

**PERBANDINGAN PENGARUH SUHU LINGKUNGAN
PADA KENYAMANAN TERMIS DI RUANG LUAR DAN RUANG DALAM
DI IKLIM TROPIS LEMBAB BAGI MANUSIA BERAKTIFITAS MODERAT**

Oleh:

Reny Syafriny¹, Sangkertadi²

(¹Mahasiswa Program Studi S3 Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Indonesia)

(²Ketua Program Studi S2 Arsitektur, Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi)

ABSTRAK

Tulisan ini memaparkan hasil simulasi perhitungan skala kenyamanan termis bagi manusia di ruang luar dan ruang dalam. Kasusnya adalah lingkungan iklim tropis lembab, bagi manusia beraktifitas moderat (sekitar 1 met) dan berpakaian tropis (sekitar 0.5-0.7 clo). Variabel iklim sebagai kasus meliputi kecepatan angin, suhu radiasi dan suhu udara. Rentang variabel suhu udara meliputi 25 dan 30⁰C. Sedangkan rentang suhu radiasi meliputi 25 s/d 60⁰C. Rentang variasi kecepatan angin berkisar dari 0.5 s/d 4 m/s. Hasilnya meunjukkan terdapat perbedaan signifikan antara persepsi kenyamanan termis manusia di dalam dan luar ruang meskipun mendapat pengaruh variabel iklim mikro yang sama.

PENDAHULUAN

Hal mengenai kenyamanan termis menjadi menarik perhatian, manakala, kenaikan suhu lingkungan ruang permukaan bumi menjadi semakin laju. Situasi klimatik, yang pada masa lalu dirasakan nyaman, kini sudah terasa semakin panas akibat kenaikan suhu lingkungan atmosfir. Dampak selanjutnya akibat ketidaknyamanan lingkungan klimatik, adalah menurunnya tingkat produktifitas manusia. Apabila dikehendaki peningkatan produktifitas maka diperlukan tambahan energy untuk menurunkan suhu lingkungan, sehingga berdampak pada penambahan biaya untuk penyediaan energy demi mencapai kenyamanan tersebut.

Kenyamanan termis di ruang luar, berkaitan erat dengan sendi-sendi perencanaan dan perancangan arsitektur

ruang luar. Manusia yang menempati ruang luar, membutuhkan suasana nyaman secara termis agar dapat melakukan kegiatan secara produktif. Karena itu, elemen-elemen dalam perancangan ruang luar seperti material penutup lintasan/jalan, jenis pohon pelindung, penaungan (shelter), dll, senantiasa harus diperhitungkan terhadap dampak iklim mikro yang ditimbulkannya. Karena iklim mikro inilah yang berhubungan langsung dengan rasa nyaman termis oleh manusia. Aksi dan reaksi termis atau perpindahan kalor antara kulit manusia dengan udara lingkungannya, menimbulkan sesuatu yang dinamakan rasa nyaman termis.

Jadi dalam bidang atau teori arsitektur dan perancangan kota, atau teori mengenai ruang kehidupan manusia, pengetahuan tentang kenyamanan menjadi bagian yang penting. Kenyamanan adalah

situasi dimana manusia mengekspresikan setuju dengan kondisi yang ada di lingkungannya. Karena itu keberhasilan suatu produk rancangan ruang senantasa diukur dengan seberapa besar tingkat kenyamanan manusia di ruang tersebut. Kenyamanan dalam konteks perencanaan arsitektur meliputi kenyamanan termis, suara, gerak dan cahaya, namun dalam bagian ini yang dibahas hanya menyangkut kenyamanan termis. Kenyamanan termis secara umum dikenal sebagai rasa nyaman terhadap situasi termik di lingkungan sekitar tubuh. Situasi kenyamanan termis senantiasa dihubungkan dengan situasi klimatik.

Didaerah beriklim tropis dan lembab, temperatur udara dan terutama kelembaban udaranya yang relatif tinggi merupakan penyebab utama situasi tidak nyaman secara termal bagi manusia. Namun begitu masyarakat yang telah lama hidup didaerah beriklim tropis dan lembab ini, telah menunjukkan keberhasilannya dalam menghadapi tantangan iklim tersebut dari waktu ke waktu, yakni dengan menerapkan suatu tatanan dan rancangan hunian yang mampu beradaptasi dengan lingkungan klimatis sekitarnya.

