

KENYAMANAN TERMAL *INDOOR* PADA BANGUNAN DI DAERAH BERIKLIM TROPIS LEMBAB

Eddy Imam Santoso^{1,2}

¹ Program studi kajian lingkungan dan pembangunan, Program Pascasarjana, Universitas Brawijaya

² Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Surabaya

Abstrak

Tulisan ini membahas metode evaluasi kenyamanan termal dalam ruangan. Analisis pustaka kenyamanan termal ruang dalam (*indoor*) dilakukan dengan lingkup harapan kenyamanan penghuni, kenyamanan melalui media pendinginan aktif dan pasif, terutama di daerah-daerah iklim tropis lembab. Berbagai metode dilakukan untuk mengurangi pemanfaatan pendinginan aktif, untuk memperoleh kenyamanan termal ruang dalam (*indoor*). Pada umumnya para penghuni merasa tidak-puas dengan kondisi kenyamanan yang ada (masih di luar zona kenyamanan standar ASHRAE 55). Oleh karena itu diperlukan tindakan dengan mengatur sistem ventilasi secara mekanik.

Kata kunci: Kenyamanan termal, *indoor*, ventilasi.

Abstract

This paper discusses an evaluation method of thermal comfort in the room. Analysis of indoor thermal comfort literature is done with a scope of occupant expectation on comfort, efforts through active and passive cooling media, especially in areas of humid tropical climate. Various methods are taken to reduce the use of active cooling, to obtain thermal comfort in the room (indoor). In general, the residents feel uncomfot with the existing conditions (still outside the comfort zone of ASHRAE standard 55). It is therefore necessary actions to adjust mechanically the ventilation system.

Keywords: Thermal comfort, *indoor*, ventilation.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian masyarakat pada masalah kenyamanan termal penghuni bangunan telah menghasilkan banyak studi termal pada berbagai jenis bangunan. Penelitian dilakukan di berbagai negara dengan kondisi iklim yang berbeda-beda, diantaranya studi tentang sistem ventilasi yang dilakukan oleh Lazzerini dkk. (1991); Warden (2004); Howell *et al.* (2004), Manz dan Frank (2005); Kunzel *et al.* (2005); Nugroho (2006); Roonak *et al.* (2009). Ada banyak studi tentang berbagai cara untuk mengevaluasi kenyamanan termal untuk mengetahui apakah lingkungan termal cocok untuk hidup nyaman. Kriteria desain tertentu untuk kenyamanan termal telah mempengaruhi desain bangunan dan sistem kontrol atau tindakan adaptif sebagaimana dalam penelitian Brager dan Dear (2000); ASHRAE (2004). ASHRAE 55 dan ISO 7730 (ISO 1994) dapat mengidentifikasi pengukuran fisik dan memverifikasi variabel termal dalam jangkauan kenyamanan seperti parameter termal dalam ruangan.

Menurut Lee dan Chang (2000), pada umumnya orang menghabiskan waktunya (lebih

dari 90%) di dalam ruangan, sehingga mereka membutuhkan udara yang nyaman dalam ruang tempat mereka beraktivitas, oleh karenanya kecepatan udara yang baik dalam ruangan sangat bermanfaat bagi mereka. Penyelesaian masalah kenyamanan dalam ruangan dimungkinkan melalui penyelidikan menyeluruh berdasarkan kecepatan udara di dalam ruangan (Gosselin dan Chen, 2008). Menurut Cheng *et al.* (2008), bila menggunakan kipas, kisaran suhu yang diperoleh dari investigasi langsung dan tidak langsung masing-masing adalah 28.2 dan 27.2^o C. Perpindahan panas konvektif yang menciptakan distribusi suhu yang hampir sama di seluruh ruangan berasal dari sirkulasi kuat memakai kipas (Ho dan Lin, 2006).

