

IDENTIFIKASI KENYAMANAN TERMAL BANGUNAN (STUDI KASUS: RUANG KULIAH KAMPUS IPB BARANANGSIANG DAN DARMAGA BOGOR)

*IDENTIFICATION OF BUILDING THERMAL COMFORT
(Case Study: Classrooms in IPB Banangsiang and Darmaga Campuses)*

Rendy Kurnia¹, Sobri Effendy^{1*}, Laras Tursilowati²

¹ Bagian Meteorologi dan Pencemaran Udara, Dept. Geofisika dan Meteorologi,
FMIPA IPB Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680

² Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Bandung, 40173

* Corresponding author. E-mail: sobrieffendy2001@yahoo.com

Penyerahan Naskah: 24 Februari 2010

Diterima untuk diterbitkan: 18 Mei 2010

ABSTRAKS

Housing development, well-planned or not well-planned, has changed urban view and its thermal environment. Many researchers have claimed that the worse quality of urban thermal environment is proportional to physical development of the city. Physical development in urban areas has caused various environmental problems, one of them is the change in quality of thermal environment by which the city becomes hotter than the surrounding areas. The purpose of this research was to identify thermal comfort either in classrooms at Darmaga or Baranangsiang campuses of Bogor Agricultural University. PMV (Predicted Mean Vote), using the boundary Effective Temperature (TE), THI (Temperature Humidity Index), and the last method is respondent test. PMVs (Predicted Mean Votes) in the classrooms at Baranangsiang campuses are thermally neutral to slightly warm, while that in classrooms in Darmaga campus are warmer. Effective Temperature which is resulted in the both of lecture halls are comfortable warm conditions. In addition, for respondents test, the thermal impression in IPB campus of Baranangsiang prefers to choose the slightly warm conditions, but for a lecture hall in campus of IPB Darmaga is more dominated by warm and slightly warm conditions. The questionnaire has been appropriated to the range of PMV index. So, the lecture halls that have been studied in both of campus can be concluded as slightly warm condition, because the thermal impressions felt by the respondents are also in the range of neutral to slightly. The value of THI for both of campus environment is in the range of moderate or neutral.

Keywords: *building climate, effective temperature, PMV index, thermal comfort, THI*

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara beriklim tropis, dalam pembangunannya seharusnya dapat memanfaatkan keuntungan iklim tropis seperti energi matahari yang berlimpah, wilayah yang sering hujan, dan tanah yang subur sehingga dapat ditumbuhi berbagai jenis tanaman seperti yang diterapkan di negara tropis lain dalam pembangunan fisik kota (Jauregui, 1997; Emmanuel, 2005 dan Murakami *et al.* 2005).

Negara lain pun yang beriklim subtropis, lintang menengah dan lintang tinggi (Baker *et al.* 2002; Brandsma *et al.* 2003; Hawkins *et al.* 2004; Mihalakakou *et al.* 2004; Stallings 2004; Voogt dan Oke 2003; Weng dan Yang 2004; Zhou, *et al.* 2004) memiliki kelebihan tersendiri dan iklim-iklim ini

erat kaitannya dengan pembangunan di wilayah tersebut. Salah satu alasan mengapa manusia membuat bangunan adalah karena kondisi alam iklim tempat manusia berada tidak selalu baik menunjang aktivitas yang dilakukannya. Karena cukup banyak aktivitas manusia yang tidak dapat diselenggarakan akibat ketidaksesuaian kondisi iklim luar, manusia membuat bangunan.

Dengan bangunan, diharapkan iklim luar yang tidak menunjang aktivitas manusia dapat dimodifikasi dan diubah menjadi iklim dalam (bangunan) yang lebih sesuai. Usaha manusia untuk mengubah kondisi iklim luar yang tidak sesuai menjadi iklim dalam (bangunan) yang sesuai seringkali tidak seluruhnya tercapai. Dalam banyak kasus, manusia di daerah tropis seringkali gagal

menciptakan kondisi termis yang nyaman di dalam bangunan. Ketika berada di dalam bangunan, pengguna bangunan justru seringkali merasakan udara ruang yang panas, sehingga kerap mereka lebih memilih berada di luar bangunan.

