

**KENYAMANAN TERMAL PADA RUANG IKLIM DI DUA DAERAH DENGAN  
KARAKTERISTIK IKLIM YANG BERBEDA  
STUDI KASUS : MALANG DAN SURABAYA**  
**Thermal Comfort on Thermal Chamber in Two Different Climate Regions  
Case Study : Malang and Surabaya**

**<sup>1</sup> Muhammad Nur Fajri Alfata, <sup>2</sup>Agung Murti Nugroho, <sup>3</sup>Sri Nastiti Ekasiwi**

<sup>1</sup>Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum  
Jl. Panyawungan Cileunyi Wetan-Kabupaten Bandung 40393

<sup>2</sup>Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya Malang  
Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145

<sup>3</sup>Jurusan Arsitektur Institut Teknologi Sepuluh November  
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

E-mail : <sup>1</sup>ariel.alfata@puskim.pu.go.id, <sup>2</sup>sasimurti@yahoo.co.id, <sup>3</sup>nastiti@arch.its.ac.id

Diterima : 03 Februari 2014; Disetujui : 20 Maret 2014

**Abstrak**

*Penelitian kenyamanan termal perlu banyak dilakukan di Indonesia, karena Indonesia berada di daerah tropis dan wilayah yang luas memiliki corak iklim yang berbeda antara daerah yang satu dengan yang lain. Penelitian ini bertujuan mendapatkan tingkat kenyamanan termal di Indonesia dengan metode penelitian laboratorium (ruang iklim) pada dua kota dengan iklim lokal yang berbeda, yaitu Kota Surabaya dan Malang. Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi data penelitian kenyamanan termal sebelumnya di Indonesia. Dengan penelitian laboratorium, data respon termal diperoleh dengan menggunakan kuesioner tentang respon termal. Ruang iklim dirancang khusus dengan mengendalikan suhu udara dan kecepatan angin. Suhu udara di Malang diatur pada suhu udara 23,0–28,0°C, sedangkan di Surabaya diatur pada suhu udara 28,0–31,0°C. Sementara itu, kecepatan angin di kedua kota diatur pada 0 m/s, 0,3 m/s, 0,4 m/s, 0,8 m/s, dan khusus di Surabaya ditambah dengan kecepatan angin 1,0 m/s. Kuesioner meliputi tiga aspek, yaitu respon termal, keterterimaan termal, dan preferensi termal. Penelitian melibatkan total 41 responden dari Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya Malang dan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Analisis statistik yang meliputi analisis statistik deskriptif, regresi linier, serta regresi (binary logistic) digunakan untuk menganalisis data respon termal. Dari 454 respon termal, diperoleh suhu netral dan keterterimaan termal di kedua kota tersebut, sementara suhu preferensi memiliki korelasi yang tidak signifikan.*

**Kata Kunci :** Respon termal, ruang iklim, suhu netral, keterterimaan termal, suhu preferensi

**Abstract**

*Research on thermal comfort in Indonesia need to be more carried out since Indonesia is situated in tropical region with vast area and different climate characteristics between one to another region. This research is aiming to obtain thermal comfort level using laboratory experiment (thermal chamber) at two different local-climate regions in Indonesia, Surabaya and Malang. This research is expected to complete the previous studies on the same subjects in Indonesia. By using laboratory experiments, data of thermal responses were obtained by questionnaires containing three main questions: thermal responses, thermal acceptance, and thermal preference. Thermal chamber were modified to control air temperature and wind speeds. Air temperatures in Malang were set at 23,0–28,0°C, while in Surabaya at 28,0–31,0°C. Meanwhile, the wind speed in both cities is set at 0 m/s, 0.3 m/s, 0.4 m/s, 0.8 m/s, and for Surabaya only, it was added by 1.0 m/s. The questionnaire includes three aspects: thermal response, thermal acceptance, and thermal preference. This study involved the total of 41 respondents from Department of Architecture of Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya and the Universitas Brawijaya Malang. Data of thermal responses were analyzed using statistics approach including simple linear regression, descriptive analysis, and binary logistic. From 454 thermal responses obtained, this research resulted neutral temperature and thermal acceptance at both cities. Meanwhile the temperature preferences are not concluded since it had no significance correlation.*

**Keywords :** Thermal responses, thermal chamber, thermal neutrality, thermal acceptance, thermal preference

**PENDAHULUAN**

Kajian tentang kenyamanan termal di Indonesia sangat penting, karena berkaitan dengan kesehatan dan upaya konservasi energi pada bangunan gedung. Kenyamanan termal juga menjadi salah satu persyaratan keandalan bangunan gedung sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 28/2002 tentang Bangunan Gedung. Kenyamanan termal didefinisikan sebagai *condition of mind that expres satisfaction with the thermal environment* (ASHRAE 2001). Berdasarkan definisi tersebut, terdapat variasi fisiologis dan psikologis yang besar antara satu orang dengan orang yang lain, sehingga sulit untuk memenuhi kepuasan orang terkait dengan kenyamanan termal. Kondisi termal yang dibutuhkan oleh setiap orang berbeda-beda. Kenyamanan termal sangat dipengaruhi oleh empat variabel alam dan dua variabel personal. Empat variabel alam tersebut antara lain temperatur udara (Ta), kelembaban udara (RH), kecepatan angin (va), dan suhu radiasi (mrt). Dua faktor manusia adalah aktifitas (metabolisme) yang dilakukan dan insulasi termal yang digunakan (clo).

Untuk mendapatkan tingkat kenyamanan termal, pengumpulan data melalui penelitian lapangan dan

laboratorium perlu dilakukan secara ekstensif. Beberapa penelitian tentang kenyamanan termal di Indonesia sudah banyak dilakukan, baik dengan penelitian lapangan maupun melalui penelitian laboratorium. Penelitian dengan ruang iklim merupakan salah satu penelitian laboratorium yang dapat digunakan untuk menggali secara ekstensif tingkat kenyamanan termal di Indonesia. Penelitian kenyamanan termal di laboratorium pertama kali dilakukan oleh Mom dan Wiesebron tahun 1936 di Bandung (Karyono 1996a). Penelitian serupa dilakukan di ITB Bandung tahun 2008 dengan metode thermal chamber (Karyono2008), dan di Universitas Syiah Kuala di Aceh (Munir Sofyan & Muslimsyah 2011). Sementara itu, penelitian lapangan kenyamanan termal di Indonesia diantaranya dilakukan oleh Karyono (2000), Feriadi & Wong (2004), Sujatmiko (2008) dan penelitian Pusat Litbang Permukiman (2010, 2011). Penelitian-penelitian tersebut pada umumnya menyimpulkan bahwa tingkat kenyamanan termal di Indonesia lebih tinggi daripada yang dipersyaratkan oleh ASHRAE melalui model Predicted Mean Vote – Predicted Percentage Dissatisfied (PMV-PPD). Tabel 1 memperlihatkan hasil penelitian kenyamanan termal sebelumnya di Indonesia.

**Tabel 1** Suhu Nyaman di Indonesia dengan Pendekatan Adaptif dari Penelitian Sebelumnya

No.	Peneliti	Lokasi Penelitian	Tahun	Suhu Netral (°C)	Rentang Suhu Nyaman (°C)	Keterangan
1	T. H. Karyono	Jakarta	1995	27,1	25,2 – 28,4	AC*, dalam T <sub>o</sub> ***
2	T. H. Karyono	Bandung	2008	25,4	23,8 – 27,0	AC
3	Pusat Litbang Permukiman	Jakarta Surabaya Medan Makassar	2011	26,5 29,2 28,2 27,7	25,5 – 27,6 27,6 – 30,9 27,1 – 29,4 26,6 – 28,8	AC, dalam T <sub>o</sub>
4	M. N. F. Alfata	Malang	2010	27,8	26,9 – 28,6	NV**
5	H. Feriadi & N.H. Wong	Yogyakarta	2004	29,2	28,3 – 30,0	NV
6	Munir, <i>et al.</i>	Aceh	2009	29,2 27,4	28,5 – 30,7 25,2 – 29,6	AC NV
7	W. Sujatmiko	Surabaya Bandung Semarang Jakarta	2008	27,7	-	NV dan AC
8	A. D. Hariyanto	Surabaya	2005	28,5	-	AC

Catatan:

\*) Air Conditioned Building : Bangunan berpengondisi udara

\*\*) Naturally Ventilated Building : Bangunan berpenghawaan alami

\*\*\*) T<sub>o</sub> : operative temperature

Indonesia yang berada di daerah tropis dan wilayah yang luas serta memiliki corak iklim yang berbeda antara daerah yang satu dengan yang lain. Penelitian ini bertujuan untuk menggali lebih dalam kenyamanan termal di Indonesia dengan menggunakan penelitian laboratorium (ruang iklim). Kota Malang dan Surabaya digunakan sebagai studi kasus karena memiliki karakteristik iklim yang berbeda satu sama lain dan dapat dianggap mewakili variasi iklim di Indonesia. Surabaya yang terletak di atas ketinggian 3-6 m di

atas permukaan air laut (dpl) memiliki suhu udara rata-rata bulanan yang lebih tinggi daripada Kota Malang yang memiliki ketinggian 440-667 mdpl. Karakteristik kecepatan angin antara kedua kota tersebut berbeda, dimana kecepatan angin rata-rata di Surabaya adalah 1,67 m/s (BPS, 2011) dan di Malang adalah 1,16 m/s (BPS, 2013). Sementara itu, kelembaban udara antar keduanya tidak jauh berbeda, di mana RH di Surabaya berkisar antara 51-96% (rata-rata 78%) dan di Malang antara 45-95% (rata-rata 80%). Sehingga, hasil penelitian

diharapkan dapat memperkaya pemahaman tentang kenyamanan termal di Indonesia, serta melengkapi penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