Berdasarkan penelitian Santoso (2012), penurunan suhu udara dalam ruang dapat dilakukan dengan memberikan penahan sinar matahari dari tanaman baik yang ditempatkan secara vertikal maupun horisontal, namun secara umum belum bisa menghasilkan harapan kenyamanan penghuni, karena baru dapat menurunkan sekitar 1.5 sampai 2^oC suhu udara dalam ruang. Menurut Fanger (1982), kenyamanan termal mengacu pada tingkat metabolisme yang dapat dinilai dengan variabel yang meliputi kegiatan, ketahanan pakaian, suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan aliran udara, dan intensitas cahaya. Dua kelompok

Alamat Korespondensi

Eddy Imam Santoso

Email : edy.is@gmail.com

Alamat : Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Surabaya

variabel yaitu (1) fisiologis pribadi meliputi kegiatan/aktivitas dan tahanan panas pakaian, dan 2) variabel iklim yang meliputi suhu udara, kecepatan udara, kelembaban relatif dan suhu radiasi membantu untuk mendefinisikan harapan kenyamanan termal (Humphreys & Nicol, 2002).

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dibahas dalam tulisan ini adalah penelitian yang terkait dengan kenyamanan termal ruang dalam (*indoor*) yang dipublikasikan dalam makalah akademik dari tahun 2006 sampai tahun 2011. Review makalah dengan beberapa kriteria di antaranya : (1) Lokasi penelitian pada daerah beriklim tropis lembab, (2) Temuan terkait dengan kenyamanan termal ruang dalam (*indoor*), (3) artikel yang diterbitkan/dipublikasikan dalam jurnal terakreditasi nasional/ internasional, dan (4) artikel diterbitkan dalam bahasa internasional (Inggris). Analisis artikel-artikel ini diharapkan memberikan kontribusi pada pengetahuan dan masyarakat ilmiah secara umum.

Artikel penelitian yang direview dipilih berdasarkan tujuan penelitian yaitu terkait dengan kenyamanan termal ruang dalam (*indoor*) dan variabel yang mendekati, diantaranya : suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, radiasi matahari dan tingkat persepsi penghuni. Temuan dari makalah-makalah diringkas dalam Lampiran 1 untuk mengidentifikasi kontribusi asli mereka untuk pengetahuan yang didasarkan pada beberapa faktor termasuk jenis alat yang digunakan, sistem penghawaan terkait kenyamanan termal *indoor*, lokasi penelitian, dan temuan penting dari penelitian. Selanjutnya akan dievaluasi berdasarkan parameter dari tujuan review ini.

KENYAMANAN TERMAL

Suhu Udara Daerah Tropis Lembab

Wilayah yang mempunyai iklim tropis lembab umumnya ditandai dengan suhu udara tinggi dan kelembaban udara yang relatif tinggi pula. Diantara wilayah dengan iklim tropis lembab tersebut adalah wilayah negara-negara Asia Tenggara yang posisinya berdekatan atau bahkan dilalui katulistiwa. Negara-negara ini mempunyai iklim yang sama, namun pada daerah tertentu mempunyai kekhususan karena letak geografinya, (Pulau Penang – Malaysia, misalnya) memiliki iklim hujan tropis yang hangat dan cerah selama musim kering/panas, hujan deras terjadi selama musim barat dari bulan April sampai September, Laut sekitar Pulau Penang menentukan iklimnya (Roonak, Kamaruzzaman

dan Jalil, 2009). Indonesia, Malaysia dan Singapura merupakan bagian negara yang beriklim tropis lembab, dengan posisi antara 1 sampai 11° Lintang Utara. Suhu rata-rata tahunan mencapai 26 - 27° C dan suhu siang hari tertinggi mencapai 34° C sedangkan kelembaban relatif antara 70 – 90 % (Sabarinah dan Ahmad, 2006). Sementara itu di Indonesia pada daerah-daerah tertentu (Surabaya-Indonesia misalnya) suhu udara maksimal dapat mencapai 36,4° C dengan kelembaban mencapai 85 % (Wijaya, 2007)