Pembangunan perumahan baik yang terencana maupun tidak telah mengubah wajah kota dan lingkungan termalnya. Banyak peneliti menyatakan bahwa kualitas lingkungan termal semakin buruk seiring dengan pembangunan fisik kota (Yamasita *et al.* 1986; Voogt 2002; Unger *et al.* 2001; Torok *et al.* 2001; Stevensson dan Eliasson 2002; Sailor dan Fan 2002; Oke 1997; dan Hinkel *et al.* 2003). Pembangunan fisik di perkotaan telah menimbulkan berbagai masalah lingkungan, salah satunya adalah berubahnya kualitas lingkungan termal, menjadi lebih panas dari kawasan sekitarnya atau kawasan yang masih alami. Pemanasan lingkungan tersebut berdampak negatif pada aktivitas kehidupan di kawasan tersebut seperti meningkatnya penggunaan energi untuk pengkondisian udara, penurunan produktifitas kerja, dan lain-lain.

Karakteristik fisik permukaan kota seperti konfigurasi masa bangunan, penggunaan bahan bangunan tertentu, bentuk dan ukuran bangunan diduga sebagai salah satu unsur yang dapat mengendalikan kualitas lingkungan termal. Untuk mengendalikan hal-hal negatif terhadap lingkungan karena berubahnya karakteristik fisik tersebut maka diperlukan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi peran karakteristik fisik tersebut dalam pengendalian lingkungan termal.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi kenyamanan termal pada ruang perkuliahan di kampus IPB Baranangsiang dan Darmaga, Bogor. Pengukuran dilakukan pada ruang kuliah dengan kapasitas besar, sedang, dan kecil, masing-masing dua tipe ruang yang sama. Hal ini dilakukan untuk melihat faktor apa saja yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal dalam ruang, untuk itu hal yang dilakukan adalah :

- Mengidentifikasi besarnya nilai PMV (*Prediction Mean Vote*) sebagai indikator kenyamanan ruangan.
- Mengidentifikasi temperatur efektif dalam ruang.
- Mengidentifikasi nilai THI (*Temperature Humidity Index*).

METODE PENELITIAN

Alat dan data yang digunakan

- Data Suhu dan RH
- Software PMV (*Prediction Mean Vote Calculations*)

Indeks PMV

Indeks PMV merupakan indeks yang mengindikasikan kondisi dingin dan panas yang dirasakan manusia pada skala -3 sampai 3.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)((M-W) - 3.05 \times 10^{-3} \times (5733 - 6.99(M-W) - 0.42 \times ((M-W) - 58.15) - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - Pa) - 0.0014M(34 - 3.96 \times 10^{-8} fcl \times ((tcl + 273)^4 - (tr + 273)^4) - fcl \times hc(tcl - ta)$$

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

Keterangan :

PMV	=	<i>Predicted Mean Vote</i>
M	=	nilai metabolisme, dalam W/m
W	=	kegiatan external, dalam W/m = 0 untuk kebanyakan aktivitas
Icl	=	daya tahan thermal pada pakaian, dalam m K/W
fcl	=	Rasio area permukaan orang ketika berpakaian, dengan area permukaan ketika tidak berpakaian
ta	=	temperatur udara dalam °C
tr	=	<i>mean radiant temperature</i> dalam °C
var	=	kecepatan relatif udara (relatif terhadap tubuh manusia) dalam m/s
pa	=	<i>partial water vapour pressure</i> , dalam Pa
hc	=	<i>convective heat transfer</i> , dalam W/m K
tcl	=	permukaan temperature pakaian, dalam Clo, Ini dihitung untuk kondisi ketika tubuh manusia berada pada keseimbangan thermal - <i>heat loss</i> lingkungan diseimbangkan oleh produksi metabolisme panas.

Untuk menghitung formula tersebut digunakan perangkat lunak *PMV Calculation*, perangkat lunak ini menghitung besarnya nilai PMV dan PPD.

Temperatur Efektif

Temperatur Efektif (TE) bisa dicari dengan menggunakan nomogram. Setelah hasil suhu efektif diketahui, maka selanjutnya adalah dengan melihat skala suhu efektif untuk melihat interval kenyamanannya.

