

## STUDI KENYAMANAN TERMAL ADAPTIF RUMAH TINGGAL DI KOTA MALANG

### Studi Kasus : Perumahan Sawojajar 1- Kota Malang

Muhammad Nurfajri Alfata

Pusat Litbang Peremukiman

Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan - Kabupaten Bandung 40393

E-mail : ariel.alfata@puskim.pu.go.id

Diterima : 25 Februari 2011; Disetujui : 30 Maret 2011

#### Abstrak

Model kenyamanan termal statis kurang dapat menggambarkan kondisi kenyamanan termal yang sebenarnya. Studi ini merupakan penelitian awal untuk mengkaji kenyamanan termal adaptif penghuni bangunan pada kondisi sebenarnya di Indonesia. Hunian yang dikaji berupa hunian rumah tinggal di Perumahan Sawojajar 1, Kota Malang. Penelitian lapangan dilakukan berdasarkan tingkat II ASHRAE, dimana semua variabel fisik lingkungan yang dibutuhkan untuk menghitung indeks kenyamanan termal dikumpulkan dalam waktu dan tempat yang saat kuesioner kenyamanan diberikan. Analisis data menggunakan pendekatan statistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persamaan suhu netral terhadap suhu operatif adalah  $y=0,606.T_{op}-16,843$  dengan suhu netral 27,8°C dan suhu preferensi 25 °C. Responden merasakan kondisi iklim mikro sebagai kenetralan termal dan menginginkan kondisi iklim lokal sebagai suhu preferensi. Analisis keterterimaan termal menunjukkan bahwa seluruh responden dapat menerima, pada rentang suhu operatif 25 - 29°C, dan hanya 25% responden yang tidak dapat menerima suhu operatif 29 - 31°C. Pola adaptasi yang dilakukan antara lain melalui pemakaian pakaian dengan *clo* rendah dan menggunakan kipas angin untuk mendinginkan ruangan.

**Kata kunci :** Kenyamanan termal adaptif, keterterimaan termal, Kota Malang, suhu netral, suhu preferensi

#### Abstract

The static thermal comfort model itself cannot describe the real thermal comfort condition. This research is The static thermal comfort model does not represent the real thermal comfort. This research is a preliminary study to examine the real situation of the adaptive thermal comfort of the residents' houses in Indonesia. This research has been conducted in the residents' houses of the housing complex of Sawojajar 1, the city of Malang. A field study was done based on a second degree ASHRAE, in which all the variables of the physical environments to calculate the indices of the thermal comfort were collected during the time the questionnaires were distributed. The data were analyzed by using statistics. The result showed that the equation of the neutral temperature towards the operative temperature is  $y=0,606.T$  with a neutral temperature of 27,8°C and preferred temperature of 25,1°C. Respondents felt the micro climate as thermal neutrality and would like the local climate to be the preferred temperature. The analysis of thermal acceptability demonstrated that all respondents could accept at a span of the operative temperature of 25-29°C. Only 25% of the respondents could not accept the operative temperature of 29-31°C. The adaptation pattern that was employed was among others, wearing clothes with a lower *clo* and using fans to cool down the rooms.

**Keywords :** Adaptive thermal comfort, thermal acceptability, city of Malang, neutral temperature, preferred temperature

#### PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini kenyamanan termal adaptif semakin banyak dibicarakan terkait dengan permasalahan yang timbul akibat pemakaian energi yang berlebihan untuk kenyamanan termal bangunan yang didasarkan pada model kenyamanan statik. Model kenyamanan termal adaptif didefinisikan sebagai preferensi termal yang merupakan hasil respon fisiologis pada

parameter *indoor* dan keinginan yang didasarkan pada determinan-determinan *climato-cultural* seperti pengalaman di masa lalu (Auliciems dalam Darmawan, 1999). Sementara itu, de Dear, Brager dan Cooper (1997) menyatakan tiga bentuk adaptasi dalam proses adaptif ini adalah penyesuaian perilaku (termasuk penyesuaian pakaian yang dikenakan), adaptasi fisiologis (atau aklimatisasi) dan reaksi psikologis (atau keinginan/harapan).

Pendekatan adaptif dalam kenyamanan termal didasarkan pada survei lapangan kenyamanan termal, yang difokuskan pada pengumpulan data termal dan pada saat bersamaan mengukur juga respon termal responden pada situasi nyata, dengan intervensi peneliti yang minimum (Nicol dan Humphreys, 2002). Dalam beberapa tahun terakhir, model kenyamanan termal adaptif digunakan untuk menentukan suhu netral sebagai fungsi suhu *indoor*, suhu *outdoor* dan suhu keduanya (Orosa dan Garcia-Bustelo, 2009)