Definisi kenyamanan termal

Kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai suatu kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal (Nugroho, 2006). Definisi yang lain menyebutkan sebagai lingkungan *indoor* dan faktor pribadi yang akan menghasilkan kondisi lingkungan termal yang dapat diterima sampai 80% atau lebih dari penghuni dalam sebuah ruang, namun tidak pernah tepat didefinisikan oleh standar, secara umum disepakati dalam komunitas riset kenyamanan termal yang diterima adalah identik dengan 'Kepuasan', dan kepuasan dikaitkan dengan sensasi panas 'sedikit hangat', 'netral', dan 'Sedikit dingin'. Pemaknaan berdasarkan pada pendekatan psikologis lebih banyak digunakan oleh para pakar pada bidang termal. ASHRAE (*American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineer*) memberikan definisi kenyamanan thermal sebagai kondisi pikir yang meng ekspresikan tingkat kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya. Dengan pemaknaan kenyamanan thermal sebagai kondisi pikir yang mengekspresikan tingkat kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya maka berarti kenyamanan thermal akan melibatkan tiga aspek yang meliputi fisik, fisiologis dan psikologis, sehingga pemaknaan kenyamanan termal berdasarkan pendekatan psikologis adalah pemaknaan yang paling lengkap

Beberapa pendekatan kenyamanan termal

Umumnya penelitian untuk mengevaluasi kenyamanan termal *indoor* dilakukan dengan survey langsung pada lokasi penelitian atau percobaan lapangan (Sulaiman *et al.*, 2011; Nugroho, 2006; Roonak *et al.*, 2009; Alison dan Chungyoon, 2003; Sulaiman *et al.*, 2011). Penelitian yang berkaitan dengan kenyamanan termal umumnya menggunakan variabel sebagai berikut: 1) Variabel personal meliputi variabel: Rate metabolisme yang diwujudkan dalam variabel aktivitas; dan Rate insulasi pakaian yang

diwujudkan dalam variabel cara berpakaian; 2) Variabel iklim ruang meliputi: Suhu udara; Suhu radiasi rata-rata; Kelembaban; Pergerakan udara atau kecepatan angin. Berdasarkan hal tersebut, maka pemaknaan tentang kualitas kenyamanan termal akan berkaitan dengan empat variabel tersebut. Adapun alat ukur fisik yang digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan termal dari lingkungan indoor bervariasi dari masing-masing peneliti tergantung dari tujuan penelitiannya (Tabel 1), namun secara umum semua alat yang dipergunakan terkait dengan alat untuk mengukur keempat variabel tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam review penelitian ini terdapat dua sasaran yang menjadi bahasan yaitu terkait dengan persepsi kenyamanan termal dan ventilasi alami dalam upaya menciptakan kenyamanan termal *indoor*. Kenyamanan termal di daerah beriklim tropis lembab untuk bangunan (*indoor*) dengan menggunakan penghawaan alami atau ventilasi sulit untuk menjangkau standar kenyamanan internasional ASHRAE 55-92, karena rata-rata suhu udara dan kelembaban relatif tinggi sehingga suhu netral tidak memenuhi zona kenyamanan yang disyaratkan yaitu antara 23 °C sampai 26 °C. Sementara dari beberapa penelitian yang dilakukan oleh Nugroho (2011), Roonak *et al.* (2009), Henry dan Nyuk (2004), Sulaiman *et al.* (2011), Iftikhar *et al.* (2001) dan Alison (2003) di daerah beriklim tropis lembab dengan objek beberapa jenis bangunan menunjukkan suhu netral antara 26.1°C – 29.8 °C. Berdasarkan beberapa penelitian sulitnya mencapai suhu netral yang sesuai zona kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya karena disain yang menyebabkan radiasi sinar matahari cukup tinggi (Nugroho, 2011), sirkulasi udara yang disebabkan kecepatan udara relatif kecil (Roonak *et al.*, 2009) dan tingginya kelembaban udara karena faktor iklim (tropis lembab)

Sebagian besar penelitian yang dilakukan dalam bangunan dengan iklim tropis lembab persepsi kenyamanan yang dirasakan oleh penghuni menyatakan kurang dapat menerima kondisi udara dalam ruang yang disebabkan oleh faktor-faktor diatas. Berdasarkan PMV menunjukkan penghuni merasakan suhu udara netral sedikit hangat, namun penghuni melakukan tindakan adaptif dengan memberikan kontrol berupa pengaturan bukaan sistem ventilasi (Roonak *et al.*, 2009; Nugroho, 2011), mempercepat gerakan udara dengan sistem

mekanik (Alison dan Chungyoon, 2003), memberikan tirai pada bukaan-bukaan yang langsung menerima radiasi matahari (Iftikhar *et al.*, 2001), bahkan pada beberapa penelitian penghuni melakukan kontrol dengan menyesuaikan pakaian dengan kondisi iklim (Henry dan Nyuk, 2004). Dengan kontrol ini penghuni memberikan toleransi menerima kondisi kenyamanan termal dalam ruang meskipun belum sepenuhnya memenuhi syarat zona kenyamanan termal ASHRAE 55.

