel 1. Lingkup Persamaan Kenyamanan Termis Ruang Luar di Iklim Bukan Tropis Lembab oleh Beberapa Peneliti

Authors	Name of Index/scale of Regression equation	Climate Variable of Regression Equation					Clothing (clo)	Activity	Number of samples (persons)	Location of study	Climate Type	Outdoor Type
		Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Solar Radiation	Air Humidity	Air Velocity						
Monteiro L. Mand. Aucci M.P., 2009	Tsp, TEP	✓	✓		✓	✓	0.3 - 1.2	Walking & Seating	150	Sao Paulo	Sub Tropical	Open sky, Shaded under trees, Shaded under transparency Sheers
Nikolopoulou M, Lykoudis S, Klara M. 2003	ASV	✓		✓	✓	✓	0.7 - 1.5	Walking & Seating	1500	Athens	Moderate	not specified
Cheng V, Ng Edward, 2008	TS	✓		✓	✓	✓	0.6	seating	2700	Hongkong	Sub Tropical	Open sky, Shaded
Givoni, B. and M. Noguchi, 2000	TS	✓	✓	✓	✓	✓	0.7 - 1.2	Walking & Seating	6	Yokohama	Cold	Open sky, Shaded
Fergus Nicol, Elizabeth Wilson, Anja Ueberjahn-Tritta, Le von Nana yaklara and Maria Kessler, 2006	C	✓		✓		✓	1.2 - 1.7	Walking & Seating	485	Manchester & Leves	Cold	Open sky, Shaded

Sumber: analisis data

Uraian Persamaan :

$$T_{sp} = -3.557 + 0.0632 t_g + 0.0677 t_{mr} + 0.0105 RH - 0.304 v$$

$$ASV = 0.049 t_g + 0.001 S - 0.051 v + 0.014 RH - 2.079$$

$$TS \text{ (Cheng, Ng)} = 0.1895 t_g - 0.7754 v + 0.0028 S + 0.1953 h - 8.23$$

$$C = 1.761 + 0.132 t_g + 0.00108 S - 0.432 v^{0.5}$$

$$TS \text{ (Givoni, Noguchi)} = 1.7 + 0.1118 t_g + 0.0019 S - 0.322 v - 0.0073 RH + 0.0054 t_g$$

$$t_a = \text{Suhu udara}$$

$$t_{mr} = \text{Suhu radiatif rata-rata}$$

$$S = \text{Radiasi Matahari}$$

$$RH = \text{Kelembaban Relatif}$$

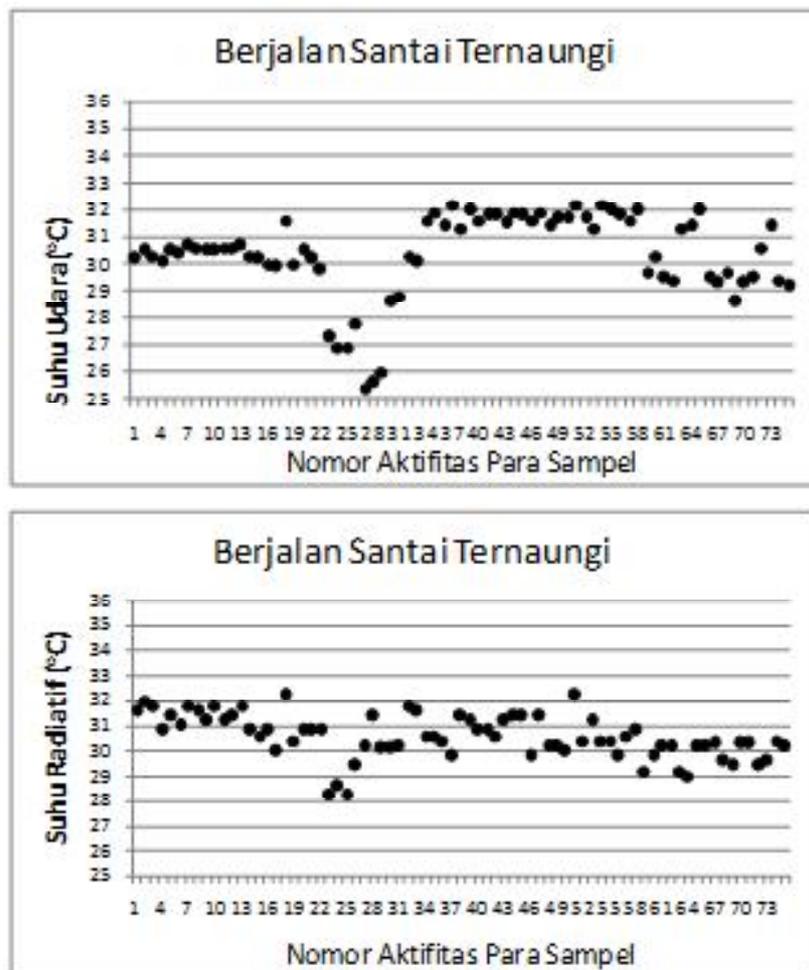
$$v = \text{Kecepatan Angin}$$

$$Y = - 6.1369 + 0.479 \text{ Adu} + 0.1143 \text{ Ta} + 0.0376 \text{ Trm} + 0.2541 \text{ RH} + 1.6793 \text{ clo}$$