Beberapa penelitian terhadap kenyamanan adaptif telah dilakukan di Indonesia. Misalnya, Sujatmiko (2007) telah melakukan pengukuran kenyamanan termal adaptif rumah tinggal berventilasi alami dengan melibatkan sekitar 689 responden di Bandung, Bekasi, Surabaya, dan Semarang. Penelitian ini menghasilkan model persamaan kenyamanan termal adaptif berada dalam kisaran 80% zona kenyamanan adaptif ASHRAE-55 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*). Sementara itu, penelitian Karyono, *et al*, (2006) terhadap kenyamanan termal di Bandung menyebutkan bahwa suhu netral berada dalam rentang zona nyaman terhadap beberapa parameter termal (suhu udara luar, suhu globe, suhu operatif, dan SET). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa suhu netral di Bandung lebih rendah daripada di Jakarta. Hasil penelitian Karyono, *et al*, (2006) tersebut berbeda dengan hasil penelitian Sujatmiko (2007) pada kota yang sama. Perbedaan ini ditengarai penelitian Karyono *et al*, (2006) dilakukan terhadap sekelompok mahasiswa di dalam sebuah ruangan yang diperlakukan sebagai ruang termal (*thermal chamber*), sementara penelitian Sujatmiko (2007) dilakukan berdasarkan metode penelitian tingkat II dari ASHRAE.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa suhu kenyamanan setiap orang bervariasi, bergantung pada musim dan iklim. Iklim dan musim di Indonesia bervariasi. Antara satu daerah ke daerah lain memiliki karakteristik yang unik dan khusus yang membuatnya berbeda dari yang lain, termasuk dalam budaya, gaya hidup, dan kemampuan beradaptasi. Karena itu, diperlukan penelitian kenyamanan termal di berbagai wilayah di Indonesia, termasuk Kota Malang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kenyamanan termal adaptif hunian di Indonesia, yaitu mengkaji kenyamanan termal penghuni bangunan pada kondisi nyata sebagaimana adanya, bukan kajian kenyamanan termal statik, di mana penghuni dikaji di ruang iklim buatan. Hunian yang dikaji berupa hunian tempat tinggal. Penelitian ini mengambil Perumahan Sawojajar 1 - Kota Malang sebagai studi kasus.

## METODE PENELITIAN

Penelitian di Kota Malang dilakukan selama satu minggu di Perumahan Sawojajar 1, Kelurahan Madyopuro, Kecamatan Kedungkandang, Kota Malang.

Pemilihan lokasi tersebut karena beberapa pertimbangan, yaitu :

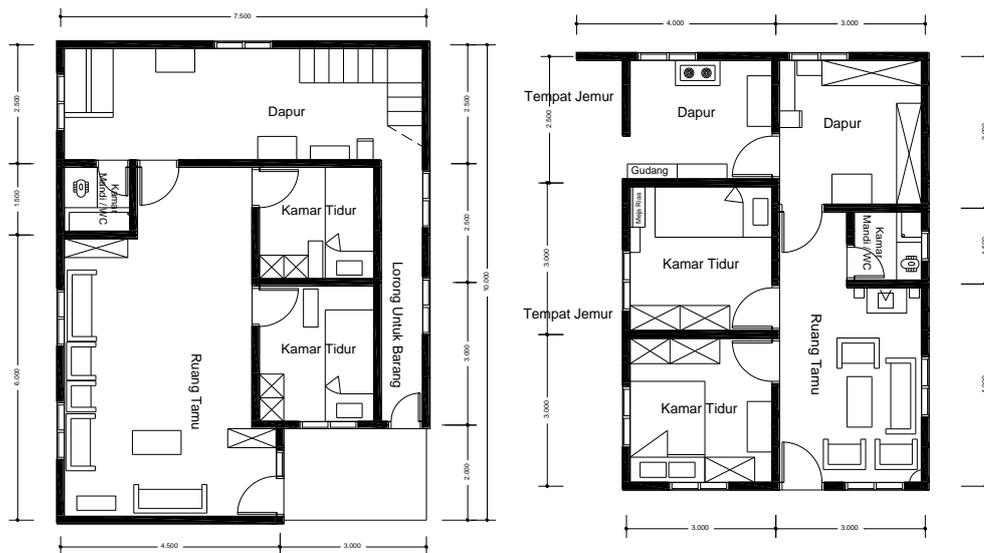
- Merupakan kompleks perumahan formal yang paling luas di Kota Malang.
- Terdiri atas tipologi rumah dengan tingkat keberagaman yang besar, baik dari aspek luas bangunan maupun bentuk.

Penelitian lapangan dilakukan berdasarkan tingkat II (de Dear dalam Moujalled, *etal*, 2005), dimana semua variabel fisik lingkungan dalam ruangan yang dibutuhkan untuk menghitung indeks kenyamanan termal dikumpulkan dalam waktu dan tempat yang sama saat kuesioner kenyamanan diberikan. Penelitian dilakukan saat musim kemarau (September 2010).

Berikut ini adalah deskripsi dari bangunan yang digunakan dalam penelitian ini, profil peserta, pengukuran fisik, kuesioner dan prosedur pengumpulan data.

### Bangunan

Enambelas rumah dengan ventilasi alami dipilih di Perumahan Sawojajar 1. Tipologi rumah yang dijadikan sampel pengukuran adalah perumahan formal, yang terdiri dari beberapa tipe, yaitu tipe 27 m<sup>2</sup>, 36 m<sup>2</sup>, dan 54 m<sup>2</sup>. Bangunan pada umumnya standar, dengan selubung bangunan berupa dinding plesteran bata, atap genteng tanah liat, jendela kaca dengan bukaan di bagian depan, pintu di bagian depan dan belakang, serta langit-langit yang umumnya terdiri dari gypsum atau triplek/multiplek. Contoh denah rumah yang disurvei dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Denah Rumah Responden Tipe 36 M<sup>2</sup> yang Diukur

### Responden

Duapuluh dua responden berpartisipasi dalam studi di Kota Malang, yang terdiri dari 11 laki-laki (50%) dan 11 perempuan (50%). Usia antara 15-56 tahun dan rata-rata 44. Sebagian besar responden di Kota Malang memiliki tingkat pendidikan SMA - D3 (55%), disusul SMP (27%), D4-S1 (18%). Dari duapuluh dua responden, dilakukan pengulangan pertanyaan terhadap beberapa responden, sehingga diperoleh duapuluh sembilan kuesioner respon termal.