Di ruang luar (*public openspace/ pedestrian/ playground*) yang juga merupakan area bersosialisasi antara berbagai kelompok komunitas membutuhkan kondisi nyaman secara fisis untuk mendukung keberhasilan bersosialisasi tersebut. Pada umumnya manusia tidak bersikap individualistis atau egois, pada saat berada diruang 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 diruang luar dalam konteks ini menyangkut kenyamanan termis yang juga menjadi fokus utama dari penelitian ini. Apabila manusia merasa kepanasan atau sebaliknya merasa kedinginan diruang luar, maka akan menyebabkan hubungan sosial (berkomunikasi, bermain bersama, berdagang) yang tidak nyaman diantara mereka.

Secara khusus, tulisan ini memaparkan pengaruh suhu lingkungan terhadap tingkat kenyamanan termis manusia di iklim tropis lembab, pada kasus manusia berkegiatan duduk santai. Dilakukan pula perbandingan yang terjadi apabila berada di ruang luar dan di ruang dalam. Pengertian suhu lingkungan dalam hal ini adalah suhu udara dan suhu radiasi.

TEORI KENYAMANAN TERMIS

Ukuran untuk menentukan tingkat kenyamanan termis manusia terhadap lingkungan sekitarnya, pada umumnya didasarkan pada pendekatan empirik dari studi laboratorium pada subyek (manusia) dalam keadaan melakukan kegiatan dan dibebani kondisi iklim tertentu.

Fanger (1970) sebagaimana juga ASHRAE (American Standard of Heating Referigerating and Air Condiitnioning

Engineers - ASHRAE Standard 55) 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. 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. Kemampuan dalam hal menjaga keseimbangan termis antara tubuh manusia dengan lingkungan disekitarnya merupakan salah satu prasyarat pemenuhan kesehatan, serta kenyamanan. Manusia adalah jenis makhluk homeotermis, yang berarti memiliki kemampuan menjaga suhu tubuhnya agar tetap konstan (sekitar 37° C) dalam kondisi lingkungan klimatis yang bervariasi secara luas.

Tubuh manusia, dianggap sebagai suatu sistem termodinamika, menghasilkan kerja mekanik dan panas suhu rendah, menggunakan makanan (fungsi bahan bakar) dan oksigen sebagai masukan. Sistem ini membutuhkan suatu kondisi tubuh sehat, untuk mempertahankan suhu internal yang konstan sekitar $37 \pm 0,5$ ° C, jika tidak, maka fungsi organ penting seperti hati, limpa, dll, dapat rusak parah. Untuk

mencapai tujuan ini, laju perolehan/produksi panas tubuh harus sama dengan laju kehilangan panas pada system termodinamika tubuh tersebut. Tugas sistem *thermoregulatory* tubuh kita adalah untuk menjaga keseimbangan panas, yang merupakan kondisi mendasar bagi kelangsungan hidup dan diperlukan juga untuk menjamin rasa kenyamanan. Suhu kulit, beda dengan suhu internal tubuh, tidaklah konstan, dan bervariasi sesuai dengan bagian tubuh dan suhu udara. Untuk menentukan bahwa seseorang merasa nyaman atau tidak didalam suatu lingkungan termofisis, dikenal sebuah skala pengukur tingkat kenyamanan termis. Namun untuk dapat menentukan skala tingkat kenyamanan termis tersebut, terlebih dahulu harus diketahui besaran-besaran termis atau parameter-parameter yang merupakan resultante dari proses pertukaran kalor antara manusia dengan lingkungannya.

Untuk menentukan bahwa seseorang merasa nyaman atau tidak didalam suatu lingkungan termofisis, dikenal sebuah skala pengukur **tingkat kenyamanan termis**. Umumnya skala kenyamanan termis adalah suatu skala numerik yang diinterpretasikan sebagai suatu rasa nyaman termis, sebagaimana definisi menurut ISO standar 7730 (*International Standard Organization*, 2003) (Tabel.1).