KESIMPULAN

Pada bangunan-bangunan di daerah dengan iklim tropis lembab banyak mengalami kesulitan untuk memenuhi standar yang disyaratkan sesuai zona kenyamanan ASHRAE 55. Hal ini disebabkan karena variabel yang mempengaruhi kenyamanan termal kurang mendukung, diantaranya suhu udara, kelembaban relatif, radiasi sinar matahari dan kecepatan udara dalam ruang. Untuk mencapai kenyamanan termal yang diinginkan perlu dilakukan kontrol atau tindakan adaptif dari penghuni diantaranya dengan mengatur sistem ventilasi, mengatur sirkulasi angin secara mekanik, memberikan tirai pada bagian bangunan yang langsung terkena radiasi matahari bahkan disarankan untuk membuat disain perangkat *shading* matahari untuk meminimalkan panas radiasi.

Suhu udara di luar zona kenyamanan dapat diterima oleh penghuni di daerah tropis lembab. Hal ini menunjukkan bahwa standar internasional kenyamanan termal ASHRAE 55 tidak mutlak berlaku di daerah beriklim tropis lembab, sehingga perlu diusulkan standard khusus untuk daerah beriklim tropika lembab.

DAFTAR PUSTAKA

- Alison G. K. dan C.Chungyoon. 2003. Thermal comfort in Japanese schools, *Solar Energy* 74 (2003) 245–252.
- ASHRAE. 1992. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Standard 55-1992. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA.
- Badrulzaman, J., S.Ismail dan R.M. Hisyam. 2011. Evaluating the Impact of Vertical Greenery System on Cooling Effect on High Rise Building and Surroundings: A Review. *Proceedings The 12 th International Conference on Sustainable Environment and*