Dimana Adu adalah luas kulit tubuh manusia (m²), Ta adalah suhu udara (°C), Trm adalah suhu radiasi rata-rata (°C), RH adalah kelembaban relatif udara (desimal), dan clo adalah tipe pakaian yang dikenakan. Nilai R pada regresi tersebut sebesar 0.56.

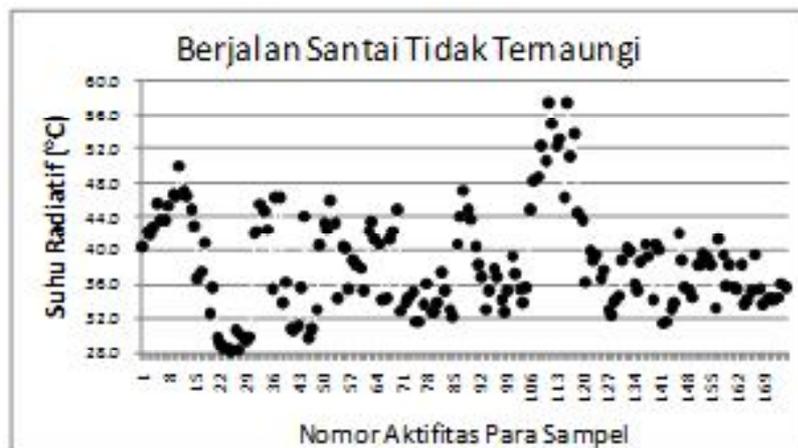
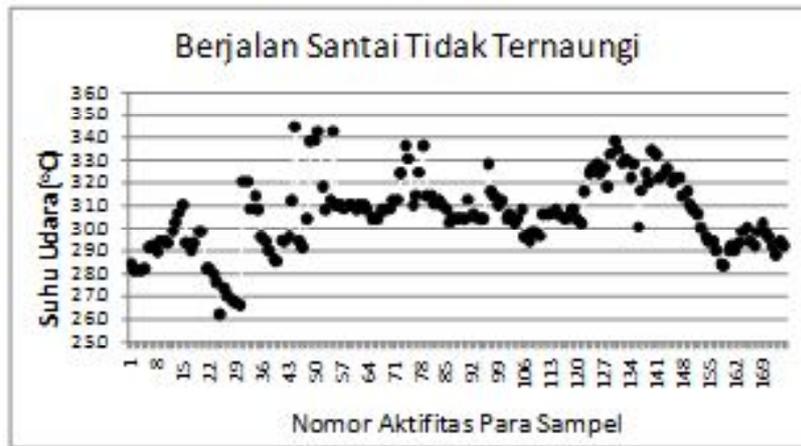
Pembahasan berikut adalah perbandingan penerapan persamaan regresi Y dengan rumus-rumus kenyamanan termis ruang luar untuk iklim non tropis sebagaimana pada

Tabel.1. Perbandingan dilakukan dengan mencoba 3 kasus, yakni pertama, kasus dimana matahari cukup terik, kedua, saat pagi hari dan terlindung dari matahari langsung, ketiga saat sore hari dengan sekitar 50% terlindung terhadap matahari. Masing-masing kasus dikarakterisasi oleh kondisi iklim mikronya yang selanjutnya menjadi data masukan pada proses perhitungan. Tabel 3, 5, dan 7 menunjukkan data masukan, sedangkan hasil perhitungan dan perbandingan ditunjukkan melalui Tabel 4,6 dan 8. Nampak bahwa



Sumber: analisis data

Gambar 1. Variasi Suhu Udara dan Suhu Radiatif yang Dialami Sampel Berjalan Santai Ternaungi



Sumber: analisis data

Gambar 2. Variasi Suhu Udara dan Suhu Radiatif yang Dialami Sampel Berjalan Santai Tidak Ternaungi

Tabel 2. Koefisien Korelasi

	Vote	Adu	Ta	T _{rm}	RH	v	clo	T _{sk}
Vote	1							
Adu	0.1028	1						
Ta	0.2953	-0.2547	1					
T _{rm}	0.4094	-0.0515	0.1708	1				
RH	-0.01	0.3941	-0.6263	0.0307	1			
v	-0.001	0.0447	0.2295	-0.1827	-0.2675	1		
clo	0.2876	0.3217	1E-04	-0.0194	0.3216	0.2489	1	
T _{sk}	0.0968	8E-05	0.2303	0.3172	-0.207	0.0108	-0.0216	1