**METODE PENELITIAN**

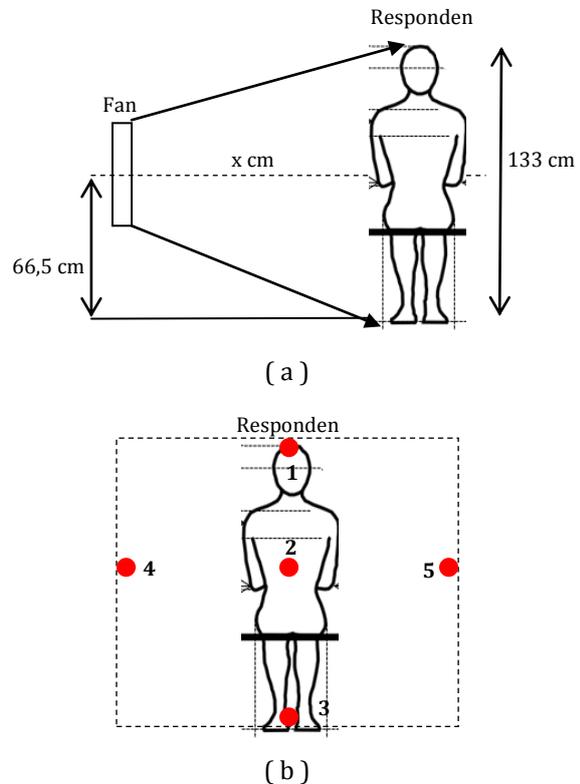
Penelitian eksperimen ini menggunakan ruang iklim untuk mengendalikan beberapa besaran termal serta kuesioner untuk mendapatkan data respon termal dengan melibatkan mahasiswa di Jurusan Arsitektur Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya dan Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya (UB) Malang.

**Ruang Iklim**

Untuk mendapatkan data sebagaimana dinyatakan dalam tujuan penelitian ini, penelitian dilakukan dengan menggunakan ruang iklim. Ruang iklim yang digunakan adalah sebuah ruang kelas yang dimodifikasi khusus dengan beberapa variabel termal yang dapat dikendalikan dan diisolasi dari pengaruh iklim lingkungan luar. Ruang iklim yang digunakan adalah ruang kelas Jurusan Arsitektur ITS Surabaya dan ruang kuliah Jurusan Arsitektur UB Malang. Besaran termal yang dikendalikan dalam ruang iklim tersebut adalah suhu udara dan kecepatan angin. Pengatur suhu udara dalam ruangan menggunakan *air conditioning system*, Kecepatan angin dikendalikan dengan kipas angin (*fan*) elektrik yang dapat diatur kecepatannya dengan menggunakan kontroller arus yang masuk ke koil (kumparan) motor kipas angin. Semakin banyak arus yang masuk, maka putaran motor semakin besar, sehingga kecepatan angin yang dihasilkan juga semakin besar. Penelitian di Malang dilakukan pada tanggal 18–21 Oktober 2012, sementara penelitian di Surabaya dilakukan pada tanggal 29–31 Oktober 2012.

Validasi terhadap ruang iklim dilakukan terhadap dua variabel utama yaitu suhu udara dan kecepatan angin. Validasi suhu udara dilakukan pada titik-titik tertentu (*sampling*) di dalam ruang iklim untuk mendapatkan keseragaman pengukuran suhu udara, serta validasi terhadap waktu yang dibutuhkan agar suhu ruangan mencapai suhu atur (*set-point temperature*). Teknik pengaturan yang digunakan adalah dengan menurunkan suhu udara dalam ruang iklim sebesar 1°C dari suhu atur dengan menggunakan pengondisi udara, dan kemudian suhu AC dimatikan dan waktu yang diperlukan bagi ruangan tersebut untuk menaikkan suhu udara sebesar 1°C dihitung. Misalnya, suhu atur ruang iklim adalah 25°C, maka suhu ruangan diturunkan terlebih dulu menjadi 24°C, kemudian AC dimatikan, dan waktu yang dibutuhkan untuk kembali naik menjadi 25°C dicatat. Saat suhu udara mencapai suhu udara 25°C, responden diminta

untuk memasuki ruang pengondisian setelah sebelumnya melakukan aklimatisasi di ruang aklimatisasi.



**Gambar 1** (a) Validasi Jarak Optimum Kipas Angin terhadap Responden dan (b) Titik Pengukuran untuk Validasi Kecepatan Angin Sekitar Responden

Validasi selanjutnya adalah validasi kecepatan angin untuk menentukan jarak optimum alat penghasil kecepatan angin (kipas angin) terhadap responden sehingga memungkinkan seluruh tubuh responden terkena hembusan angin dari kipas angin. Validasi ini juga bertujuan untuk menguji kinerja alat pengatur kecepatan angin. Posisi responden adalah duduk, sehingga berdasarkan data antropometri mahasiswa Indonesia (Chuan, Hartono & Kumar 2010), maka posisi antropometri yang digunakan adalah pada posisi duduk (yaitu 133 cm). Pengujian alat pengatur kecepatan angin dilakukan dengan mengatur kecepatan angin pada kecepatan : 0,3 m/s; 0,4 m/s; 0,8 m/s dan 1,0 m/s. Validasi dilakukan dengan mengatur posisi (jarak) kipas angin dan tempat duduk responden (Gambar 1a) dan mengukur kecepatan angin pada beberapa titik sekitar responden untuk mengukur homogenitas (keseragaman) kecepatan angin yang mengenai responden (Gambar 1b). Hasil validasi kecepatan angin menunjukkan bahwa jarak optimum agar kecepatan angin yang mengenai responden memiliki kecepatan angin yang merata adalah sekitar 160 cm. Pada jarak tersebut, kecepatan angin yang mengenai responden relatif seragam (galat antar-titik yang relatif kecil).

**Responden**

Responden dalam penelitian ini adalah mahasiswa Jurusan Arsitektur UB Malang dan Jurusan Arsitektur ITS Surabaya. 20 mahasiswa Jurusan Arsitektur UB Malang terlibat dalam penelitian ini, yang terdiri dari 9 orang laki-laki dan 11 orang perempuan. Sementara itu, 21 mahasiswa Jurusan Arsitektur ITS terlibat dalam penelitian di Kota Surabaya. Dari 21 responden tersebut, sebagian besar 61,9% adalah perempuan dan sisanya laki-laki. Secara keseluruhan, 41 responden terlibat dalam penelitian ini, dengan 58,5% perempuan dan sisanya laki-laki. Responden diukur pada level aktifitas 1,0 met, yaitu aktifitas untuk duduk dan santai. Tabel 2 menyajikan karakteristik fisik responden di kedua kota tersebut.

Perhitungan nilai *clo* didasarkan pada perhitungan menurut ISO 7730. Responden laki-laki di Malang umumnya menggunakan kaos lengan pendek tanpa celana dalam serta celana jeans dan sandal (tidak menggunakan sepatu), sedangkan responden perempuan sebagian besar tidak mengenakan jilbab. Responden perempuan yang tidak berjilbab pada umumnya menggunakan kaos lengan pendek dan celana jeans tanpa sepatu, sedangkan yang berjilbab menggunakan jilbab tipis (bahan sifon – jilbab Paris), kaos lengan panjang, serta celana jeans (hanya sedikit yang menggunakan rok panjang), serta tanpa menggunakan sepatu. Pakaian yang dikenakan oleh responden laki-laki rata-rata memiliki nilai *clo* lebih kecil daripada yang dikenakan oleh responden perempuan.

Pakaian yang dikenakan oleh responden laki-laki di Surabaya umumnya kemeja lengan pendek (beberapa lengan panjang dan kaos polo), bercelana jeans serta bersepatu dan berkaos kaki. Responden laki-laki pada umumnya juga menggunakan kaos dalam sebagai pelapis baju yang dikenakan, baik kaos tanpa lengan maupun kaos berlengan. Sementara itu, responden

perempuan di Surabaya sebagian besar menggunakan jilbab (tipis berbahan kain sifon/nilon). Responden yang berjilbab memakai kemeja/blus lengan panjang dan celana jeans panjang (sebagian menggunakan rok panjang), bersepatu dan berkaos kaki. Sementara responden yang tidak menggunakan jilbab pada umumnya menggunakan baju blus lengan pendek dan lengan panjang (terdapat beberapa responden perempuan tidak berjilbab yang memakai kaos), bercelana jeans, serta bersepatu (tanpa kaos kaki). Gambar 2 memperlihatkan tipikal pakaian yang dikenakan oleh responden saat pengukuran.