- Architecture (SENVAR), University of Brawijaya, Indonesi 2011.
- Brager, G.S. dan de Dear. 2000. A Standard for Natural Ventilation. *ASHARE Journal* (42)10: 21-29.
- Cheng, M., R.Hwang dan T.Lin. 2008. Field Experiments on Thermal Comfort Requirements for Campus Dormitories in Taiwan. Published by SAGE, *Indoor built environ* (17)3: 191-202.
- De Dear dan G.S. Brager. 2002. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55, *Jurnal : Energy and Buildings* 34, Elsevier Science, www.elsevier.com/locate/enbuild.
- Fanger. 1982. *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar.
- Gosselin, J.R. dan Q.Chen. 2008. A dual airflow window for indoor air quality improvement and energy conservation in buildings, *HVAC&R Research*, 14(3): 359-372.
- Henry F. dan N.H.Wong. 2004. Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia, *Energy and Buildings* 36 (2004) 614–626 Elsevier B.V. All rights reserved
- Ho, C.J. dan C.C.Lin. 2006. Experiments on Natural Convection Heat Transfer of a Nanofluid in a Square Enclosure", *Proceedings of The 13th International Heat Transfer Conference*.
- Ho, H.S., R.Luis. dan M.M. Rahman. 2009. Thermal Comfort Enhancement by Using A Ceiling Fan. *Applied Thermal Engineering* (29)8-9 pp. 1648-1656.
- Howell, R. H. dan D.W.Land. 2004. Air-cooled HVAC retrofit: Safe bet for vegas schools: *ASHRAE American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers Journal*,46:28–34.
- Iftikhar A. R., J.F.Nicol, K.J.McCartney dan A.Michael. 2001. Humphreys, Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings, *Energy and Buildings* 33 (2001) 235±244
- ISO/WD 7730. 2000. Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort.
- Kunzel, H., Holm, A., Zirkelbach, D., dan A.Karagiozis. 2005. Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope, *Sol Energy*, 78:554–561.
- Lazzerini, R., Curtis, D., Bowen, R., Patel, M., Ruscisa, G., Lazzerini, P., Renzio, M., Zabot,S., Guarino, D., dan A.Cellie. 1991. ANNEX XV – Energy Efficiency in Schools. Part One. Paris, IEA – International Energy Agency, Corso Brescia 62 – 10152 Torino.
- Lee, S.C. dan M.Chang. 2000. Indoor and Outdoor Air Quality Investigation at Schools in Hong Kong. *PERGAMON Journal, Chemosphere* 41:09-113.
- Manz, H. Dan T.Frank. 2005. Thermal simulation of buildings with double-skin fac,ades: *Energy Build*, 37:1114–1121.
- Nugroho, M.A. 2011. A Preliminary Study of Thermal Environment in Malaysia's Terraced Houses, *Journal and Economic Engineering: 2(1)*, 25-28
- Roonak,D., S.Kamaruzzaman dan M.Jalil. 2009. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Office Under Varied Opening Arrangements: Objective and Subjective Approach *European Journal of Scientific Research EuroJournalsPublishing, Inc.* 2009
- Sabarinah, S.H. dan Ahmad. 2006. Thermal Comfort and Building Performance of Naturally Ventilated Apartment Building in the Kelang valley: A Simulation Study. *Proceedings of theEnergy in buildings (sustainable symbiosis) Seminar*, 115-132.
- Santoso, E.I. 2012. Pengaruh penataan taman sayur organik terhadap kenyamanan termal ruang dalam (indoor) Penelitian disertasi Universitas Brawijaya, Malang 2012.
- Sulaiman, R.S.W., M. Rodzi Ismail dan M.A.Egbal. 2011. A Case Study of the Climate Factor on Thermal Comfort for Hostel Occupants in Universiti Sains Malaysia (USM), Penang, Malaysia, *Journal of Sustainable Development*, 4 (3), 50-61
- Warden, D. 2004. Dual fan, dual duct goes to school. *ASHRAE American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers Journal*, 46:18–27.
- Wijaya, S. 2007. Kenaikan Suhu Udara di Surabaya. <file:///localhost/C:/Documents%20and%20Settings/user/My%20Documents/BAHAN/Kenaikan%20Suhu%20Udara%20di%20Surabaya%20Yang%20Tertinggi%20Di%20Dunia.mht> (18 Oktober 2010)
- Wong,N.H. dan S.S.Khoo. 2002. Thermal comfort in classrooms in the tropics, *Energy and Buildings* 35 (2003) 337–351

Tabel 1. Alat ukur fisik yang digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan termal lingkungan indoor dan tujuan/fungsi pengukuran