Tabel.1.

Interpretasi Skala Kenyamanan Termis menurut ISO 7730

Skala Kenyamanan	Interpretasi
-3	Sangat Dingin
-2	Dingin

-1	Agak Dingin
0	Netral
1	Agak Panas
2	Panas
3	Sangat Panas

Namun untuk dapat menentukan skala tingkat kenyamanan termis tersebut, terlebih dahulu harus diketahui besaran-besaran termis atau parameter-parameter yang merupakan resultante dari proses pertukaran kalor antara manusia dengan lingkungannya. Interaksi kompleks suhu udara, suhu rata-rata radiasi, kecepatan udara dan kelembaban membentuk lingkungan termal disekitar tubuh manusia dan mempengaruhi tubuh manusia itu sendiri. Adalah sangat bermanfaat untuk mendapatkan kombinasi tertentu dari besaran-besaran tersebut (suhu udara, suhu radiasi, kelembaban udara dan kecepatan angin), untuk mencapai lingkungan termal yang memuaskan. Metode aktual yang dipakai dalam proses desain ruangan didasarkan pada kondisi pertukaran panas dari tubuh manusia terhadap lingkungan sekitarnya. Artinya, bahwa diperlukan perhitungan kenyamanan dan iklim ruang yang mendasari optimalisasi hasil rancangan ruangan.

Berbagai referensi sudah memaparkan cukup lengkap mengenai formulasi atau model untuk menghitung kenyamanan termis manusia di suatu lingkungan iklim mikro. Diantaranya adalah Fanger (1970), ASHRAE Fundamental, Sangkertadi (1994, 1998), ISO 7730 (2003), Gagge (1985), Berger & Deval (1985), dll. Namun demikian, sebagian besar referensi

hanya membahas kenyamanan termis didalam ruang tertutup. Masih langka pembahasan kenyamanan termis di ruang terbuka, khususnya didaerah beriklim tropis lembab. Namun terdapat pula beberapa kajian keyamaan termis ruang luar diantaranya pernah dilakukan oleh Matzarakis, Meyer & Rutz (2003), Sangkertadi (2011, 2012), Nicol et al (2006), Nikolopoulou et al (2008), dll.

PENGARUH SUHU LINGKUNGAN DAN KECEPATAN ANGIN

Satu referensi misalnya oleh Sangkertadi (2011) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan skala kenyamanan termis antara manusia berada di dalam ruang dan luar ruang, meskipun keduanya mendapatkan penetrasi iklim yang sama. Selain itu, terdapat pula referensi yang menunjukkan adanya pengaruh signifikan kecepatan angin pada rasa nyaman termis manusia, misalnya hasil studi oleh Arens dan Ballanti (1997).

Disini, ditunjukkan melalui perhitungan simulasi, adanya tingkat perbedaan diantara pengaruh tiga variabel iklim mikro yakni suhu udara, suhu radiasi, dan kecepatan angin terhadap skala kenyamanan termis di ruang luar dan dibandingkan dengan situasi di ruang dalam. Adapun, terdapat perbedaan rumus antara

perhitungan kenyamanan bagi ruang dalam dan ruang luar.

Di daerah beriklim tropis lembab, angin berpengaruh secara signifikan untuk membantu mempercepat proses evaporasi keringat, sehingga menambah rasa nyaman sesaat manakala kelembaban kulit berkurang secara cepat. Dengan demikian, maka di daerah beriklim tropis lembab, faktor kebasahan kulit karena keringat menjadi faktor penentu utama terhadap rasa kenyamanan termis. Selain itu, juga terdapat terminologi suhu radiatif, yakni suatu suhu lingkungan akibat panas radiasi benda-benda pemantul radiasi maupun akibat radiasi langsung dari matahari di suatu lingkungan dimana manusia berada. Mengingat tingginya angka radiasi matahari di daerah beriklim tropis lembab, maka faktor suhu radiasi juga menjadi faktor signifikan dalam penentuan rasa kenyamanan termis, khususnya di ruang luar. Situasi didalam ruang adalah berbeda, karena pada dasarnya diasumsikan tidak terdapat pengaruh radiasi langsung sinar matahari, sekalipun terdapat pengaruh suhu radiasi akibat dinding atau lantai yang memancarkan panas radiasi. Dengan demikian, maka logikanya, pengaruh suhu radiasi semestinya sangat signifikan apabila dirasakan oleh manusia yang berada di ruang luar, dibandingkan dengan situasi di ruang dalam. Sedangkan faktor kecepatan angin, logikanya memiliki kontribusi kepekaan yang sama, untuk meningkatkan kenyamanan termis, baik di ruang luar maupun di ruang dalam. Hal tersebut, dikarenakan, secara fisis, faktor angin berpengaruh terhadap evaporasi