Gambar 2 Pakaian Tipikal Responden

**Instrumen Pengukuran**

Variabel fisik yang diukur dalam penelitian ini antara lain suhu udara ( $T_a$ ), kelembaban udara (RH), suhu globe ( $T_g$ ), dan kecepatan angin ( $v_a$ ). Pengukuran  $T_a$ ,  $T_g$ , dan RH menggunakan Indoor Air Quality (IAQ) Meter Questemp 36 dari Quest Technology, USA. Questemp 36 memiliki sensor yang dapat mengukur kondisi lingkungan (temperatur dan RH) hingga radius 200 kaki. Tingkat akurasi pengukuran alat ini adalah  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  untuk pengukuran temperatur antara  $0-100^\circ\text{C}$  ( $32-212^\circ\text{F}$ ), dan  $\pm 5\%$  untuk pengukuran kelembaban udara (RH).

Tabel 2 Karakteristik Responden

No	Variabel	Malang			Surabaya		
		L	P	Total	L	P	Total
1	Jumlah responden	9	11	20	8	13	21
2	Usia (thn)Min	19	19	19	18	18	18
	Max	21	21	21	22	21	22
	Rata-rata	19,7	19,6	19,7	20,1	19,5	19,7
	SD	0,7	0,7	0,7	1,6	1,0	1,2
3	Tinggi (cm)Min	161	149	149	168	150	150
	Max	191	165	191	180	172	180
	Rata-rata	174,3	155,5	164,0	173,9	158,2	164,1
	SD	10,0	4,9	12,1	4,5	6,5	9,6
4	Berat (kg)Min	56	41	41	50	40	40
	Max	85	80	85	78	61	78
	Rata-rata	73,3	57	64,4	71,0	50,9	58,6
	SD	11,1	12,6	14,3	9,6	7,1	12,7
5	Clo Min	0,38	0,43	0,38	0,45	0,45	0,45
	Max	0,47	0,58	0,58	0,67	0,65	0,67
	Rata-rata	0,43	0,50	0,47	0,54	0,57	0,56
	SD	0,02	0,07	0,06	0,08	0,07	0,07

Keterangan: L adalah Laki-laki dan P adalah Perempuan

### Kuesioner

Kuesioner ini memuat beberapa pertanyaan pokok yang meliputi pertanyaan tentang respon termal, keterterimaan termal dan preferensi termal. Pertanyaan tentang respon termal bertujuan mendapatkan sensasi termal responden terhadap kondisi udara dalam ruangan. Kuesioner respon termal terdiri dari dua skala, yaitu skala ASHRAE dan skala Bedford. Skala ASHRAE digunakan untuk menentukan titik netral responden, sementara skala Bedford digunakan untuk menentukan titik nyaman responden. Skala ASHRAE memuat 7 skala sensasi termal, yaitu : -3 (dingin sekali/*cold*), -2 (dingin/*cool*), -1 (sejuk/*slightly cool*), 0 (netral), 1 (hangat/*slightly warm*), 2 (panas/*warm*), dan 3 (panas sekali/*hot*). Sementara itu, skala Bedford memuat tujuh skala, yaitu : -3 (sangat dingin/*too much cool*), -2 (dingin/*too cool*), -1 (sejuk nyaman/*comfortably cool*), 0 (nyaman), 1 (hangat nyaman/*comfortably warm*), 2 (panas/*too warm*), 3 (panas sekali/*too much warm*).

Kuesioner tentang keterterimaan termal bertujuan mendapatkan tingkat keterterimaan responden terhadap kondisi udara dalam ruangan, yang memuat pertanyaan : 1 (dapat diterima) dan 0 (tidak dapat diterima). Dan kuesioner tentang preferensi termal untuk mendapatkan harapan (preferensi) responden terhadap kondisi udara dalam ruangan. Pertanyaan ini memuat 3 skala McIntyre, yaitu : -1 (lebih sejuk), 0 (tetap/tidak berubah), dan 1 (lebih hangat)

### Prosedur Penelitian

Sebelum melakukan pengukuran, responden terlebih dahulu melakukan aklimatisasi pada ruang aklimatisasi. Ruang aklimatisasi adalah ruangan khusus yang berada dekat dengan ruang iklim yang disediakan untuk melakukan aklimatisasi. Ruang aklimatisasi di Malang dan Surabaya diatur pada suhu netral menurut persamaan suhu netral yang diberikan oleh ASHRAE (2001), yaitu masing-masing adalah 24,9°C dan 26,5°C. Pada saat yang bersamaan, suhu udara dalam ruang pengondisi udara (*thermal chamber*) diatur pada *setting* suhu tertentu. Setelah proses keduanya selesai, responden kemudian masuk ke dalam ruang iklim.

Pada tahap pertama, ruang iklim diatur pada suhu tertentu dengan kecepatan angin 0,0 m/s. Ruang iklim di Malang diatur pada suhu terendah 23,0°C dan dinaikkan setiap 1,0°C hingga mencapai suhu udara 28,0°C. Sementara itu, suhu udara ruang iklim di Surabaya di atur pada suhu udara terendah 28,0°C dan suhu udara tertinggi 31,0°C. Kelembaban udara tidak diatur dalam ruang iklim, karena keterbatasan peralatan untuk mengatur kelembaban udara. Setiap kenaikan suhu udara, responden diminta untuk mengisi kuesioner

tentang respon termal pada kondisi tersebut. Dengan demikian, terdapat enam pengulangan pada tiap responden di Malang dan empat pengulangan pada tiap responden di Surabaya, sehingga terdapat 120 respon termal di Malang dan 84 respon termal di Surabaya pada tahap pertama.

Dari penelitian tahap pertama dapat diketahui respon responden terhadap kondisi termal yang ada. Hasil kuesioner kemudian dipilih dan dipilah untuk menentukan responden yang memberikan respon termal tidak nyaman. Pengulangan percobaan pada ruang iklim dilakukan dengan pemberian kecepatan angin yang berbeda-beda pada suhu udara di mana responden tersebut merasa tidak nyaman. Pada saat yang bersamaan dengan pemilihan dan pemilahan kuesioner, responden masuk kembali ke ruang aklimatisasi untuk menyesuaikan kondisi tubuhnya terhadap suhu netral serta ruang iklim yang diatur kembali pada suhu *set point*.

Tahap kedua meliputi percobaan ruang iklim dengan pemberian kecepatan angin tertentu pada setiap responden. Responden di Malang diberikan perlakuan kecepatan angin 0,3 m/s; 0,4 m/s; dan 0,8 m/s, sementara responden di Surabaya selain diberikan kecepatan angin di atas, ditambahkan kecepatan angin 1,0 m/s. Perlakuan yang berbeda antara Malang dan Surabaya didasari pada hipotesa bahwa kebutuhan kecepatan angin di Surabaya akan lebih tinggi daripada di Malang. Saat diberikan perlakuan kecepatan angin tersebut, responden kembali diminta responnya dengan mengisi form kuesioner yang sama. Penelitian yang dilakukan pada tahap kedua ini menghasilkan 70 respon termal dari beberapa pengulangan terhadap 12 responden di Kota Malang. Sementara itu, 175 respon termal dari beberapa pengulangan terhadap 16 responden di Kota Surabaya dihasilkan pada tahap kedua ini.

### Analisis Data

Data yang diperoleh melalui penelitian dianalisis dengan menggunakan analisis statistik, diantaranya dengan menggunakan statistik deskriptif, regresi linier, analisis korelasi, dan analisis Logit (*binary logistic*). Analisis netralitas termal dilakukan dengan analisis regresi linier terhadap kuesioner bagian respon termal. Analisis regresi dilakukan pada besaran termal dan indeks kenyamanan termal yang diperoleh dari pengukuran dan perhitungan. Analisis penerimaan termal dilakukan pada hasil jawaban kuesioner. Analisis penerimaan dilakukan dengan memetakan rata-rata persentase jawaban responden pada suhu operasi tertentu.

Analisis preferensi termal dilakukan dengan menganalisis pertanyaan bagian preferensi termal dalam kuesioner. Dengan menempatkan nomor jawaban 2 sebagai jawaban untuk nomor 1 dan -1, maka diperoleh respon biner, nomor 1 untuk keinginan menjadi lebih hangat (atau menjadi lebih banyak kecepatan angin) dan -1 untuk menjadi lebih sejuk (atau menjadi lebih sedikit kecepatan angin). Regresi biner (*binary logistic*) digunakan untuk menganalisis respon biner tersebut, dengan pertanyaan bagian preferensi sebagai variabel *dependent* dan nilai variabel termal, misalnya suhu operasi  $T_o$ , sebagai *covariate*, untuk mendapatkan nilai kemiringan  $b$  dan konstanta  $a$  dari persamaan regresi menggunakan persamaan (Darlington dalam Sujatmiko 2008). Nilai preferensi termal diperoleh ketika Logit (PS) = 0,5.

$$\text{Logit (PS)} = a + b.T_o \tag{1}$$

dengan,

$$T_o = [\text{Logit (PS)} - a]/b \tag{2}$$

di mana :

$$\text{Logit (PS)} = \ln (PS/1-PS) \tag{3}$$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Iklim lokal Kota Malang memiliki suhu udara rata-rata lebih rendah daripada Kota Surabaya, sehingga ruang iklim di Malang tidak dapat

beroperasi pada suhu tinggi. Sebaliknya, ruang iklim di Kota Surabaya mampu bekerja pada suhu udara tinggi tetapi tidak mampu beroperasi pada suhu rendah. Sebanyak total 454 respon termal dihasilkan dari 195 respon termal di Malang dan sisanya (259 respon termal) dari Surabaya. Suhu udara pada ruang iklim di Malang dapat diatur pada suhu terendah 23,0°C dan suhu tertinggi 28,0°C dan kecepatan angin yang diberikan adalah 0,0 m/s, 0,3 m/s, 0,4 m/s dan 0,8 m/s, sehingga memiliki kecepatan angin rata-rata 0,2 m/s dan standar deviasi 0,3 m/s.