No	Judul/Objek	Penulis	Latar belakang	Tujuan	Parameter
1	Studi awal lingkungan termal dalam rumah bertingkat di Malaysia	Agung Murti Nugroho (2011)	Suhu udara dan kelembaban yang tinggi dapat diselesaikan melalui disain ventilasi udara untuk memper oleh kenyamanan termal	menyelidiki lingkungan termal di dalam ruangan dan kondisi kenyamanan sebuah rumah bertingkat, didasarkan pada pengukuran lapangan.	Suhu udara (Ta), Suhu radiasi (MRT), Kelembaban relatif (RH), Kecepatan udara relatif (Vf), Tingkat metabolisme (M)
2	Kenyamanan Thermal dalam Kantor berventilasi dengan pengaturan bukaan yang bervariasi : Pendekatan Obyektif dan Subyektif Di Malaysia	Roonak Daghigh, Kamaruzzaman Sopian, Jalil Moshtagh (2009)	Penghematan energy tanpa mengorbankan kenyamanan termal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ identifikasi & evaluasi kenyamanan termal dalam ruangan kantor ventilasi alami melalui pengaturan bukaan pintu/jendela ▪ mengetahui persepsi penghuni dari tingkat kenyamanan termal melalui pendekatan subyektif ▪ menentukan suhu netral di kantor untuk setiap kondisi, dan ▪ membandingkan dengan yang ditentukan oleh ASHRAE 	Kecepatan udara, Kelembaban relatif, suhu bola kering dan suhu bola basah., Persepsi kenyamanan
3	Kenyamanan termal ruang Sekolah di Jepang	Alison G. Kwoka, dan Chungyoon Chubn (2003)	Efisiensi penggunaan energi listrik yang besar untuk AC dengan cara menggunakan penghawaan alam, pada musim panas, terkait dengan kebiasaan pemakaian AC pada bangunan sekolah	<p>menguji penerapan standar kenyamanan termal dalam konteks budaya dan iklim di Jepang. Studi kasus kenyamanan termal di sekolah:</p> <p>(1) mencirikan lingkungan fisik dua rezim pengkondisian khas, ruang kelas ventilasi alami dan ber-AC untuk kondisi musim panas;</p> <p>(2) membandingkan kondisi ruang kelas fisik dg standar kenyamanan termal;</p> <p>(3) membandingkan tanggapan dan perilaku untuk studi lapangan yang ada.</p>	Suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan udara, Persepsi kenyamanan
4	Kenyamanan termal untuk rumah ventilasi alami di Indonesia	Henry Feriadi, dan Nyuk Hien Wong (2004)	Kondisi suhu dan kelembaban yang tidak mungkin diubah tanpa sistem mekanik diharapkan dicapai kenyamanan termal indoor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Untuk menyelidiki persepsi kenyamanan termal penghuni yang tinggal di rumah - Indonesia. ▪ Mengevaluasi kesesuaian prediksi kenyamanan termal didasarkan pada model adaptif ▪ Untuk lebih memahami tindakan perilaku yang mempengaruhi persepsi kenyamanan termal 	Suhu udara, kecepatan angin dan kelembaban Persepsi kenyamanan
5	Faktor Iklim terhadap Kenyamanan Thermal untuk penghuni Pondokan di Universiti Sains Malaysia (USM), Penang, Malaysia	Sulaiman R S Wafi, Mohd Rodzi Ismail, Egbal Mohammed Ahmed (2011)	Banyaknya studi kenyamanan termal ruangan yang menghasilkan kepuasan yang berbeda sesuai dengan disain dan jenis bangunan serta beda iklim	untuk mengetahui pengaruh faktor iklim pada kenyamanan termal di dalam ruangan dari penghuni bangunan	suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin dan suhu bola.
6	Kenyamanan termal: Penggunaan kontrol pada bangunan berventilasi alami	Iftikhar Raja A. J. Fergus Nicol, Kathryn J. McCartney, Michael A. (2001)	Upaya pengendalian dan mengurangi kebutuhan energi untuk mendapatkan kenyamanan termal	Mengeksplorasi apakah suhu di luar ruangan memiliki efek pada suhu dalam ruangan dan bagaimana hal ini dipengaruhi oleh penggunaan 'kontrol lingkungan' selama puncak musim panas Pada bangunan konstruksi berat dan Bangunan konstruksi ringan	Suhu udara, sensasi termal dan preferensi pakaian,

No	Judul/Objek	Penulis	Latar belakang	Tujuan	Parameter
7	Kenyamanan termal ruang kelas di daerah tropis (di Singapura)	Nyuk Hien Wong Shan Shan Khoo (2002)	Sebagian besar kelas di Singapura menggunakan ventilasi alami dan mekanik/fan, perlu di evaluasi kebutuhan ventilasi dan fan untuk menciptakan kenyamanan termal dalam kelas	<ul style="list-style-type: none"> Untuk mengetahui kondisi termal dalam ruang kelas (melalui pengukuran objektif) dan membandingkan dengan ASHRAE standar 55-92 Untuk mengetahui persepsi penghuni 'dari tingkat kenyamanan termal dalam ruang kelas. Untuk menentukan suhu netral, kisaran suhu yang dapat diterima di ruang kelas. 	Suhu udara Kelembaban relatif Kecepatan udara

Tabel 1. Alat ukur fisik yang digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan termal lingkungan indoor dan tujuan/fungsi pengukuran (lanjutan)