### Pengukuran Lingkungan Fisik

Variabel lingkungan fisik mencakup kondisi iklim *indoor* dan *outdoor*. Keduanya terdiri dari suhu udara kering (TDB), suhu *globe* ( $T_{globe}$ ), kelembaban relatif (RH), kecepatan udara ( $v_a$ ). Instrumen yang digunakan dalam mengukur variabel fisik adalah Ques Temp 32 oleh Quest Teknologi AS untuk mengukur  $T_{db}$ ,  $T_{globe}$ , dan RH. Alat ini digunakan untuk mengukur kondisi dalam ruangan dan luar ruangan, Anemometer Kanomax A031 digunakan untuk mengukur kecepatan udara, Lux-meter digunakan untuk mengukur pencahayaan cahaya di dalam bangunan, *Data-logger* MEMORY HiLOGGER 8422-51 dari HIOKI, digunakan untuk merekam dan mengukur suhu ruangan dari selubung bangunan selama 24 jam. Sensor yang digunakan adalah termokopel tipe T.

### Kuesioner

Kuesioner ini terdiri dari tiga bagian. Bagian pertama meminta responden untuk mengevaluasi lingkungan termal mereka pada saat pengukuran sesuai dengan standar. Yang pertama terdiri dari skala kesan termal, penerimaan termal, dan preferensi termal. Skala kesan termal terdiri dari tujuh skala, yaitu -3 (Dingin), -2 (Sejuk), -1 (Agak sejuk), 0 (Netral), 1 (Agak hangat), 2 (Hangat), dan

3 (Panas). Sementara skala preferensi termal adalah 1 (Lebih sejuk), 2 (Tetap), dan 3 (Lebih hangat). Yang kedua adalah daftar pemeriksaan jenis pakaian yang digunakan dan aktivitas yang dilakukan. Pakaian yang digunakan diukur dalam satuan *clo* (1 *clo* = 0,155 m<sup>2</sup>.K/W), sedangkan aktivitas yang dilakukan diukur dalam satuan *met* (1 *met* = 58 W/m<sup>2</sup>). Daftar aktivitas memuat pertanyaan tentang kegiatan fisik, makanan dan minuman (panas atau dingin) dan merokok selama sejam sebelum survei. Bagian terakhir adalah daftar kontrol lingkungan termal yang berbeda, seperti penyejuk udara, pintu, jendela, kipas angin lokal, dan naungan/*shading*.

### Prosedur Analisis Data

Pendekatan statistik digunakan untuk analisis data lapangan. Analisis terdiri dari dua bagian, pertama adalah berkaitan dengan analisis termal yang dirasakan dan yang kedua berhubungan dengan perilaku adaptasi dari responden. Analisis kesan termal terdiri analisis deskriptif, regresi, dan penerimaan termal.

Analisis deskriptif dilakukan dengan cara membandingkan metode untuk variabel termal (yaitu  $T_{op}$ ), kondisi termal rata-rata yang dirasakan, dan indeks kenyamanan termal (ET, \*SET, TSENS, DISC, PMV, dan PPD).  $T_{op}$  sebagai variabel termal karena kenyamanan termal adaptif merupakan fungsi suhu operatif dan suhu *outdoor* bulanan rata-rata.

Analisis netralitas termal dilakukan dengan analisis regresi pada kuesioner bagian kesan 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. Dengan menempatkan nomor jawaban 2 sebagai jawaban untuk nomor 1 dan 3, maka diperoleh respon biner, nomor 1 untuk keinginan menjadi lebih dingin dan 3 untuk menjadi lebih hangat. Regresi biner digunakan untuk menganalisis respon biner tersebut, dengan pertanyaan bagian preferensi sebagai variabel *dependent* dan nilai variabel termal, yaitu suhu operasi  $T_{op}$  sebagai *covariate*, untuk mendapatkan nilai kemiringan  $b$  dan konstanta  $a$  dari persamaan regresi menggunakan persamaan (Darlington dalam Sujatmiko, 2007) :

$$\text{Logit (PS)} = a + b.T_{op} \quad (1)$$

dengan,

$$T_{op} = [\text{Logit (PS)} - a]/b \quad (2)$$

dengan :