Ruang iklim di Kota Surabaya memiliki suhu udara minimum 27,6 °C dan maksimum 31,0 °C dengan rerata 29,7 °C dan standar deviasi 0,95 °C. Ruang iklim di Surabaya diberi tambahan kecepatan angin 1,0 m/s selain kecepatan angin yang sama yang diberikan di Malang. Kecepatan angin rata-rata pada ruang iklim di Surabaya adalah 0,4 m/s dengan standar deviasi 0,4 m/s. Bila dibandingkan antara ruang iklim kedua kota tersebut, selain rentang suhu yang berbeda, ruang iklim di Surabaya memiliki rentang kelembaban udara yang lebih lebar dengan tingkat deviasi yang lebih besar. Kondisi termal dalam ruang iklim pada kedua kota diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Besaran Termal pada Ruang Iklim

	$T_a$	$T_{wb}$	$T_g$	RH	$v_a$	$T_o$	PMV	PPD
<b>Malang</b>								
Min	23,0	19,4	23,6	68	0,0	23,3	-2,1	5
Max	28,0	24,0	28,4	73	0,8	28,2	1,1	79
Rata <sup>2</sup>	26,0	22,3	26,9	71,3	0,2	26,4	0,0	13,7
SD	1,7	1,4	1,5	1,6	0,3	1,6	0,6	11,0
<b>Surabaya</b>								
Min	27,6	22,3	27,9	51	0,0	27,7	0,0	5
Max	31,0	26,9	31,2	73	1,0	31,1	2,3	88
Rata <sup>2</sup>	29,7	24,5	30,1	62,7	0,4	29,9	1,4	45,8
SD	0,95	1,1	0,8	4,6	0,4	0,9	0,5	21,3

#### Respon Termal

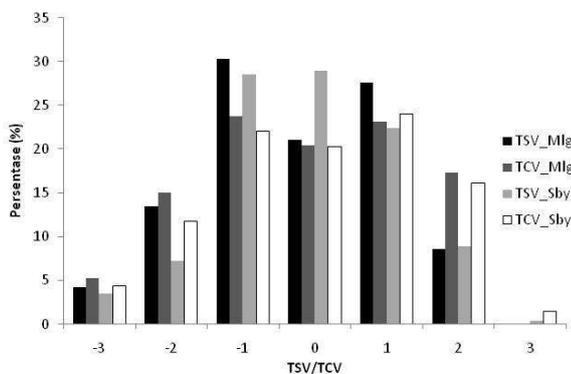
Respon terhadap kondisi termal ruang iklim dibedakan atas model teoritis dan adaptif. Model teoritis ditunjukkan oleh *Predicted Mean Vote (PMV)* – *Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)*, Sementara model adaptif dinyatakan dalam suhu netral terhadap variabel suhu operatif ( $T_o$ ). Di Malang, nilai PMV berada pada rentang nilai yang rendah, yaitu antara -2,1 (dingin) hingga 1,1 (hangat), sementara di Surabaya berada pada rentang nilai yang lebih tinggi, yaitu antara 0 (netral) hingga 2,3 (antara panas dan panas sekali). Hal ini berkaitan dengan kondisi ruang iklim, di mana besaran termal di ruang iklim Surabaya lebih tinggi daripada di Malang. Kondisi termal ruang iklim di Malang lebih dapat diterima daripada di Surabaya, di mana nilai PPD di Malang yang lebih rendah (13,7%) daripada di Surabaya (45,8%), meskipun rentang nilai PPD keduanya tidak

berbeda signifikan. Semakin mendekati nilai PPD 0%, kondisi udara diprediksikan semakin mendekati nyaman.

Respon termal terhadap kondisi iklim di dalam ruang iklim, baik saat tidak ada kecepatan angin maupun saat diberi kecepatan angin, ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa responden pada kedua kota tersebut memberikan respon termal terbesar antara -1 hingga 1, baik pada skala sensasi termal ASHRAE (*Thermal Sensation Vote/TSV*) maupun pada skala Bedford (*Thermal Comfort Vote/TCV*). Kombinasi ketiganya mencapai TSV 77,8% dan TCV 66,3% dari total responden. TSV tertinggi adalah sejuk (-1) sebesar 28,6%, sementara TCV tertinggi adalah hangat nyaman (1) sebesar 24,0%. Kondisi serupa terjadi di masing-masing kota, di mana TSV maupun TCV sebagian besar pada rentang -1 hingga 1. Di Malang, sekitar 74,9% responden memberikan respon antara -1

hingga 1 untuk TSV dan 64,1% untuk TCV, sementara di Surabaya sekitar 79,9% untuk TSV dan 68,0% untuk TCV.

Respon TSV dan TCV antara Malang dan Surabaya berbeda. Di Malang, respon TSV tertinggi adalah -1 (sejuk) dengan persentase 30,3% sementara TSV tertinggi di Surabaya adalah 0 (netral) dengan persentase sebesar 29,0%. Yang memilih netral (0) dan sejuk (-1) di Surabaya hampir sama, sementara TSV -1 (sejuk) dan 1 (hangat) di Malang tidak berbeda signifikan. Sementara itu, TCV terbesar di Malang pada sejuk nyaman (-1) sementara di Surabaya menunjukkan nilai hangat nyaman (1). Hampir tidak ada perbedaan yang besar antara responden yang memilih TCV sejuk nyaman (-1) dan hangat nyaman (1) di Malang.



Gambar 3 Respon Termal Responden

Gambar 3 juga menunjukkan bahwa responden yang memilih TCV 0 lebih kecil daripada mereka yang memilih TCV -1 maupun TCV 1. Hal ini berkorelasi dengan pilihan responden yang memilih TSV -1 dan TSV 1. Hal ini berbeda dengan temuan Feriadi & Wong (2004) yang menyatakan bahwa responden yang memilih TSV -1 cenderung memilih TCV 0 untuk menyatakan tingkat kenyamanannya, atau dengan kata lain, sejuk dipersepsikan nyaman oleh responden.

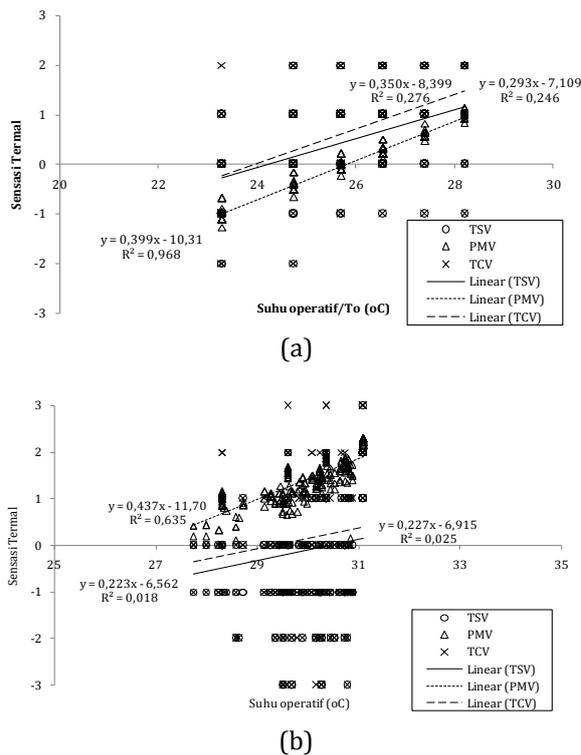
### Suhu Netral

Penentuan suhu netral tidak mudah, karena adanya perbedaan kebutuhan individual yang besar, sehingga tingkat kenyamanan yang sebenarnya memiliki perbedaan yang besar (Ong 2003). Perbedaan seperti berat/tinggi badan, jenis kelamin, usia, dan sebagainya adalah beberapa faktor yang berpengaruh terhadap suhu netral. Perbedaan ini juga dianggap menyebabkan persamaan suhu netral yang dihasilkan memiliki koefisien korelasi yang kecil. Menentukan suhu netral pada bangunan berventilasi alami jauh lebih sulit daripada bangunan berpendinginan udara. Penelitian Feriadi & Wong (2004) pada bangunan berventilasi alami menghasilkan persamaan suhu netral dengan koefisien korelasi 0,178, sementara Munir, et al. (2011) hanya menghasilkan

persamaan dengan koefisien korelasi sekitar 0,01. Penelitian yang sama yang dilakukan di Malang menunjukkan koefisien korelasi yang lebih baik ( $R^2=0,455$ ), tetapi dengan jumlah respon termal yang terbatas (Alfata 2011). Karena itulah, pengumpulan data melalui pengukuran lapangan perlu dilakukan sebanyak mungkin (ASHRAE 2004).