Sumber: Analisis data

Tabel 3. Data untuk Kasus Perbandingan No.1

Variabel	Nilai	Satuan
Ta	33.2	°C
Tmr	59.0	°C
ts	34	°C
S	578	W/m ²
v	1.1	m/s
Adu	1.7	m ²
RH	0.6	
clo	0.5	
h	2.1	g/kg

Sumber: Analisis data

Tabel 4. Hasil Perhitungan Persepsi Untuk Kasus Perbandingan No.1

Persamaan	Hasil Perhitungan (Pembulatan)	Persepsi
Y (Studi ini)	2	panas
Tsp	0	nyaman
ASV	0	nyaman
TS(Cheng,Ng)	2	panas
TS(Givoni,Noguchi)*	6	sangat panas
C*	6	sangat panas

Sumber: Analisis data

Tabel 5. Data untuk Kasus Perbandingan No.2

Variabel	Nilai	Satuan
Ta	24.8	°C
Tmr	24.8	°C
ts	25.0	°C
S	58	W/m ²
v	1.1	m/s
Adu	1.7	m ²
RH	0.6	
clo	0.5	
h	11.6	g/kg

Sumber: Analisis data

Tabel 6. Hasil Perhitungan Persepsi untuk Kasus Perbandingan No.2

Persamaan	Hasil Perhitungan (Pembulatan)	Persepsi
Y (Studi ini)	-1	agak sejuk
T _{sp}	-2	dingin
ASV	-1	agak sejuk
TS(Cheng,Ng)	-1	agak sejuk
TS(Givoni,Noguchi)*	4	agak panas
C*	5	panas

Sumber: Analisis data

Tabel 7. Data untuk Kasus Perbandingan No.3

Variabel	Nilai	Satuan
T _a	31.5	°C
T _{mr}	36.1	°C
t _s	30	°C
S	175	W/m ²
v	1.1	m/s
A _{du}	1.7	m ²
RH	0.6	
clo	0.5	
h	2.2	g/kg

Sumber: Analisis data

Tabel 8. Hasil Perhitungan Persepsi untuk Kasus Perbandingan No.3

Persamaan	Hasil Perhitungan (Pembulatan)	Persepsi
Y (Studi ini)	1	agak panas
T _{sp}	-1	agak sejuk
ASV	0	nyaman
TS(Cheng,Ng)	1	agak panas
TS(Givoni,Noguchi)*	5	panas
C*	6	sangat panas

Sumber: Analisis data

terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil rumus Y dengan dua rumus lainnya untuk iklim dingin (TS_{Givoni}) dan C. Namun terhadap rumus untuk iklim sub tropis dan moderat (ASV, Tsp, dan TS_{Cheng}), terdapat perbedaan yang tidak terlalu besar, bahkan pada beberapa kasus, menunjukkan hasil persepsi yang sama. Hal ini dapat dipahami, karena tidak terdapat perbedaan yang besar antara iklim tropis lembab dengan iklim sub tropis /iklim sedang (moderate). Sebaliknya terdapat perbedaan karakter klimatologis yang besar antara iklim di area tropis lembab dan iklim dingin, sehingga hasil penerapan kedua rumus memiliki perbedaan yang bisa sampai 2 skala persepsi. Hasil perbandingan tersebut, menunjukkan bahwa rumus persepsi kenyamanan termis di ruang luar, hanya berlaku spesifik menurut jenis iklim masing-masing.

KESIMPULAN DAN SARAN

Perumusan kenyamanan termis ruang luar khususnya bagi pejalan kaki pada umumnya dibuat berdasarkan studi empiris dan

tidak dapat berlaku umum, namun hanya berlaku secara spesifik untuk masing-masing kelompok iklim. Temuan persamaan kenyamanan termis pada studi ini, dibatasi pada rentang besaran iklim yang dapat terjadi di daerah beriklim tropis lembab. Suhu radiatif berperan lebih signifikan dibanding Persamaan kenyamanan termis dipergunakan bagi program perancangan ruang luar perkotaan, khususnya mengenai lingkungan area pedestrian. Lingkungan area pejalan kaki perkotaan semestinya memiliki karakteristik iklim tertentu yang dapat menjamin kenyamanan termis bagi pejalan kaki. Karakteristik tersebut dapat diketahui dengan lebih tepat melalui penggunaan persamaan yang dihasilkan dari studi ini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat P2M, Ditjen Pendidikan Tinggi Depdikbud, yang membantu pembiayaan Penelitian Fundamental tahun 2011 dan 2012. yang menghasilkan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed K S, 2003, *Comfort in Urban Spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environment*, *Energy & Building*, vol 35.
- Andri K, Bambang S E Prakoso, *The Influence of Spatial Urbanization to Regional Condition in Peri-Urban Areas of Yogyakarta*, *Forum Geografi*, Vol. 22, No. 1, Juli 2008: 27 - 43
- Arens E, Ballanti D, 1997, *Outdoor Comfort of Pedestrians in Cities*, *Proceedings of The Conference on Physical Environment*, Upper Derby, PA, US, 1997.
- Berger X, and Deval J C, 1985, *About Thermal Comfort in Humid Tropical Climates*. *Proceedings of VVS Congres – CLIMA 2000 – Indoor Climate*, Copenhagen, 1985.
- Berglund L G, Cunningham D J, 1986, *.Parameters of Human Discomfort in Warm Environment*, *ASHRAE Transaction*, vol 92 part 2B,