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

### HASIL DAN ANALISIS

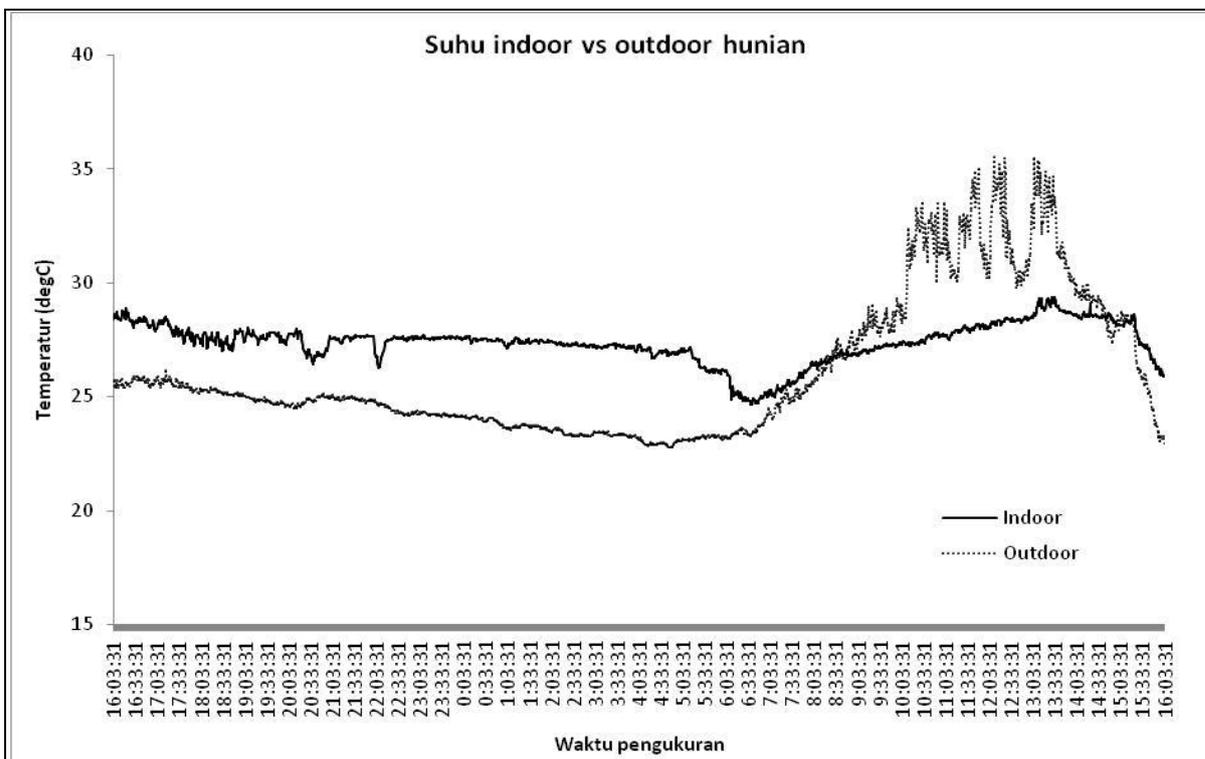
Secara astronomis, Kota Malang terletak pada koordinat 112,06° - 112,07° Bujur Timur dan 7,06° - 8,02° Lintang Selatan. Kota Malang memiliki luas 110.06 km<sup>2</sup>, dan terletak pada ketinggian antara 440 - 667 meter di atas permukaan air laut. Kondisi iklim Kota Malang selama tahun 2008 tercatat rata-rata suhu udara berkisar antara 23°C - 25°C, dengan suhu maksimum mencapai 32,7°C dan suhu

minimum 18,4°C. Kelembaban udara berkisar 79% - 86%, dengan kelembaban udara maksimum 99% dan minimum mencapai 40% (BPS, 2008). Pengukuran terhadap besaran termal hunian disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1** Besaran Termal Hunian di Perumahan Sawojajar 1 - Kota Malang

No	Uraian	Satuan	Min	Max	Rata-rata	SD
1	$v_o$ outdoor	m/s	0,0	0,6	0,10	0,17
2	$T_{db}$ outdoor	°C	24,8	30,5	28,34	1,36
3	RH outdoor	%	68,0	85,0	78,03	4,17
4	$v_o$ indoor	m/s	0,0	0,4	0,01	0,07
5	$T_{db}$ indoor	°C	24,9	30,1	27,69	1,32
6	$T_{globe}$ indoor	°C	26,2	35,9	28,56	2,04
7	RH indoor	%	72,0	96,0	81,97	5,79
8	Pakaian	clo	0,24	0,63	0,33	0,10

Suhu rata-rata luar ruangan menunjukkan kecenderungan lebih tinggi daripada data iklim tahunan rata-rata, yaitu sekitar 28,3°C terhadap 25°C. Dengan demikian, iklim mikro (*micro-climate*) sekitar perumahan menunjukkan kecenderungan lebih tinggi daripada iklim lokal (*topo-climate*) Kota Malang. Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu dalam ruangan rata-rata lebih rendah daripada suhu luar ruangan, meskipun perbedaan tersebut kecil. Sementara itu, kelembaban udara di dalam rumah memiliki kecenderungan lebih tinggi daripada di luar rumah. Profil suhu udara dalam dan luar ruangan hasil pengukuran selama duapuluh empat jam pada salah satu rumah tinggal ditunjukkan oleh Gambar 2.



**Gambar 2** Profil Suhu Indoor dan Outdoor Hunian Rumah Tinggal di Kota Malang (Sumber : Data Penelitian, 2010)

**Tabel 3** Indeks Kenyamanan Termal Hunian Rumah Tinggal di Kota Malang

No	Uraian	Satuan	Min	Max	Rata-rata	SD
1	T <sub>op</sub>	°C	25,55	32,7	28,12	1,45
2	ET	°C	26,10	34,1	29,04	1,80
3	SET	°C	24,60	31,6	27,48	1,76
4	TSENS	-	-1,00	1,5	-0,15	0,68
5	DISC	-	-1,00	2,1	-0,01	0,89
6	PMV	-	-0,17	2,7	1,14	0,70
7	PPD	%	5,00	97,0	37,00	27,23

Indeks kenyamanan termal sebagaimana disebutkan dalam Tabel 3 menunjukkan kenyamanan termal statis. Indeks di atas menyatakan bahwa hunian rata-rata berada pada zona nyaman/netral (TSENS -0,15, DISC -0,01) dengan rentang sensasi termal antara agak sejuk hingga antara agak hangat ke hangat. Sementara itu, nilai rata-rata PMV - PPD menunjukkan bahwa

rumah/unit hunian berada dalam rentang nyaman menurut standar ASHRAE, dengan kondisi agak hangat dengan tingkat ketidakpuasan yang rendah. Hasil ini berbeda bila dibandingkan hasil dengan pendekatan kenyamanan termal adaptif.