Pada dasarnya, penentuan suhu netral sebagai bagian dari pendekatan kenyamanan termal adaptif digunakan pada bangunan berventilasi alami di mana terdapat pola-pola adaptif penghuni bangunan berventilasi alami seperti membuka/menutup jendela/pintu, menyalakan kipas angin, membuka pakaian, minum air, mandi, dan sebagainya. Meskipun demikian, beberapa pada ruang berpendingin udara juga menggunakan metode adaptif untuk menentukan suhu netral di Indonesia (lihat misalnya Karyono 2000, 2008, Munir, et al. 2011, serta Pusat Litbang Permukiman 2011). Koefisien korelasi yang dihasilkan dari penelitian ini relatif lebih baik daripada yang diperoleh pada bangunan berventilasi alami.

Suhu netral ( $T_n$ ) diperoleh dengan menggunakan regresi linier terhadap suhu operatif ( $T_o$ ). Hasil regresi linier sensasi termal (TSV) dan kenyamanan termal (TCV) terhadap  $T_o$  di Malang ditunjukkan pada Gambar 4a, sementara di Surabaya ditunjukkan pada Gambar 4b. Gambar 4a menunjukkan bahwa persamaan regresi yang dihasilkan memiliki koefisien korelasi yang tidak tinggi. Persamaan suhu netral Malang ditunjukkan oleh persamaan :  $T_n=0,293.T_o-7,109$  ( $R^2=0,246$ ), Dengan memasukkan nilai  $T_n=0$ , maka diperoleh suhu netral Kota Malang berada pada  $T_o=24,3^\circ\text{C}$ . Dengan menggunakan kategori kenyamanan termal kelas B (ISO 2005), maka rentang zona nyaman di Kota Malang masing-masing berada pada rentang suhu operatif  $22,6^\circ\text{C}-26,0^\circ\text{C}$ . Persamaan suhu nyaman di Malang ditunjukkan dengan persamaan :  $T_c=0,350.T_o-8,399$  ( $R^2=0,276$ ). Dengan demikian, suhu nyaman di Malang adalah pada suhu operatif  $24,0^\circ\text{C}$  dan rentang suhu nyaman menurut skala Bedford adalah pada suhu operatif  $22,6^\circ\text{C}-25,4^\circ\text{C}$ . Suhu netral di Surabaya ditunjukkan oleh persamaan  $T_n=0,227.T_o-6,915$  ( $R^2=0,025$ ), Sementara itu, suhu nyaman pada skala Bedford dinyatakan dengan persamaan  $T_c=0,223.T_o-6,562$  ( $R^2=0,018$ ). Sehingga, suhu netral di Surabaya dinyatakan pada suhu operatif  $30,5^\circ\text{C}$  dengan rentang suhu nyaman pada  $T_o,28,3-32,7^\circ\text{C}$ . Sementara itu, suhu nyaman Kota Surabaya menurut skala Bedford adalah pada suhu operatif  $29,4^\circ\text{C}$  dengan rentang suhu nyaman pada  $T_o,27,2^\circ\text{C}-31,7^\circ\text{C}$ .



**Gambar 4** Regresi Linier terhadap TSV dan TCV di (a) Kota Malang dan (b) di Kota Surabaya

Temuan ini mempertegas penelitian sebelumnya di Indonesia bahwa daerah yang memiliki iklim lokal lebih rendah juga memiliki suhu netral yang lebih rendah daripada daerah yang memiliki iklim lokal yang lebih tinggi. Kota Malang yang memiliki iklim lokal lebih rendah dari Surabaya memiliki suhu netral yang lebih rendah. Hasil ini juga konsisten dengan model kenyamanan termal adaptif yang dikembangkan oleh ASHRAE melalui *Adaptive Comfort Standard (ACS)* (de Dear, Brager, & Cooper 1997). Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya terhadap bangunan berpendingin udara di Surabaya (Hariyanto 2008; Pusat Litbang Permukiman, 2011), suhu netral ruang iklim yang tidak berpendingin udara lebih tinggi daripada yang berpendingin udara. Hasil ini sekaligus mengonfirmasi temuan Munir, et al. (2011), yang menunjukkan bahwa responden pada bangunan berventilasi alami (tidak berpendingin udara) memiliki respon termal yang lebih tinggi daripada yang berpendingin udara.

Apabila diperhatikan, koefisien korelasi pada persamaan linier tersebut memiliki nilai di bawah 0,5. Koefisien korelasi yang rendah tidak dapat digunakan sebagai generalisasi atas penentuan suhu netral maupun suhu nyaman. Meskipun demikian, beberapa peneliti tetap menggunakan persamaan dengan korelasi rendah tersebut dan menganggap bahwa hasil tersebut dapat digunakan sejauh metode yang digunakan valid. Hal ini berkaitan dengan respon termal manusia pada

kondisi sebenarnya, yang pada dasarnya memang bervariasi.

Bila dibandingkan dengan penelitian kenyamanan termal lain di lokasi yang sama, terlihat bahwa suhu netral pada ruang iklim di Malang lebih rendah daripada penelitian sebelumnya, yaitu  $T_o$  24,3°C berbanding  $T_o$  27,8°C, serta rentang zona nyaman yang lebih rendah, yaitu 22,6–26,0°C berbanding 26,9–28,6°C (bandingkan Alfata 2011). Sementara di Surabaya, suhu netral dari studi ini lebih tinggi daripada penelitian sebelumnya (lihat Hariyanto 2008), yaitu  $T_o$  30,5°C berbanding  $T_o$  28,5°C. Sebagaimana penelitian sebelumnya, bahwa umumnya suhu netral pada ruang berpendingin udara relatif lebih rendah daripada berventilasi alami, maka hasil penelitian ini memperkuat hasil penelitian tersebut. Penelitian sebelumnya di Malang dilakukan pada bangunan berventilasi alami tanpa pendingin udara, sementara penelitian di Surabaya sebelumnya menggunakan sistem pendingin udara yang lebih baik daripada penelitian ini.

**Perbandingan dengan PMV-PPD**

Model kenyamanan termal statis umumnya merujuk pada model PMV-PPD sebagaimana diusulkan oleh Fanger. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara model adaptif dengan model statis (lihat Orosa & Oliveira 2011; Karyono1996b, 2008). Gambar 4a menunjukkan bahwa persamaan suhu netral terhadap PMV adalah  $T_n=0,399.T_o-10,31$  ( $R^2=0,968$ ). Sehingga, suhu netral ( $T_n$ ) dan rentang suhu nyaman ( $\Delta T_c$ ) Kota Malang sesuai dengan model tersebut masing-masing adalah  $T_o$  25,8°C dan  $T_o$  24,6–27,1 °C. Suhu netral Kota Surabaya dengan model PMV-PPD sebagaimana terlihat dalam Gambar 4b, ditunjukkan melalui persamaan  $T_n=0,437.T_o-11,70$  ( $R^2=0,635$ ). Suhu netral di Surabaya masing-masing adalah  $T_o$  26,8°C, dan rentang suhu nyaman adalah antara  $T_o$  24,5–29,1°C.

Apabila dibandingkan antara suhu netral hasil respon termal (TSV) dengan PMV, maka terlihat bahwa suhu netral di Malang lebih rendah daripada yang diprediksikan oleh model PMV, sementara di Surabaya menunjukkan gejala yang sebaliknya, yaitu lebih tinggi (lihat Tabel 4). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pada umumnya suhu netral dengan pendekatan adaptif memiliki nilai yang lebih tinggi daripada yang diprediksikan oleh model PMV-PPD (misalnya Husein & Rahman 2009; Zhang, et al. 2010; dan Candido, et al. 2010). Sehingga, suhu netral di Kota Malang yang lebih rendah daripada yang diprediksikan oleh model PMV merupakan temuan yang penting. Temuan ini juga

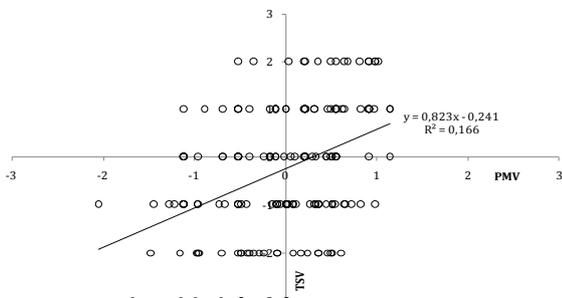
memperkuat hasil penelitian sebelumnya bahwa model PMV-PPD dapat digunakan pada daerah dengan kondisi iklim lokal yang relatif rendah seperti Kota Malang.