- Busch J F, 1992, *A Tale of two populations : thermal comfort in air conditioned and naturally ventilated offices in Thailand* , *Energy and Buildings* 1992 no 18.
- Cheng V, and Ng E, *Wind for Comfort in High Density Cities, PLEA 2008, Proceedings of The Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Dublin 22 - 24 October 2008.
- De Dear R J, Leow K G, Ameen A, 1991, *Thermal comfort in the humid tropics – part 1: climate chamber experiments on temperature preferences in Singapore*, *ASHRAE Transaction* vol 97.
- Fanger, P O, 1970, *Thermal Comfort – Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Mc Graw Hill, New York, 1970.
- Gagge A P, 1985, *Thermal Sensation and Comfort in Dry Humid Environments*. Proceedings of VVS Congres – CLIMA 2000 – Indoor Climate, Copenhagen, 1985.
- Givoni, B, and Noguchi, M, 2000, *Issues in outdoor comfort research. Proceedings of The Conference Passive and Low Energy Architecture*, London, 2000.
- Höppe, P., 1999: *The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int. J. Biometeorol.* 43, 71-75.
- Houghten F C and Yaglou C P, 1923, *Determining lines of Equal Comfort, ASVE Transaction*, vol 29, 1923
- Huang J. 2007 *Prediction of air temperature for thermal comfort of people in outdoor environments. Int Journal on Biometeorology* 51:375
- International Standard Organization, 2003. *ISO Standard 7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, International Standard Organization, 2003.
- Ibnu Kadyarsi, 2008, Pemetaan Kualitas Udara Kota Surakarta, *Forum Geografi*, Vol. 20, No. 1, Juli 2006: 86 - 98
- Lin, T.-P. , Matzarakis, A., Hwang, R.-L., Huang, Y.-C, 2010. *Effect of pavements albedo on long-term outdoor thermal comfort. Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*, 2010.
- Lin, T.-P., Andrade, H., Hwang, R.-L., Oliveira, S., Matzarakis, A., 2008. *The comparison of thermal sensation and acceptable range for outdoor occupants between Mediterranean and subtropical climates. Proceedings 18th International Congress on Biometeorology*, September 2008.
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M, 1999, *Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. International Journal on Biometeorologi* No. 43, 1999.
- Matzarakis A, Mayer H, Rutz F, 2003, *Radiation and Thermal Comfort, Proceeding of 6th Hellenic Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, 2003.
- Nicol F, Wilson E, Ueberjahn-Tritta A, Nanayakkara L and Kessler M, 2006, *Comfort in outdoor spaces in Manchester and Lewes, UK, Proceedings of conference. Comfort and Energy Use*

in Buildings - Getting them Right, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 27-30th April 2006.
London

Nikolopoulou, M, Lykoudis, S and Kikira, M, 2008, *Thermal comfort in urban spaces: field studies in Greece*, *Proceedings of the fifth International Conference on Urban Climate*. September, 2008 Lodz, Poland.

Spagnolo J, De Dear, R, 2003. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia, *Building and Environment*, Volume 38, Issue 5, May 2003.

Sangkertadi, 1994. *Contribution a l'Etude du Comportement Thermoaureulique des Batiments en Climat Tropical Humide. Prise en Compte de la Ventilation Naturelle dans l'Evaluation du Confort*, These de Doctorat, INSA de Lyon, 1994.

Sangkertadi, Syafriny R 2011, Perumusan Kenyamanan Termis Ruang Luar Beriklim Tropis Lambab, Laporan Penelitian Fundamental Tahun ke 1, Kontrak Penelitian dengan Ditjen Pendidikan Tinggi, Universitas Sam Ratulangi (Tidak Dipublikasikan).

Sangkertadi, Syafriny R 2011, *Development of Regression Equation for Outdoor Thermal Comfort for Pedestrian in Tropical & Humid Environment*, Proceeding of APTECS 2011, ITS, Surabaya.

Scudo G, Dessi V. 2006 *Thermal comfort in urban space renewal*, *Proceeding 23th PLEA*, 2006.