Dingin tidak nyaman (TE)	=	< 20.5° C
Sejuk-nyaman (TE)	=	20.5° C – 22.8° C
Nyaman optimal (TE)	=	22.8° C – 26.0° C
Hangat-nyaman (TE)	=	26.0° C – 27.2° C
Panas tidak nyaman (TE)	=	> 27.2° C

THI (*Temperature Humidity Index*)

Temperature Humidity Index atau dikenal juga dengan Indeks Kelembaban Panas, merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk mengkaji tingkat kenyamanan di suatu daerah. Metode ini menghasilkan suatu indeks untuk menetapkan efek dari kondisi panas pada kenyamanan manusia yang mengkombinasikan suhu dan kelembaban (Encyclopedia 2003).

Hasil penelitian yang telah dilakukan Mulyana et al. (2003), menyatakan bahwa Indeks Kenyamanan dalam kondisi nyaman berada pada kisaran THI 20 –26. Penentuan THI atau indeks kenyamanan dapat ditentukan dari nilai suhu udara ($^{\circ}\text{C}$) dan kelembaban (RH) dengan persamaan sebagai berikut:

$$THI = 0,8T_a + \frac{(RH \times T_a)}{500}$$

THI = *Temperature Humidity Indeks*

Ta = Suhu Udara ($^{\circ}\text{C}$)

RH = Kelembaban Udara (%)

Uji responden

Uji responden dilakukan, hal ini akan sangat menentukan dalam hal kesesuaian lingkungan termal yang nyaman yang dirasakan oleh responden, kuesioner dibagikan kepada 100 orang, masing-masing 50 kuesioner untuk R. Fisika dan 50 untuk R. Botani.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks PMV (*Prediction Mean Vote*) dan PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*)

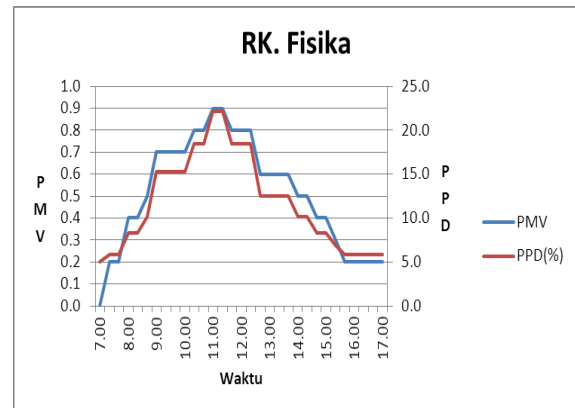
Penghitungan nilai PMV dilakukan pada ruang kuliah dengan contoh ruang kuliah berkapasitas besar (200-250 orang), sedang (120-150 orang), dan kecil (50-120 orang). Masing-masing dilakukan pada dua ruang dengan tipe yang sama baik itu di kampus IPB Darmaga ataupun di kampus IPB Baranangsiang. Pada kampus IPB Baranangsiang contoh ruang besar yang digunakan adalah RK. Fisika dan RK. Botani, untuk ruang sedang adalah RK. BS-P1 dan RK. BS-P2, dan untuk ruang kecil adalah RK. Extensi Ilkom dan R. Sidang Ilkom.

Pada kampus IPB Darmaga contoh ruang besar yang digunakan adalah RK. Auditorium GMSK dan RK. GMSK-LH, untuk ruang sedang adalah RK. Pinus 1 dan RK. Pinus 2, sedangkan untuk ruang kecil adalah RK. Kenanga A dan RK. Kenanga B.

Pada ruang kuliah besar di kampus IPB Baranangsiang yaitu RK. Fisika dan RK. Botani memiliki sistem ventilasi bersilang tanpa penghalang

atau tanpa penutup kaca, sehingga pada kedua ruang kuliah tersebut angin yang berhembus terasa sekali menyejukkan.

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran kemudian dihitung untuk mencari kisaran nilai PMV dan PPD baik itu di RK. Fisika maupun di RK. Botani.



Gambar 1 Fluktuasi Nilai Kenyaman RK. Fisika.

Nilai rata-rata PMV pada RK. Fisika adalah 0.5 dan PPD bernilai 10.2 %, artinya RK. Fisika tersebut kesan termal yang dirasakan adalah netral yang menuju ke arah agak hangat, untuk nilai PPD sebesar 10.2% menandakan persentasi ketidakpuasan hanya 10.2%, nilai ini masih bisa dikatakan untuk ketidakpuasan kenyamanan pada RK. Fisika masih relatif kecil.