Perbandingan antara TSV dan PMV di Kota Malang ditunjukkan oleh persamaan  $TSV_m = 0,823 \cdot PMV_m - 0,241$  ( $R^2 = 0,166$ ), sedangkan perbandingan antara TCV dan PMV ditunjukkan melalui persamaan  $TCV_m = 0,986 \cdot PMV_m - 0,118$  ( $R^2 = 0,191$ ) (Gambar 5). Kedua persamaan tersebut memperlihatkan bahwa prediksi kenyamanan termal netral di Kota Malang ( $PMV = 0$ ) adalah ketika TSV  $-0,241$  (antara netral

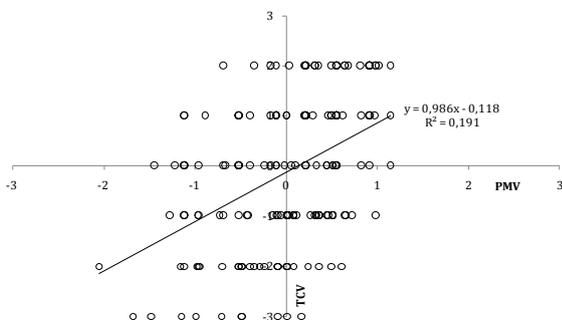
dan sejuk dengan kecenderungan lebih dekat ke netral) dan TCV  $-0,118$  (antara netral dan sejuk dengan kecenderungan lebih dekat ke netral). Dengan kata lain, responden merasa netral ( $TSV = 0$ ) adalah ketika  $PMV = 0,293$  (antara netral dan hangat dengan kecenderungan lebih dekat ke netral), serta merasa nyaman ( $TCV = 0$ ) adalah ketika  $PMV = 0,120$  (antara netral dan hangat dengan kecenderungan lebih dekat ke netral). Tampak bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara yang diprediksikan melalui model PMV dengan respon termal sebenarnya responden.

**Tabel 4** Perbandingan Suhu Netral di Malang dan Surabaya

No	Kota	Parameter	TSV (°C)	TCV (°C)	PMV (°C)
1	Malang	Suhu netral	24,3	24,0	25,8
		Rentang suhu nyaman	22,6-26,0	22,6 - 25,4	24,6 - 27,1
2	Surabaya	Suhu netral	30,5	29,4	26,8
		Rentang suhu nyaman	28,3 - 32,7	27,2 - 31,7	24,5 - 29,1



(a)

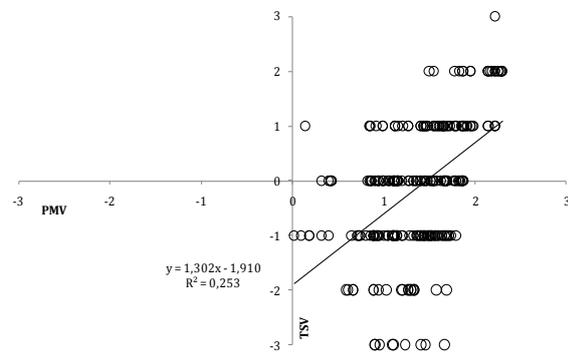


(b)

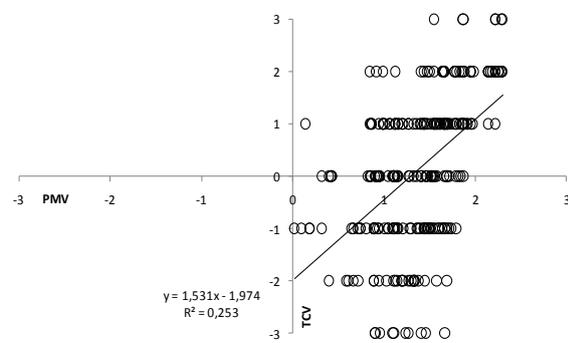
**Gambar 5** Perbandingan antara (a) TSV-PMV dan (b) TCV-PMV di Malang

Perbandingan antara TSV dan TCV terhadap PMV di Surabaya ditunjukkan oleh Gambar 6. Perbandingan antara TSV dan PMV di Surabaya ditunjukkan oleh persamaan  $TSV_s = 1,302 \cdot PMV_s - 1,910$  ( $R^2 = 0,253$ ), sedangkan perbandingan antara TCV dan PMV ditunjukkan melalui persamaan  $TCV_s = 1,531 \cdot PMV_s - 1,974$  ( $R^2 = 0,253$ ). Dengan demikian, prediksi kenyamanan termal di Kota Surabaya netral ( $PMV = 0$ ) adalah ketika TSV  $-1,91$  (antara sejuk dan dingin dengan kecenderungan lebih dekat ke dingin) dan TCV  $-1,97$  (antara sejuk dan dingin dengan kecenderungan lebih dekat ke dingin). Dengan kata lain, responden merasa netral

( $TSV = 0$ ) adalah ketika  $PMV = 1,47$  (antara hangat dan panas), serta merasa nyaman ( $TCV = 0$ ) adalah ketika  $PMV = 1,29$  (antara hangat dan panas dengan kecenderungan lebih dekat ke hangat). Di Surabaya, terdapat perbedaan yang signifikan antara TSV dan TCV terhadap model PMV-PPD. Respon termal responden sebenarnya memberikan nilai yang jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang diprediksikan oleh model PMV.



(a)



(b)

**Gambar 6** Perbandingan antara (a) TSV-PMV dan (b) TCV-PMV di Surabaya

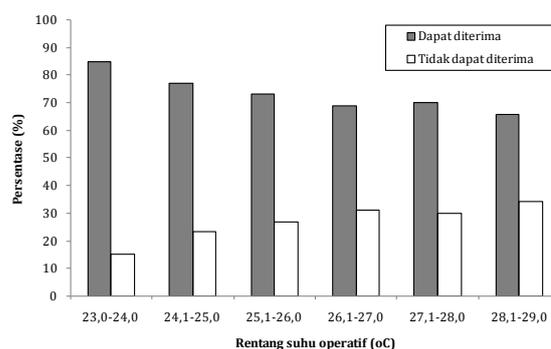
**Keterterimaan Termal**

Keterterimaan termal diperoleh melalui kuesioner yang meminta responden untuk memberikan respon apakah kondisi termal yang ada di sekitar responden dapat diterima atau tidak. Tujuannya adalah mendapatkan respon keterterimaan termal yang sebenarnya (*actual percentage dissatisfied/APD*). Gambar 7 menunjukkan persentase responden yang menyatakan tingkat keterterimaan termal di Kota Malang dan Surabaya. Gambar 7a menunjukkan nilai keterterimaan termal di Malang di atas 80% adalah pada rentang suhu  $T_o$  23,1–24,0°C. Secara umum, keterterimaan termal memiliki persentase yang relatif tinggi pada hampir semua rentang suhu (di atas 60%). Pada suhu netral  $T_o$  24,3°C di Malang, hanya 77% responden yang dapat menerima kondisi termal tersebut, dan sisanya tidak dapat menerima. Keterterimaan termal pada suhu netral ini lebih rendah daripada keterterimaan termal pada rentang suhu 23,1–24,0°C. Artinya, sebagian besar responden merasa nyaman pada rentang suhu operatif 23,1–24,0°C bila dibandingkan pada kondisi netral. Pada rentang suhu nyaman  $T_o$  22,6°C–26,0°C, nilai keterterimaan termal adalah sekitar 78%. Artinya, nilai APD tersebut masih lebih besar daripada 20%, sehingga kenyamanan termal tidak dapat memenuhi kategorisasi ISO 7730.

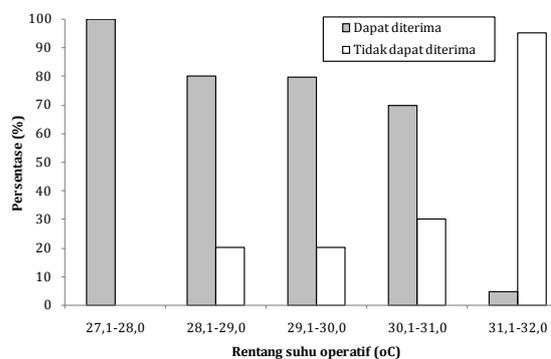
Gambar 7b menunjukkan bahwa keterterimaan termal tertinggi adalah pada rentang suhu operatif 27,1–28,0°C, dimana semua responden menyatakan dapat menerima kondisi termal ruang (100%). Seiring dengan peningkatan suhu, tingkat keterterimaan termal pada ketiga parameter tersebut menurun. Pada suhu netral  $T_o$  30,5°C di Surabaya, tingkat keterterimaan termal adalah sekitar 70%. Pada rentang suhu nyaman  $T_o$  28,3–32,7°C, tingkat keterterimaan termal masing-masing adalah 69%. Dengan demikian, APD bahkan belum memenuhi kriteria kategori C kenyamanan termal menurut definisi ISO 7730-2005.

Perbandingan antara APD dan PPD terhadap TSV dan PMV ditunjukkan oleh Gambar 8. Gambar 8a menunjukkan bahwa hubungan antara PPD dan PMV ditunjukkan oleh persamaan :  $y_1=20x^2+0,106x+5,358$ , dan hubungan antara APD dan TSV oleh persamaan :  $y_2=11,81x^2+11,23x+11,28$ . Gambar 8a menunjukkan ada sedikit perbedaan antara APD dan PPD. Tingkat ketidakterterimaan yang sebenarnya (APD) lebih tinggi daripada yang diprediksikan (PPD). Hal ini ditunjukkan oleh pengambilan sembarang titik di sumbu  $x$ , dan memasukkannya pada kedua persamaan yang tersedia. Misalnya, diambil nilai  $x=0$ , maka nilai PPD yang diperoleh adalah 5,36% dan nilai APD adalah 11,28%.