keringat, yang bisa terjadi di dalam ruang maupun di luar ruang.

Formulasi yang digunakan untuk mengetahui perbandingan akibat perubahan terhadap 3 variabel iklim (angin, suhu udara dan suhu radiasi) adalah formulasi mengenai skala kenyamanan di ruang dalam, dalam skala DISC oleh Sangkertadi (1994, 1998), dan formulasi skala kenyamanan termis ruang luar di iklim tropis lembab juga oleh Sangkertadi (2012)

Formulasi DISC yang dimaksud adalah suatu bentuk persamaan regresi, untuk kasus khusus manusia beraktifitas ringan (moderat) seperti duduk santai, dimana nilai aktifitasnya hanya sekitar 1 met, dan mengenakan pakaian tipe tropis sekitar 0.5 s.d 0.7 clo. Formulasi tersebut adalah sebagai berikut (Sangkertadi, 1994, 1998)

$$DISC = 3.9338 M_{cut} + 0.0158 D_s - 0.3348$$

Dimana, M_{cut} adalah luas kulit basah karena keringat (prosentase) , sedangkan D_s adalah debit keringat (g/h). Adapun perhitungan untuk mendapatkan M_{cut} dan D_s dapat dilihat di referensi oleh Sangkertadi (1994, 1998).

Adapun formulasi regresi untuk mendapatkan angka tingkat kenyamanan termis ruang luar di iklim tropis lembab, untuk situasi manusia "duduk santai" (beraktifitas moderat) dan berpakaian tropis adalah sebagai berikut (Sangkertadi, 2012):

$$Y_D = -7.9122 - 0.5215 v + 0.0468 T_a + 0.1673 T_g - 0.0007 HR + 1.4329$$

Dimana ;

v : kecepatan angin (m/s)

T_a : suhu udara (0C)

T_g : suhu globe temperature (0C)

HR : kelembaban relatif (prosentase)

Adapun suhu radiasi rata-rata berdasarkan angka suhu udara globe temperature (T_g) di ruang terbuka dapat diperoleh melalui pendekatan rumus sebagai berikut (Dreyfus, 1962)

$$T_{rm} = T_g + 2.8 \left(T_g - T_a \right) \sqrt{v}$$

Dimana

T_{rm} : suhu radiasi rata-rata (0C)

T_g : Suhu globe termometer (0C)

T_a : Suhu udara (0C)