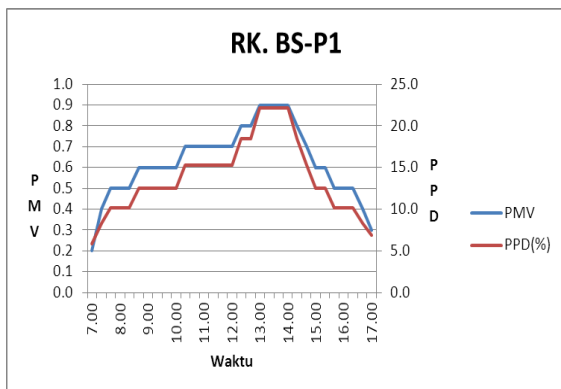
Semakin condong kearah negatif atau ke kiri dan semakin condong kearah positif atau ke kanan maka nilai PPD akan semakin besar maka ketidakpuasan juga akan semakin besar pula, dengan nilai rata-rata tersebut hal ini menunjukkan bahwa dengan sistem ventilasi terbuka udara akan mengalir masuk tanpa halangan, sehingga udara yang masuk dapat dirasakan oleh orang yang berada dalam ruangan tersebut. Selain itu dengan sistem ventilasi terbuka, tidak perlu lagi menggunakan pendingin ruangan, hal ini tentu saja akan menghemat energi (Gambar 1).

Pada RK. Botani di peroleh nilai rata-rata PMV 0.6 dan PDD 12.5%. Nilai 0.6 mengindikasikan bahwa kesan termal yang dirasakan pada ruangan tersebut adalah mengarah ke arah agak hangat, lalu nilai PPD atau persentasi ketidakpuasan juga relatif kecil yaitu sebesar 12.5%, hal ini tetap dirasakan sebagai kesan termal yang nyaman, sebab nilai PMV menunjukan pada skala netral menuju agak hangat.

Pada RK. Botani, nilai rata-rata PMV hampir sama dengan nilai PMV pada RK. Fisika, hal ini tentunya dikarenakan RK. Fisika dan RK. Botani mempunyai atau memiliki tipe yang sama, baik dari bentuk, ukuran, jenis bahan atau material, ventilasi, dan lain-lain.

Pada contoh ruangan sedang (kapasitas 120-150 orang) yang digunakan yaitu RK. BS-P1 dan RK. BS-P2. Dalam hal ini bentuk bangunan tidak seperti pada ruangan kelas besar, sistem ventilasi hanya sedikit namun mencukupi, selain itu pada ruang sedang ini banyak terdapat jendela kaca.

Baik pada RK. BS-P1 dan RK. BS-P2 sensasi yang dirasakan adalah netral menuju agak hangat, namun kisaran netral ini adalah kisaran yang paling ideal karena seimbang dalam artian tidak merasakan kedinginan ataupun sensasi kepanasan. Sehingga untuk nilai PMV 0.6 dan PPD bernilai 12.5% dapat dikatakan sebagai kondisi nyaman (Gambar 2).

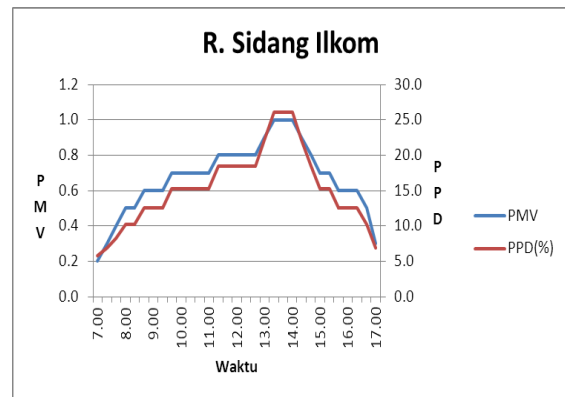


Gambar 2 Fluktuasi Nilai Kenyamanan RK. BS-P1.

Baik pada ruang besar atau ruang sedang menghasilkan nilai PMV dan PPD yang hampir sama, yaitu PMV 0.6 dan PPD 12.5%. Sensasi termal yang dirasakan pada contoh kedua ruang kuliah ini, yaitu ruang besar dan sedang adalah netral menuju agak hangat, nilai ini masih dikatakan kisaran yang nyaman. Antara ruang besar dan ruang sedang memiliki ukuran atau volume ruang yang perbedaannya tidak terlalu besar.