Meskipun terdapat perbedaan antara keduanya, tetapi kedua model ketidakterterimaan termal tersebut beririsan pada satu titik. Titik potong tersebut diperoleh dengan membentuk persamaan kuadrat baru dengan mengambil  $y_1=y_2$ , sehingga diperoleh persamaan kuadrat baru yaitu :  $y=8,19x^2-11,124-5,922$ . Dengan menggunakan rumus *abc* untuk menyelesaikan persamaan kuadrat, maka diperoleh titik potong kedua grafik tersebut adalah pada  $x=0,41$ . Dengan demikian pada  $PMV=TSV=-0,41$  (antara netral dan sejuk), maka tingkat ketidakterterimaan kedua model tersebut adalah sama, yaitu sekitar 8,7%



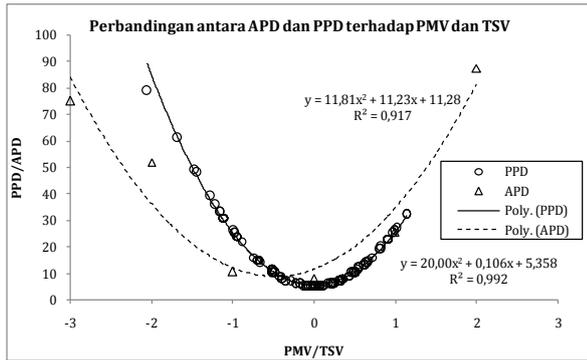
(a)



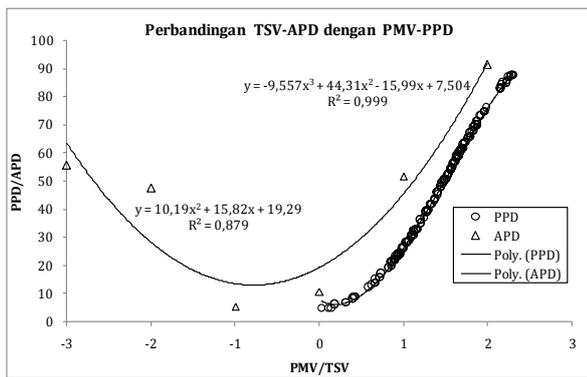
(b)

**Gambar 7** Keterterimaan Termal Responden di (a) Malang dan (b) Surabaya

Persamaan APD dan PPD di Surabaya memiliki orde yang berbeda (Gambar 8b). APD memiliki persamaan orde 2, yaitu  $y_1=10,19x^2+15,82x+19,29$ , sedangkan PPD memiliki persamaan orde 3, yaitu  $y_2=-9,557x^3+44,31x^2-15,99x+7,504$ . Persamaan orde 3 pada PPD kemungkinan besar disebabkan oleh kondisi suhu udara ruang iklim yang di atas 28,0°C, sehingga PMV lebih banyak memprediksikan di atas 0 (netral). Perbedaan lain yang ditunjukkan oleh Gambar 8b adalah bahwa APD memiliki nilai yang lebih tinggi daripada PPD. Dengan mengambil nilai  $x=0$ , maka diperoleh  $y_1$  (APD) adalah 19,3% sedangkan  $y_2$  (PPD) adalah 7,5%. Tidak seperti di Malang, kedua grafik tersebut tidak beririsan.



(a)



(b)

Gambar 8 Perbandingan antara TSV-APD dan PMV-PPD di (a) Malang, dan (b) Surabaya

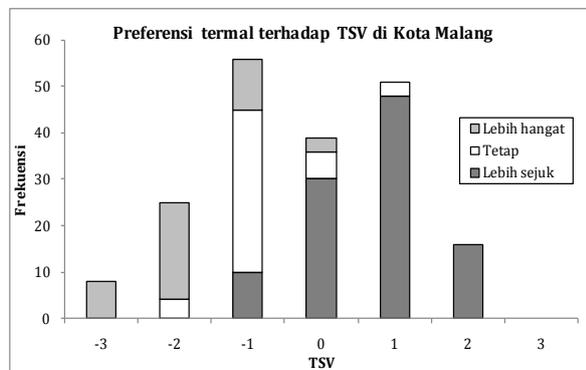
**Preferensi Termal**

Preferensi termal menyatakan hasrat atau keinginan responden terhadap kondisi udara disekitarnya, yang diukur menggunakan tiga skala McIntyre : 1 (ingin lebih hangat), 0 (tetap) dan -1 (ingin lebih sejuk). Gambar 9 menunjukkan preferensi termal terhadap TSV dan TCV di Kota Malang, sementara preferensi termal di Kota Surabaya ditunjukkan oleh Gambar 10.

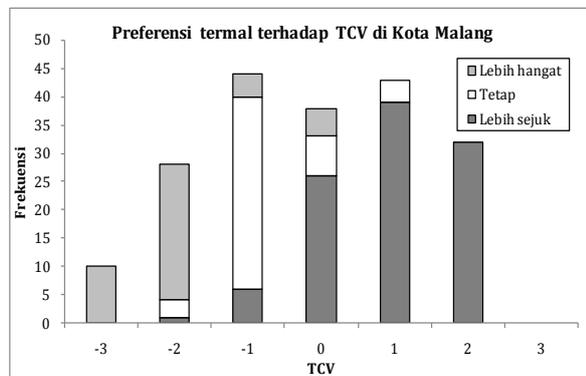
Gambar 9a dan Gambar 9b memperlihatkan bahwa preferensi termal responden memiliki kecenderungan yang hampir sama, baik pada skala ASHRAE (TSV) maupun skala Bedford (TCV). Pada TSV dan TCV 0, responden cenderung menginginkan kondisi udara yang ada saat itu untuk lebih sejuk lagi. Demikian juga yang terjadi pada skala 1 (TSV hangat/TCV hangat nyaman), 2 (panas/terlalu hangat) dan 3 (panas sekali). Sedangkan pada skala -1 (sejuk/sejuk nyaman), responden cenderung memilih untuk mempertahankan kondisi yang ada, meskipun terdapat beberapa responden yang masih menginginkan lebih sedikit maupun lebih hangat (dengan jumlah yang relatif sedikit bila dibandingkan dengan yang menginginkan tetap).

Sebagaimana kondisi di Malang, responden di Surabaya juga memiliki kecenderungan untuk memilih tetap dalam kondisi sejuk (-1 pada skala

ASHRAE) atau sejuk nyaman (-1 pada skala Bedford), meskipun terdapat pula sedikit responden yang menginginkan lebih sejuk lagi atau lebih hangat (lihat Gambar 10). Pada kondisi netral (0 skala ASHRAE), responden cenderung menginginkan kondisi udara lebih sejuk dengan lebih sedikit responden yang menginginkan tetap (Gambar 10a). Demikian juga pada kondisi nyaman (0 pada skala Bedford), jumlah responden yang menginginkan lebih sejuk dan tetap hampir berimbang (lihat Gambar 10b). Di atas skala TCV 0 (yaitu TCV 1, 2 dan 3) responden cenderung menginginkan kondisi lebih sejuk, sementara di bawah skala TCV -1 (yaitu TSV -2 dan -3) responden menginginkan kondisi udara lebih hangat. Pada TCV -2 (terlalu sejuk), jumlah responden yang menginginkan lebih hangat dan tetap hampir sama.



(a)

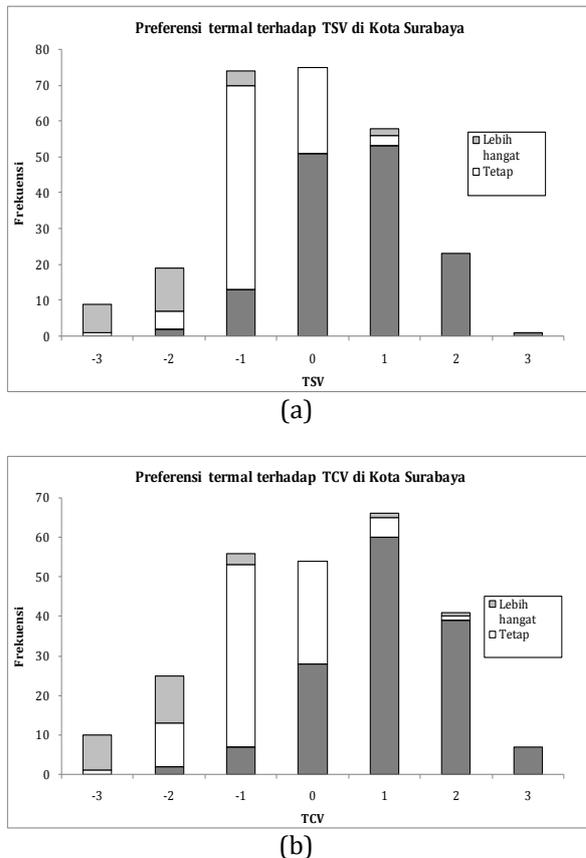


(b)

Gambar 9 Preferensi Termal di Kota Malang terhadap (a) TSV dan (b) TCV

Dengan menggunakan regresi biner (*binary logistic*), diperoleh koefisien *a* dan *b* untuk parameter  $T_0$  adalah 1,752 dan -0,064. Namun, koefisien tersebut memiliki *Sig.*>0,05, sehingga koefisien-koefisien tersebut tidak signifikan untuk dijadikan koefisien dalam persamaan 1-3. Dengan demikian, suhu preferensi di Malang tidak dapat ditentukan. Sebagaimana di Malang, koefisien *a* dan *b* di Kota Surabaya yang diperoleh dari regresi biner memiliki nilai *Sig.*>0,05, sehingga dapat

digunakan untuk menentukan suhu preferensi responden.