Alat	Metode	Hasil	Diskusi	Kesimpulan
1. Logger Compact Kelembaban (CHL), dan Thermal Logger Data (TDG).	Metode survei lapangan (pengukuran langsung) pada ruang dalam, data umum (outdoor) dari Stasiun cuaca dunia (BMG)	Outdoor: Ta = 26.9 °C, RH= 65.6 – 97.6 %, Suhu udara netral = 28.2°C, Vf= 0.1 – 0.3 m/d Indoor: Ta indoor = Ta outdoor, kecuali pada jam 15.00-16.00 suhu outdoor 30°C	Lingkungan termal indoor relatif sama, perbedaan fluktuasi 0.5 – 1°C, sedang out door 0.5 – 4°C. Suhu rerata indoor 29.9°C (berorientasi ke arah Barat) pada tamu, 29.2°C pada dapur	kasus rumah bertingkat ini dalam zona ketidaknyamanan
2. BABUCA Kuesener	Metode survei lapangan Pengukuran data obyektif /fisik dengan alat Pengumpulan data subyektif Dengan kuesener	kisaran kenyamanan rata-rata di prediksi (PMV) untuk kantor ventilasi alami selama 14 kondisi adalah antara -0.8-2.8. Rentang kenyamanan diambil sebagai kondisi ketika PMV memiliki nilai antara -1 dan +1, Hasil penelitian menunjukkan bahwa kantor tidak berada dalam kisaran kenyamanan selama jam kerja untuk hampir semua kondisi	Kemungkinan besar karena udara di dalam kantor tersebut kecepatan udara rata-rata rendah (0.03 m / s) dan penyediaan udara luar (segar) ke lokasi tidak cukup seperti yang ditetapkan dari analisis ventilasi.	Rentang kenyamanan antara -1 dan +1, Berdasarkan ISO 7730-94, kondisi PMV dan PPD indeks untuk kenyamanan termal kantor tidak berada dalam kisaran zona kenyamanan ASHRAE standar 55-92, (suhu 26.1-27.5°C penelitian masih diatas zona standar)
3. irodata loggers Kuesener	Metode survei lapangan Pengukuran data obyektif /fisik dengan alat Pengumpulan data subyektif dengan kuesener	Suhu udara dan suhu radiasi adalah 26.9 dan 27.1 °C, masing-masing, di ruang kelas ventilasi alami dan 24.0 dan 24.2 °C di ruangan kelas ber-AC, selama musim panas. Kelembaban relatif adalah 72.8% pada ventilasi alami dan 50.7% di udara-AC bangunan, Kecepatan udara di ruang ventilasi 0.27 m/d dan ruang AC 0.08 m/d	Ruang kelas ber-AC memiliki kondisi dalam zona kenyamanan, sensasi suhu 'sedikit sejuk'. Ruang kelas ventilasi alami adalah 3 °C lebih hangat dari udara-AC ruang kelas dan penghuni memilih bahwa kondisi juga dalam tiga kategori pusat (sekitar netral) dari skala sensasi ASHRAE termal karena itu dirasakan nyaman.	Kenyamanan termal yang dirasakan tidak bisa diterima sama oleh semua penghuni kelas alami sebagaimana pada kelas ber AC yang dapat menyesuaikan dengan standar kenyamanan ASHRAE (TE = 23 – 26°C). Penyesuaian jenis pakaian untuk memperoleh kehangatan dalam kelas ber AC dengan sweater, sedang di kelas alami dengan baju kaos
4. Sensor udara dan data logger	Metode survei lapangan Pengukuran data obyektif /fisik dengan alat Pengumpulan data subyektif Dengan kuesener	Pakaian yang dipakai berbeda utk masing2 musim (hujan 0.34 clo, panas 0.27 clo). Suhu hujan 29.2°C, panas 29.8°C Kelembaban musim hujan 68.9 %, musim panas 68.2 %	Nilai Variabel yang ada tidak bisa menciptakan kenyamanan sesuai standar ashrae maupun humpers Lebih dari 90 % prediksi kenyamanan pada perasaan hangat dari netral	<ul style="list-style-type: none"> Lebih pesimis untuk mendapatkan kenyamanan pada tropis lembab menyesuaikan pakaian dengan kondisi iklim lebih sering berganti pakaian dan mandi untuk musim panas