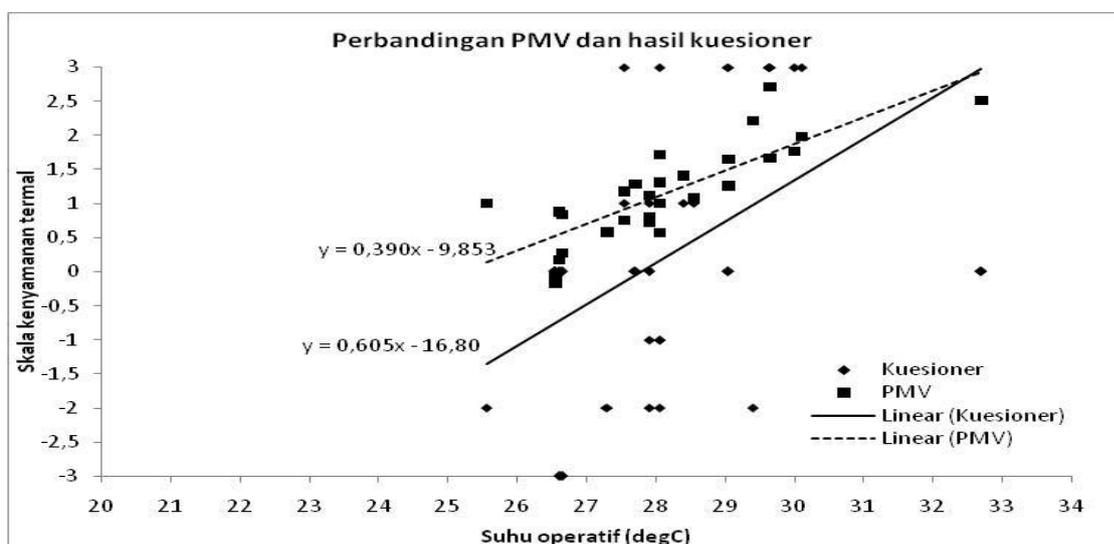
Kesan termal penghuni berdasarkan data survei (kuesioner) dan kenyamanan termal statis ditunjukkan dalam Tabel 4.

**Tabel 4** Perbandingan Sensasi Termal Hasil Kuesioner dan Indeks Kenyamanan Termal Statis (dalam %)

No	Sensasi/kesan termal	PMV	TSENS	DISC	Adaptif
1	Sangat Panas	-	0	-	-
2	Panas/Sangat tidak nyaman	6,90	0	0	20,69
3	Hangat/Tidak nyaman	20,69	0	6,90	3,45
4	Agak Hangat/Agak tidak nyaman	58,62	13,79	17,24	13,79
5	Netral/Nyaman	13,79	37,93	27,59	27,59
6	Agak sejuk/ Agak tidak nyaman	-	48,28	48,28	10,34
7	Sejuk/ Tidak nyaman	-	0	0	17,24
8	Dingin/ Sangat tidak nyaman	-	0	0	6,90
9	Sangat dingin	-	0	-	-

Tabel 4 menunjukkan adanya kecenderungan yang berbeda antara indeks kenyamanan termal statis dan hasil kuesioner. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dari kedua pendekatan, baik pendekatan statis (PMV-PPD) maupun adaptif (lihat Gambar 3). Pada umumnya, sensasi termal agak sejuk hingga dingin, sebagian besar dirasakan pada sore hari (di atas jam 15.00), dan sensasi agak hangat hingga

panas sebagian besar terjadi pada siang hari (jam 09.00 - 15.00). Hasil ini lebih konsisten terhadap kenyataan bila dibandingkan pendekatan statis. Terhadap sensasi termal tersebut, 96,55% responden menyatakan dapat menerima kondisi-kondisi termal di atas, sisanya tidak dapat menerima. Umumnya, responden tidak dapat menerima kondisi termal yang sangat panas.



**Gambar 3** Perbedaan Sensasi Termal PMV dan Hasil Kuesioner (Sumber : Data Penelitian, 2010)

Persamaan-persamaan netralitas terhadap indeks kenyamanan termal diberikan oleh Tabel 5.