**Gambar 10** Preferensi Termal di Kota Surabaya terhadap (a) TSV dan (b) TCV

**Keterbatasan Studi**

Penelitian ini terdapat beberapa kekurangan, diantaranya adalah kurangnya instrumen untuk mengendalikan dan mengatur suhu udara dan kelembaban udara dalam ruangan. Selain itu, penelitian ini menggunakan alat pengendali arus listrik untuk menghasilkan kecepatan angin yang diharapkan, sehingga relatif kurang stabil dalam menghasilkan kecepatan angin yang diinginkan. Disarankan untuk merancang alat pengendali frekuensi atau putaran motor untuk mendapatkan kecepatan angin yang diinginkan, agar lebih stabil dalam menghasilkan kecepatan angin. Yang terakhir adalah beragamnya responden yang terlibat dalam penelitian ini, baik dari aspek berat dan tinggi badan, serta pakaian (nilai *clo*) yang dikenakan. Akibatnya, variabel tersebut tidak dapat dikendalikan dengan baik dalam penelitian ini, sehingga turut mempengaruhi hasil penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

**KESIMPULAN**

Suhu netral Kota Malang berada pada  $T_o 24,3^{\circ}C$  dengan rentang zona nyaman  $T_o 22,6^{\circ}C-26,0^{\circ}C$ . Suhu nyaman (TCV) Kota Malang adalah  $T_o$

$24,0^{\circ}C$ , dengan rentang zona nyaman skala Bedford adalah  $T_o 22,6^{\circ}C-25,4^{\circ}C$ . Suhu netral di Surabaya adalah  $T_o 30,5^{\circ}C$  dengan rentang suhu nyaman  $T_o 28,3-32,7^{\circ}C$ , dan suhu nyaman menurut skala Bedford adalah  $T_o 29,4^{\circ}C$  dengan rentang suhu nyaman skala Bedford adalah  $T_o 27,2^{\circ}C-31,7^{\circ}C$ . Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya di Indonesia yang menunjukkan bahwa daerah dengan iklim lokal yang rendah memiliki suhu netral yang rendah pula, demikian juga sebaliknya. Bangunan berpengondisi udara cenderung memiliki suhu netral lebih rendah daripada bangunan yang tidak berpengondisi udara (berventilasi alami). Suhu netral di Malang lebih rendah daripada yang diprediksikan oleh model PMV, tetapi di Surabaya menunjukkan gejala yang sebaliknya. Jika penelitian sebelumnya menunjukkan umumnya suhu netral dengan pendekatan adaptif lebih tinggi daripada yang diprediksikan oleh model PMV, maka suhu netral di Malang yang lebih rendah daripada yang diprediksikan merupakan temuan yang penting. Temuan ini juga memperkuat hasil penelitian sebelumnya bahwa model PMV dapat digunakan dan valid pada daerah dengan kondisi iklim lokal yang relatif rendah seperti Kota Malang.

Keterterimaan termal di Malang tertinggi adalah pada rentang suhu  $T_o 23,1-24,0^{\circ}C$  (sekitar 85%) sementara pada suhu netral  $T_o 24,3^{\circ}C$  hanya 77%. Artinya, sebagian besar responden merasa nyaman pada rentang suhu  $23,1-24,0^{\circ}C$  dibandingkan pada kondisi netral. Sementara itu, keterterimaan termal tertinggi di Surabaya adalah pada rentang suhu operatif  $27,1-28,0^{\circ}C$ . Pada suhu netral  $T_o 30,5^{\circ}C$ , tingkat keterterimaan termal adalah sekitar 70%. Pada rentang suhu nyaman  $T_o 28,3-32,7^{\circ}C$ , tingkat keterterimaan termal masing-masing adalah 69%. APD di Surabaya berbeda secara signifikan lebih tinggi daripada PPD. Preferensi termal memiliki kecenderungan yang hampir sama, baik pada skala ASHRAE maupun Bedford. Responden cenderung menginginkan kondisi udara untuk tetap pada skala TSV dan TCV -1 (sejuk/sejuk nyaman) daripada pada skala TSV dan TCV 0 (netral/nyaman). Suhu preferensi di Kota Malang dan Surabaya tidak dapat ditentukan karena koefisien *a* dan *b* memiliki  $Sig.>0,05$ .

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pusat Litbang Permukiman yang telah mendanai penelitian ini melalui skema penelitian inovasi TA 2012, serta para mahasiswa Jurusan Arsitektur Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya dan Universitas Brawijaya Malang yang telah secara sukarela mendukung kegiatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfata, M.N. 2011. Studi kenyamanan termal adaptif pada rumah tinggal di Kota Malang, Studi Kasus : Perumahan Sawojajar 1-Kota Malang. *Jurnal Permukiman Vol 6(1)*.
- ANSI/ASHRAE. 2004, *ASHRAE-55 Standard Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE, USA
- ASHRAE. 2001. *ASHRAE Handbook of Fundamental*. Atalanta: ASHRAE Inc.
- Badan Pusat Statistik. 2011. Kota Surabaya Dalam Angka 2011. Diunduh dari [www.surabaya.go.id](http://www.surabaya.go.id) tanggal 14 Maret 2014
- Badan Pusat Statistik. 2013. Kota Malang Dalam Angka 2013. Diunduh dari [www.malangkota.bps.go.id](http://www.malangkota.bps.go.id) tanggal 14 Maret 2014
- Candido, C., de Dear, R., Lamberts, R., dan Bittencourt, L. 2010. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot-humid climate zone. *Building and Environment Vol 45(2010)*, 222-229
- Chuan, T.K., Hartono, M., dan Kumar, N. 2010. Anthropometry of the Singaporean and Indonesian populations. *International Journal of Industrial Ergonomics Vol 40(2010)*, 757-766.
- de Dear, R., Brager, G., dan Cooper, D. 1997. *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, Final Report ASHRAE RP-884*. Center for Environmental Design Research, University of Carolina. USA : Berkeley, CA
- Feriadi, H., dan Wong, N. H. 2004. Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. *Energy and Buildings Vol 36(2004)*, 614-626.
- Hariyanto, A. D. 2005. Thermal comfort study of an air-conditioned design studio in tropical Surabaya. *Dimensi Teknik Arsitektur Vol. 33(1)*, 76 – 86.
- Husein, I., dan Rahman, M. H. 2009. Field study on thermal comfort in Malaysia. *European Journal of Scientific Research Vol. 37(1)*, 134-152
- ISO. 2005. *ISO 7730-2005(E) Ergonomics of the Thermal Environment –Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*. Switzerland : International Standard Organization.
- Karyono, T. H. 2008. Bandung thermal comfort study : assessing the applicability of an adaptive model in Indonesia. *Architectural Science Review Vol 51(1)*.
- Karyono, T. H. 2000. Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta-Indonesia. *Building and Environment 35(2000)*. 77-90.
- Karyono, T.H. 1996a. Thermal Comfort in the Tropical South East Asia Region. *Architectural Science Review Vol 39 (3)*.
- Karyono, T. H. 1996b. Discrepancy between actual and predicted thermal votes of Indonesian worker in Jakarta, Indonesia, *The International Journal of Ambient Energy Vol. 17(2)*, 95 – 100
- Munir, A., Sofyan, Muslimsyah. 2011. Thermal comfort in naturally ventilated and air conditioned room : A comparison between PMV and actual vote. *Proceedings of The 12<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Environment and Architecture (SEVAR)*. Malang : University of Brawijaya.
- Ong, B.L. 2003. From Homogeneity to Heterogeneity. *Naturally Ventilated Buildings : Buildings for the Senses, the Economy and Society*. Edited by Derek Clements-Croome. E&FN Spon.
- Orosa, J. A., dan Oliveira, A. C. 2011. A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. *Renewable Energy 36 (2011)*, 951-956.
- Pusat Litbang Permukiman. 2010. Penelitian dan Pengembangan Kriteria Perencanaan dan Perancangan Arsitektur, Struktur dan Utilitas, Subkegiatan : Kajian Tingkat Kenyamanan Termal Hunian. *Laporan Akhir*. Bandung : Pusat Litbang Permukiman.
- Pusat Litbang Permukiman. 2011. Penyusunan Konsep Pedoman Perencanaan dan Perancangan Kenyamanan Gerak dan Termal Bangunan Hunian. *Laporan Akhir*. Bandung : Pusat Litbang Permukiman.
- Sujatmiko, W. 2008. Studi Kenyamanan Termal Adaptif pada Bangunan Gedung Berventilasi Alami di Indonesia. *Tesis*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Undang-undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung.
- Zhang, Y., Wang, J., Chen, H., Zhang, J., dan Meng, Q. 2010. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Building in Hot Humid Area of China. *Building and Environment Vol. 45(2010)*, 2562-2570.