Alat	Metode	Hasil	Diskusi	Kesimpulan
5. Hygro Sekonic ST 50, dan termometer	Percobaan lapangan (berperan serta) Regresi Linear dan Regresi Logistik digunakan sebagai metodologi untuk evaluasi	Ketika PMV (diprediksi suara rata –rata) adalah 1,6, PPD (persentase prediksi tidak puas) adalah 56.3% sementara itu Ketika PMV adalah 2.3, PPD adalah 88.3% Penelitian menunjukkan bahwa ketika pe ningkatan PMV, PPD meningkat juga. Suhu outdoor 27.6 °C pada jam 12:00 – 38 °C pada jam 15.00. sedangkan suhu indoor 27.5 °C – 33.6 °C di siang hari	Perbedaan suhu 10.4°C. Ini berarti bahwa selama ini, suhu luar ruangan pada siang hari rata-rata berada di luar zona kenyamanan Beda suhu outdoor dan indoor maksimum 4.4°C, menunjukkan suhu indoor berada di luar zona kenyamanan. Namun, pagi dan malam, suhu udara sangat dekat zona kenyamanan (ASHRAE).	Semua kamar asrama memiliki masalah dengan aliran suhu, kelembaban dan terutama udara pada kamar yang tidak memiliki jendela, sehingga sangat membatasi sirkulasi aliran udara Tanggapan responden pria dan wanita tentang kenyamanan dalam ruangan masing-masing suhu 28.8 °C dan 28.35 °C
6. Termometer	Metode survei lapangan suhu luar ruangan dicatat dari Stasiun Meteorologi Pengumpulan data subyektif dengan kuesener	Suhu pada bangunan konstruksi berat lebih rendah dibanding pada bangunan konstruksi ringan Penggunaan kontrol: Pintu terbuka, tidak memberikan pengaruh signifikan pada suhu Jendela terbuka, memberi pengaruh terbesar pada penurunan suhu ruangan sampai 1.5 °C Tirai tidak berpengaruh pada suhu, hanya mengurangi silau	Pembukaan jendela dipengaruhi Suhu outdoor, dimana pada suhu outdoor 15°C dan indoor 20°C jendela mulai dibuka oleh penghuni untuk memperoleh kondisi termal, pada suhu indoor melebihi 27°C jendela dibuka secara penuh	Penggunaan berbagai kontrol memainkan peran yang signifikan dalam memodifikasi kondisi termal dalam ruangan. Ventilasi silang akan lebih membantu menurunkan suhu dalam ruangan
7. Kanomax Climomaster (Model 6521). Termometer diameter 150 mm	Metode survei lapangan Pengukuran data obyektif /fisik dengan alat Pengumpulan data subyektif dengan kuesener	Regresi analisis rata-rata PMV memberikan tn dari 26.1 °C, yang merupakan 2.7 °C lebih rendah dari yang diberikan oleh TSV berarti. Di bawah prediksi sensasi termal oleh model PMV. Penghuni mendukung sensasi panas ke arah yang lebih dingin. Hal ini lebih diilustrasikan dng menunjukkan bahwa 72,4% dari penghuni dalam kategori netral ingin merasa lebih dingin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perbedaan –individu dapat memengaruhi jawaban responden untuk pertanyaan sensasi termal ▪ 24.1% dari suara orang” netral” ingin ada perubahan termal mereka. Persentase ini lebih rendah daripada yang ditemukan dalam kategori yang lebih dingin dari skala ASHRAE. Bahkan, setinggi 59.2 dan 42.1% dari orang yang merasa sejuk dan dingin tampaknya puas dengan kondisi termal mereka. Hal ini menunjukkan bahwa sensasi netral tidak selalu ideal, atau lebih disukai orang. 	Pengukuran yang objektif menunjukkan tidak ada ruang kelas memiliki termal yang berada dalam zona kenyamanan ASHRAE standar 55 Hampir setengah dari responden mengeluhkan panas radiasi dari jendela terutama mereka yang duduk dekat jendela tanpa koridor, disarankan perangkat shading matahari dipasang untuk meminimalkan panas radiasi. Suhu netral yang dapat diterima 28,8°C sebagaimana penelitian sebelumnya