Jarak antara plafon dan lantai juga cukup tinggi, hal ini yang menjadi salah satu faktor untuk ruang besar dan sedang memiliki nilai PMV dan PPD yang hampir sama, karena pada kedua ruang tersebut aliran udara yang mengalir dalam ruang cukup untuk terjadinya pertukaran udara dalam ruang tersebut, sehingga mengurangi panas ruangan. Jarak ideal plafon dengan lantai adalah 2.75 m – 4 m. Untuk ruang besar yaitu RK. Fisika dan Botani memiliki jarak antara plafon dan lantai adalah 3.5 m, serta untuk ruang sedang yaitu RK. BS-P1 dan RK. BS-P2 adalah 2.8 m.

Berbeda dengan ruang besar dan sedang, pada ruang kecil yaitu R. Sidang Ilkom dan RK. Extensi Ilkom dengan kapasitas 50-120 orang, sensasi termal yang dirasakan adalah netral menuju agak hangat yaitu PMV 0.7 dan PPD 15.3%. Hal ini nilai PMV dan PPD sedikit meningkat namun tidak memberikan perbedaan yang signifikan dengan ruang besar dan sedang (Gambar 3)

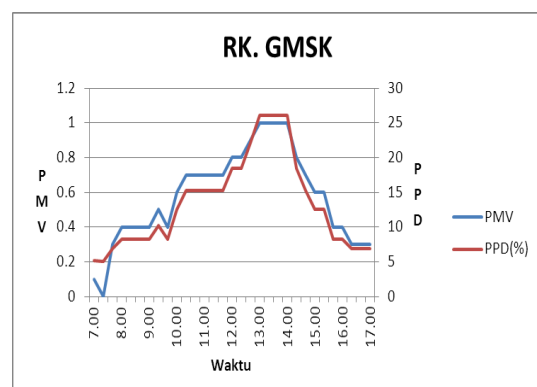


Gambar 3 Fluktuasi Nilai Kenyamanan R. Sidang Ilkom.

Baik pada ruang besar, sedang, maupun kecil, tidak memberikan perbedaan yang signifikan, hal ini bisa disebabkan jarak antara ruang sedang dan kecil tidak terlalu jauh, serta memiliki plafon yang jarak dengan lantainya cukup tinggi pula seperti pada ruang sedang. Selain itu, ventilasi juga memberikan kesan sejuk pada ruangan, karena pada ruang kecil terdapat cukup ventilasi. Pada ruang sedang dan kecil terdapat jendela kaca bening yang cukup, hal ini menyebabkan energi matahari yang diterima cukup banyak ditransmisikan ke dalam ruangan. Oleh karena itu nilai PMV dan PPD pada ruang kecil dan sedang sedikit lebih meningkat dibandingkan dengan ruangan besar.

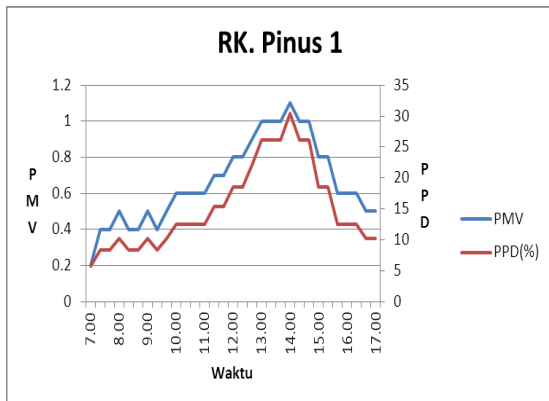
Efektivitas pelindung kaca bening yaitu sebesar 0.95%, efektivitas pelindung disebut pula *Shading Coefficient* (S.C) yang menunjukkan besar energi matahari yang ditransmisikan ke dalam bangunan. Secara teori angka yang ditunjukkan berada pada angka 1 (seluruh energi matahari ditransmisikan) sampai 0 (tidak ada energi matahari yang ditransmisikan).

Pada ruang perkuliahan di kampus IPB Darmaga, untuk ruang besar yaitu RK. GMSK dan RK. GMSK-LH nilai PMV adalah 0.6 dan PPD 12.5%, nilai ini menandakan sensasi termal yang dirasakan yaitu netral menuju agak hangat. Nilai ini sama dengan ruang besar dan sedang di kampus IPB Baranangsiang (Gambar 4).