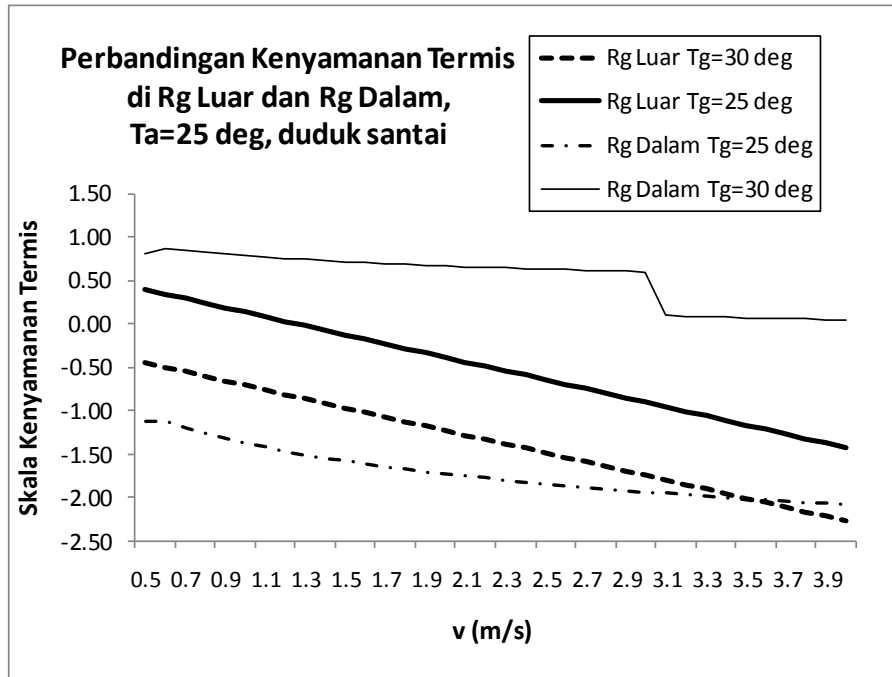
v : kecepatan udara (m/s)

Dengan memperhatikan persamaan tersebut, maka suhu radiasi rata-rata akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu globe termometer dan kecepatan udara.

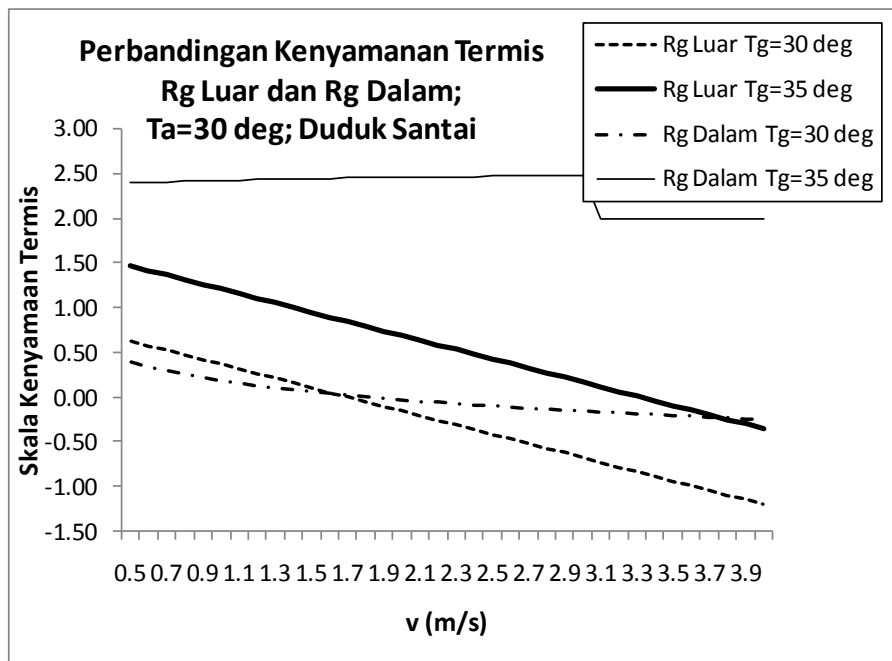
Sebagai catatan, suhu globe termometer, adalah hasil pengukuran suhu dengan alat globe termometer, yakni suatu bola metal tipis terbuat dari tembaga hitam, didalamnya terdapat termometer (Gambar 1)



Gambar 1.
Alat ukur Globe Termometer



Gambar 2. Perbandingan kenyamanan termis di ruang luar dan ruang dalam pada kasus Ta=25 °C



Gambar 3. Perbandingan kenyamanan termis di ruang luar dan ruang dalam pada kasus Ta=30 °C