**Tabel 5** Suhu Netral terhadap Beberapa Indeks Kenyamanan Termal

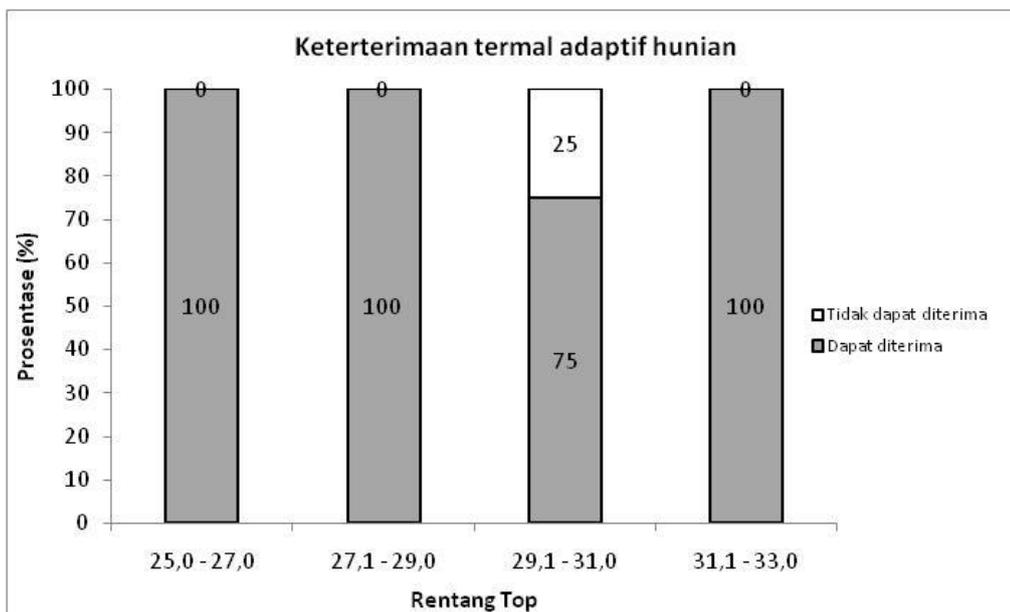
No	Variabel termal	Persamaan	T <sub>n</sub>	R <sup>2</sup>	Sig.
1	T <sub>db</sub>	$y=0,943.T_{db}-25,918$	27,48	0,646	0,000
2	T <sub>op</sub>	$y=0,606T_{op}-16,843$	27,79	0,455	0,013
3	ET	$y=0,512ET-14,671$	28,65	0,477	0,009
4	SET	$y=0,336SET-9,048$	26,93	0,306	0,106
5	TSENS	$y=0,684TSENS+0,293$	-0,43	0,241	0,207
6	DISC	$y=0,421.DISC+0,195$	-0,46	0,193	0,315
7	PMV	$y=0,960.PMV-0,905$	0,94	0,350	0,063
8	PPD	$y=0,026.PPD-0,754$	29	0,360	0,055

Tabel 5 menunjukkan bahwa persamaan netralitas terhadap tiga besaran termal pertama (T<sub>db</sub>, T<sub>op</sub>, dan ET) memiliki nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) yang cukup tinggi dengan tingkat validitas tinggi (Sig.≤0,05), sehingga besaran termal yang digunakan sebagai prediktor tersebut (yaitu T<sub>db</sub>, T<sub>op</sub>, dan ET) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kenetralan termal. Dengan memasukkan nilai  $y=0$ , yaitu ketika kondisi udara netral (0), maka kenetralan termal responden terhadap suhu ruangan dalam (T<sub>db</sub>) adalah 27,5°C, terhadap suhu operatif (T<sub>op</sub>) adalah 27,8°C, serta terhadap suhu efektif (ET) adalah sekitar 28,65°C. Nilai kenetralan termal tersebut tidak berbeda jauh

dengan suhu rata-rata dalam ruangan (27,7°C) maupun luar ruangan (28,3°C). Sehingga, penghuni rumah di perumahan Sawojajar 1 merasakan kenetralan termal pada suhu udara sekitar (baik dalam maupun luar ruangan). Suhu netral tersebut sama dengan suhu rata-rata dalam iklim mikro (*micro-climate*) perumahan Sawojajar 1 - Kota Malang, sehingga suhu udara sekitar dirasakan netral oleh para penghuni rumah

Analisis biner terhadap kuesioner preferensi menghasilkan persamaan linear  $y=-0,256.T_{op}+6,432$ . Dengan menggunakan Persamaan Darlington, diperoleh preferensi termal penghuni terhadap suhu operatif (T<sub>op</sub>) adalah sebesar 25,13°C. Dengan demikian, penghuni cenderung untuk memilih suhu tersebut sebagai suhu yang sangat diinginkan untuk tinggal dalam rumah. Suhu preferensi lebih rendah daripada kenetralan termal. Suhu preferensi tersebut sama dengan suhu rata-rata dalam iklim lokal (*topo-climate*) Kota Malang, sehingga penghuni rumah cenderung menginginkan suhu udara di sekitar mereka sama dengan kondisi iklim lokal rata-rata Kota Malang.

Keterterimaan termal penghuni terhadap kondisi termal di Perumahan Sawojajar 1, Kota Malang, ditunjukkan dalam Gambar 4.



**Gambar 4** Keberterimaan Termal Adaptif Hunian Di Perumahan Sawojajar 1

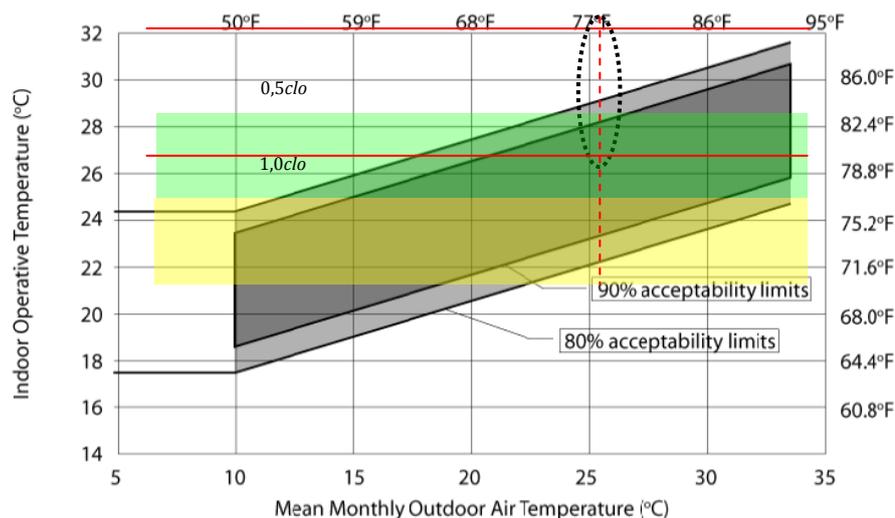
Sebagian besar responden (n=16) berada pada rentang suhu operatif 27 - 29°C. Gambar 4 menunjukkan bahwa pada rentang suhu operatif 25 - 29°C, seluruh responden dapat menerima kondisi termal yang ada. Demikian juga pada rentang suhu T<sub>op</sub> yang tinggi (31 - 33°C). Tetapi, pada rentang suhu operatif yang lebih rendah (29 - 31°C) terdapat 25% responden yang tidak dapat