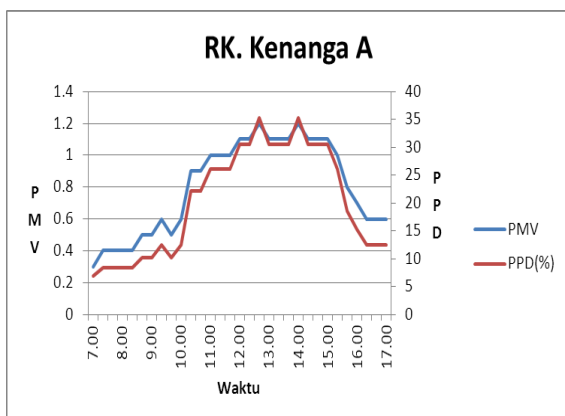
Gambar 4 Fluktuasi Nilai Kenyamanan RK. GMSK.

Pada ruangan sedang, yaitu RK. Pinus 1 dan RK. Pinus 2, nilai PMV yang diperoleh adalah 0.7 dan PPD 15.3%, hal ini nilai PMV dan PPD sedikit meningkat, namun tetap saja sensasi termal yang dirasakan yaitu netral menuju ke arah agak hangat. Nilai PMV ini sama dengan nilai PMV pada ruangan kecil di kampus IPB Baranangsiang (Gambar 5).



Gambar 5 Fluktuasi Nilai Kenyamanan RK. Pinus 1.

Pada ruang kecil, yaitu RK. Kenanga A dan RK. Kenanga B, sensasi termal yang dirasakan juga sama dengan sensasi yang dirasakan pada ruang besar dan sedang, yaitu netral menuju agak hangat, atau nilai PMV 0.8 dan PPD 18.5%. Pada ruang kecil ini, nilai PMV yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan nilai PMV pada ruang kecil di kampus IPB Baranangsiang. Namun nilai ini tidak terlalu signifikan perbedaannya. Secara garis besar nilai PMV di kampus IPB darmaga, baik itu ruang besar, sedang, dan kecil sedikit mengalami peningkatan, namun tidak terlalu besar, karena sensasi termal yang dirasakan tetap sama, yaitu netral menuju agak hangat (Gambar 6).



Gambar 6 Fluktuasi Nilai Kenyamanan RK. Kenanga A.

Perbedaan nilai PMV dan PPD yang tidak terlalu besar ini bisa disebabkan sistem ventilasi yang cukup, serta jarak antara plafon dan lantai pada semua jenis ruang berada pada jarak yang ideal, yaitu 2.75 m – 4 m. Namun faktor penggunaan

jendela kaca bening pada semua jenis ruangan, baik itu ruang besar, sedang, dan kecil menyebabkan nilai PMV dan PPD lebih meningkat, banyak sinar matahari yang terkena bangunan ditransmisikan.

Kecepatan angin di daerah iklim tropis panas lembab umumnya rendah. Angin dibutuhkan untuk keperluan ventilasi (untuk kesehatan dan kenyamanan penghuni di dalam bangunan). Ventilasi adalah proses dimana udara 'bersih' (udara luar), masuk (dengan sengaja) ke dalam ruang dan sekaligus mendorong udara kotor di dalam ruang ke luar. Ventilasi dibutuhkan untuk keperluan oksigen bagi metabolisme tubuh, menghalau polusi udara, sebagai hasil proses metabolisme tubuh (CO_2 dan bau), dan kegiatan-kegiatan di dalam bangunan.

Sistem ventilasi bersilang pada ruang besar yang ada pada RK. Fisika dan RK. Botani cukup memudahkan aliran udara yang masuk ke dalam ruangan, ditambah lagi dengan ventilasi yang sangat terbuka, hal ini tentu saja kesan sejuk yang ditimbulkan akan sangat terasa. Kecepatan angin yang nikmat dalam ruangan adalah 0,1 – 0,15 m/detik. Berbeda dengan sistem ventilasi pada ruang besar yang terdapat di kampus IPB Darmaga, sistem ventilasi yang terdapat pada RK. GMSK dan RK. Auditorium GMSK tidak bersilang dan terbuka, namun aliran udara yang masuk melalui ventilasi cukup baik, karena sistem ventilasi pada RK. GMSK dan RK. GMSK-LH cukup banyak.