Hasil simulasi ditunjukkan melalui grafik pada gambar 2 dan 3. Nampak bahwa terdapat perbedaan signifikan antara

penggunaan model formulasi kenyamanan termis di dalam ruang dan luar ruang. Hal ini juga menunjukkan adanya persepsi

kenyamanan yang berbeda antara manusia didalam ruang dan di luar ruang, meskipun mendapatkan perlakuan iklim mikro yang sama. Pengaruh kecepatan angin nampak lebih kuat atau lebih signifikan pada kasus di ruang luar dari pada di ruang dalam. Kecenderungan tersebut, selaras dengan hipotesis berdasarkan hasil studi oleh peneliti terdahulu. Diperhatikan gambar 2, pada suhu udara 25°C , suhu globe termometer mencapai 30°C , kecepatan angin 0.5 m/s , dimana suhu radiasi mencapai sekitar 40°C , nampak bahwa angka kenyamanan termis diluar ruang menunjukkan skala -0.45 yang berarti cukup nyaman. Namun di dalam ruan, situasi tersebut, tergolong agak dingin, dengan skala -1 . Tren penurunan skala kenyamanan juga berbeda antara situasi didalam ruang dan luar ruang. Diluar ruang, pengaruh kecepatan angin lebih besar dari pada didalam ruang.

Pada kasus yang lain, di gambar 3, dengan suhu udara (T_a) 30°C , apabila T_g juga sama sekitar 30°C dan suhu radiasi juga 30°C , maka rasa kenyamanan termis di ruang luar adalah pada posisi lebih dari 0.5 atau posisi rasa agak panas. Sedangkan pada kasus ruang dalam, pada posisi angka skala sedikit dibawah 0.5 , yang menuju pada rasa nyaman. Posisi rasa nyaman yang sama atau hampir sama antara di ruang luar dan ruang dalam, pada kasus suhu udara 30°C , adalah pada posisi suhu globe temperature sekitar 30°C dengan kecepatan angin antara 0.5 s/d 2 m/s .

Hasil simulasi tersebut sebagaimana ditampilkan pada gambar 2 dan 3, secara umum menunjukkan bahwa variabel iklim

berupa suhu udara, suhu radiasi dan kecepatan angin, ketiganya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan rasa nyaman termis manusia di ruang luar dan ruang dalam.

KESIMPULAN

Hasil studi ini menyimpulkan bahwa terdapat pengaruh signifikan dari perubahan iklim mikro menyangkut kecepatan angin, suhu radiasi dan suhu udara terhadap perubahan skala kenyamanan termis manusia. Perubahan variasi iklim mikro tersebut memberi dampak kecenderungan perubahan skala kenyamanan, yang lebih besar terjadi di ruang luar dari pada di ruang dalam. Pada kasus di ruang dalam, perubahannya cenderung bersifat non linier, sedangkan pada kasus ruang luar, perubahannya bersifat linier. Studi ini hanya terbatas pada kasus iklim tropis lembab bagi manusia berpakaian tropis lembab, berkegiatan moderat, yang dalam hal ini berupa aktifitas duduk santai, berusia dewasa.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan pada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (DP2M), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI, atas bantuan dana penelitian melalui skim Penelitian Fundamental tahun 2012. Sebagian hasil penelitian dimuat dalam artikel ini.

Daftar Pustaka

- 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.
- 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.
- Deval, J C, 1984, *Le Confort Thermique en Climat tempere*. Revue de Physique Appliquee, 1984, no 19.
- Dreyfus, J, 1962, *Le Confort dans l'Habitat*, Eyrolles, Paris.
- 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., 1976. *Man, Climate and Architecture*, Applied Science Publisher, London
- Givoni, B, and Noguchi, M, 2000, Issues in outdoor comfort research. *Proceedings of The Conference Passive and Low Energy Architecture*, London, 2000.
- 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*, 2003
- 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.
- 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, 1998 (a) *Simulasi Kenyamanan Termal Untuk Lingkungan Beriklim Tropis Lembab*, Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur, Vol. 26 Desember 1998
- Sangkertadi, 2011, *Perumusan Kenyamanan Termis Ruang Luar Iklim Tropis Lembab*, Laporan Penelitian Fundamental – Tahun ke 1, Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2012.
- Sangkertadi, 2012, *Perumusan Kenyamanan Termis Ruang Luar Iklim Tropis Lembab*, Laporan Kemajuan Penelitian Fundamental, Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2012.