menerima kondisi termal yang ada. Hal ini disebabkan jumlah responden pada rentang suhu operatif 31 - 33°C hanya satu orang, sedangkan pada rentang suhu operatif 29 - 31°C berjumlah empat orang. Maka, untuk mendapatkan gambaran yang utuh tentang keberterimaan termal pada rentang suhu operatif yang ada, dibutuhkan jumlah responden yang signifikan.

Bila dibandingkan dengan kenyamanan termal statis (model PMV - PPD), suhu operatif yang tinggi (di atas 28°C) masih berada pada rentang zona nyaman dan di dalam batas keterterimaan termal 80%. Tetapi pada suhu operatif ( $T_{op}$ ) di atas 30°C, kondisi berada di atas rentang zona nyaman 80% (Gambar 5). Pada suhu operatif tersebut, kondisi sudah dirasa tidak nyaman dan tidak dapat diterima. Hal ini menunjukkan adanya kesesuaian dengan hasil pengolahan data kuesioner.

Penghuni menyesuaikan diri terhadap kondisi termal di sekitarnya dengan menggunakan pakaian

yang memiliki nilai *clo* rendah. Rata-rata pakaian yang digunakan memiliki nilai 0,33*clo*, berupa pakaian sehari-hari yang terdiri atas kaos lengan pendek, tipis, bahan kain katun yang mampu menyerap panas, dengan celana pendek (atau celana 3/4) dengan bahan kain (katun/jeans). Selain melalui mekanisme tersebut, pada umumnya penghuni rumah menggunakan kipas angin untuk mendinginkan ruangan (sekitar 77,3%).



Gambar 5 Keterterimaan Termal Adaptif Menurut ASHRAE 55 - 2004

**PEMBAHASAN**

Bila dibandingkan dengan penelitian Sujatmiko (2007) di Kota Bandung dengan suhu bulanan rata-rata 23 - 24°C, kenetralan termal terhadap suhu operatif Kota Malang (studi kasus : Perumahan Sawojajar 1) hampir sama dengan Kota Bandung, meskipun lebih rendah 0,5°C (27,8°C berbanding 28,3°C). Demikian juga dengan preferensi termal, antara Kota Malang dan Kota Bandung tidak terdapat perbedaan yang signifikan (25,1°C berbanding 25,7°C). Dengan demikian, selisih semantik responden antara kedua kota tersebut juga tidak jauh berbeda, yaitu 2,7°C untuk Kota Malang dan 2,6°C untuk Kota Bandung. Bila dibandingkan dengan penelitian Karyono, *et al.*, (2006) dan Karyono (2008), hasilnya berbeda secara signifikan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kenetralan termal di Kota Bandung dicapai saat suhu 25,4°C.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini sama dengan metode yang digunakan dalam penelitian Sujatmiko (2007), dan berbeda dengan metode yang digunakan dalam penelitian Karyono, *et al.*, (2006) dan Karyono (2008). Terlihat bahwa metode yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang konsisten untuk lokasi

penelitian yang berbeda tetapi memiliki kondisi iklim dan geografis yang sama, dalam konteks ini adalah Kota Malang dan Kota Bandung.

Penelitian ini juga menunjukkan hasil yang berbeda dengan kesimpulan dalam penelitian Karyono (2008) ketika membandingkan antara kenyamanan termal adaptif di Kota Jakarta dan Kota Bandung. Karyono (2008) menyatakan bahwa sebagai fungsi suhu udara luar rata-rata, suhu netral pada daerah dengan suhu udara luar rata-rata lebih rendah akan memiliki suhu netral yang lebih rendah pula. Dalam penelitian ini, suhu udara luar rata-rata Kota Malang yang lebih tinggi daripada Kota Bandung memiliki suhu netral yang sedikit lebih rendah. Deviasi hasil penelitian ini diduga karena terbatasnya data yang diperoleh dalam penelitian ini. Dugaan lain adalah karena pengaruh budaya (Jawa) dalam pengisian kuesioner survei. Sebagaimana diungkapkan oleh Darmawan (1999), salah satu isu dalam kenyamanan termal adaptif adalah isu tentang pengaruh sosial budaya terhadap tingkat kenyamanan termal. Studi lapangan menunjukkan kecenderungan responden untuk memilih jawaban “cukup” atas beberapa pertanyaan kuesioner tentang kesan termal, keterterimaan termal,

maupun preferensi termal, meskipun pengukuran besaran termal menunjukkan nilai yang relatif tinggi.

Keterbatasan dalam penelitian ini adalah jumlah responden dan kuesioner yang kurang memadai. Penelitian ini hanya melibatkan 22 responden dengan 29 kuesioner kesan termal, sehingga hasil yang diperoleh kurang dapat digeneralisasi untuk rumah tinggal di Kota Malang secara umum, terutama berkaitan dengan keterterimaan termal. Keterbatasan ini dikarenakan pengukuran dilakukan saat hari kerja (*weekday*), sehingga sulit menemukan responden yang ada di rumah. Bila dibandingkan dengan penelitian Sujatmiko (2007), Sujatmiko (2007) melakukan penelitian di Kota Bandung dengan melibatkan 40 responden di rumah tinggal, yaitu 20 rumah di Perumnas Antapani dan 20 rumah di Kompleks PU Turangga dan 11 responden staf kantor Puslitbang Permukiman yang diukur berulang, baik saat di rumah maupun di kantor. Pengukuran dilakukan antara bulan Juli - Oktober 2010, yaitu saat Kota Bandung memasuki musim kemarau. Sehingga, untuk mendapatkan gambaran secara utuh tentang kenyamanan termal adaptif di Kota Malang, penelitian ini perlu disempurnakan dengan melibatkan jumlah responden yang lebih besar dan memperbanyak pengulangan pengukuran pada responden yang sama tetapi pada kondisi termal yang berbeda.

## SIMPULAN DAN SARAN

Kenetralan termal yang dirasakan oleh penghuni rumah di Kota Malang adalah sekitar 27,8°C. Besarnya suhu netral tersebut sama dengan suhu bulanan rata-rata iklim mikro (*micro-climate*) sekitar rumah/hunian. Sementara itu, preferensi termal penghuni terhadap suhu operatif ( $T_{op}$ ) adalah sebesar 25°C. Besarnya suhu preferensi sama dengan suhu bulanan rata-rata iklim lokal (*topo-climate*) Kota Malang.

Analisis keterterimaan termal menunjukkan bahwa pada rentang suhu operatif 25 - 29°C, seluruh responden menyatakan dapat menerima kondisi termal tersebut. Sementara itu, pada rentang suhu operatif 29 - 31°C, 25% responden tidak dapat menerima, sisanya masih dapat menerima.

Bila dibandingkan dengan kenyamanan termal statis (model PMV - PPD), suhu operatif yang tinggi (di atas 28°C) masih berada pada rentang zona nyaman dan di dalam batas keterterimaan termal 80%. Tetapi pada suhu operatif ( $T_{op}$ ) di atas 30°C, kondisi berada di luar rentang zona nyaman 80%. Pada suhu operatif tersebut, kondisi sudah dirasa tidak nyaman dan tidak dapat diterima.

Beberapa adaptasi yang dilakukan penghuni terhadap kondisi termal adalah dengan menggunakan pakaian yang memiliki nilai *clo* rendah. Semakin rendah nilai *clo* pakaian yang digunakan, maka nilai suhu netral yang dirasakan responden semakin besar. Selain melalui pakaian (penyesuaian perilaku), adaptasi lain adalah dengan pemanfaatan kipas angin untuk mendinginkan udara sekitar. Beberapa responden menggunakan kipas tangan dan membuka baju yang dikenakannya untuk mendinginkan tubuh.

Terlepas dari keterbatasan yang ada dalam penelitian ini, hasil penelitian ini dapat dijadikan penelitian pendahuluan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang lebih sempurna. Penelitian ini perlu dilanjutkan secara intensif dengan melibatkan responden yang lebih besar dan lokasi penelitian yang berbeda untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang kenyamanan termal adaptif di Kota Malang.

Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan rumah tinggal yang mampu menyediakan kenyamanan termal bagi penghuninya melalui strategi *passive low energy design*, sehingga dapat mendorong upaya konservasi energi pada bangunan gedung (rumah tinggal).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman - Kementerian Pekerjaan Umum yang telah membiayai penelitian ini melalui DIPA Tahun Anggaran 2010 MAK 0047B.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. 2005. ASHRAE Standard 55 : Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atalanta, USA.
- Badan Pusat Statistik. 2008. *Kota Malang Dalam Angka 2008*. Malang : BPS Kota Malang.
- Darmawan, A. 1999. Adaptive Thermal Comfort : A Multicultural Issue, *First International One day Forum on Natural and Hybrid Ventilation*. Sydney, Australia.
- de Dear, R., Brager, G., dan Cooper, D. 1997. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference : Final Report on RP-884. Sydney : Macquarie Research Ltd.
- Karyono, T.H. 2008. Bandung Thermal Comfort Study : Assessing the Applicability of an Adaptive Model in Indonesia. *Architectural Science Review*. Volume 51, Number 1, hal. 60 - 65. Australia : The University of Sydney.

- Karyono, T. H., *et al.* 2006. Report on Thermal Comfort Study in Bandung – Indonesia. *Proceedings of International Conference 'Comfort and Energy Use in Building Getting Them Right'*. Cumberland Lodge, Windsor Park, United Kingdom
- Moujalled, Cantin, R., dan Guarracino, G. 2005. Adaptive thermal comfort evaluation in a field study. *International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment"*. Santorini, Greece
- Nicol, J.F and Humphreys, M.A. 2002. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*. Volume 34, Issue 6, hal. 563-572.
- Orosa, J.A. and Garcia-Bustelo, E.J. 2009. ASHRAE Standard Application in Humid Climate Ambiences. *European Journal of Scientific Research.*, Vol. 27 No. 1, hal. 128-139. EuroJournals Publishing, Inc.
- Sujatmiko, W. 2007. Studi Kenyamanan Termal Adaptif pada Hunian Berventilasi Alami Di Indonesia. Tesis. Bandung : Institut Teknologi Bandung.