Namun perlu diperhatikan adalah dengan sistem ventilasi terbuka tanpa pelindung kaca atau yang lainnya hal ini juga memberi efek panas, karena radiasi matahari akan langsung masuk atau ditransmisikan ke dalam ruangan.

Vegetasi juga berpengaruh terhadap kenyamanan ruangan, sebab vegetasi berperan dalam menghalang sinar matahari. Lingkungan atau keadaan disekitar kampus IPB Baranangsiang banyak terdapat pohon-pohon tinggi, serta vegetasi lainnya, tentu saja hal ini sinar matahari banyak yang diredam, meski vegetasi tidak secara langsung menurunkan suhu udara karena sinar matahari akan diserap oleh daun untuk proses fotosintesis, namun efek bayangan yang ditimbulkan oleh vegetasi akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan dan tanah di bawahnya.

Pada ruang sedang dan kecil pada kedua kampus, meskipun jarak antara vegetasi dan ruang kelas cukup jauh, namun karena posisi jenis kelas tersebut terdapat pada lantai yang tidak terlalu tinggi, jadi faktor halangan bangunanpun menjadi faktor yang sangat penting. Halangan bangunan juga memberikan efek pembayangan, meski tidak seefektif pembayangan yang disebabkan oleh vegetasi namun cukup untuk memberikan kesan sejuk. Sehingga nilai PMV pada ruang besar dan

kecil perbedaannya tidak terlalu mencolok atau signifikan.

Pada kondisi di sekitar kampus, banyak ditumbuhi pohon-pohon tua yang tinggi, dengan daun yang lebat. Maka dari itu nilai *Shading Coeficient* berkisar antara 0.2 – 0.25, hal ini menandakan bahawa efektifitas pohon sebagai pelindung cukup efektif karena radiasi matahari banyak yang diredam sehingga sedikit energi matahari yang ditransmisikan. Hasil ini pula yang menyebabkan nilai kenyamanan dalam ruang yang diteliti berada pada kondisi netral menuju agak hangat, khususnya ruang besar.

Kedekatan pohon terhadap bangunan juga dapat dimanfaatkan untuk mengatur besarnya aliran udara yang masuk ke dalam bangunan. Namun, penempatan pohon dan tanaman yang kurang tepat dapat menghilangkan efek sejuk. Semakin jauh dari bangunan maka akan semakin baik karena gerakan udara dalam bangunan akan semakin besar. Pada kondisi di sekitar kampus pohon atau tanaman berada pada jarak cukup baik dari bangunan, aliran udara yang masuk kedalam bangunan terasa sekali, hal ini aliran udara dalam bangunan cukup besar karena tidak terhalang oleh pohon atau tanaman.

Kecepatan angin yang terlalu tinggi juga akan mempengaruhi kesan ketidaknyamanan, maka fungsi vegetasi selain untuk memberikan efek bayangan serta menahan sinar radiasi, vegetasi dapat juga berperan sebagai “*windbreak*”, pohon sebagai ‘*windbreak*’ dapat mengurangi kecepatan angin lebih dari 35 % jika jaraknya dari bangunan sebesar 5 kali tinggi pohon.

Faktor material bangunan juga akan mempengaruhi kenyamanan termal dalam bangunan, hal ini terkait dengan serapan kalor untuk masing-masing bahan. Radiasi matahari memancarkan sinar ultra violet (6%), cahaya tampak (48%) dan sinar infra merah yang memberikan efek panas sangat besar (46%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa radiasi matahari adalah penyumbang jumlah panas terbesar yang masuk ke dalam bangunan.

Radiasi yang masuk pada atap bangunan kemudian dipantulkan kembali dan sebagian diserap. Panas yang diserap akan disimpan, kemudian dialirkan kebagian sisi yang lain yang dingin, masing-masing bahan bangunan memiliki angka koefisien serapan kalor (%). Kampus IPB Baranangsiang dan Darmaga memiliki atap yang terbuat dari genteng keramik, hal ini menunjukkan koefisien angka serapan kalor 62 -66 %, jadi radiasi yang diterima oleh atap sebagian besar diserap, hal ini pula menyebabkan sensasi termal yang dihasilkan dari netral menuju agak hangat, namun hal ini tidak menjadi kendala karena faktor vegetasi memberikan pengaruh yang besar, khususnya pada

ruang besar. Akan tetapi untuk ruang sedang dan kecil, hal ini cukup memberikan pengaruh terhadap kenyamanan.

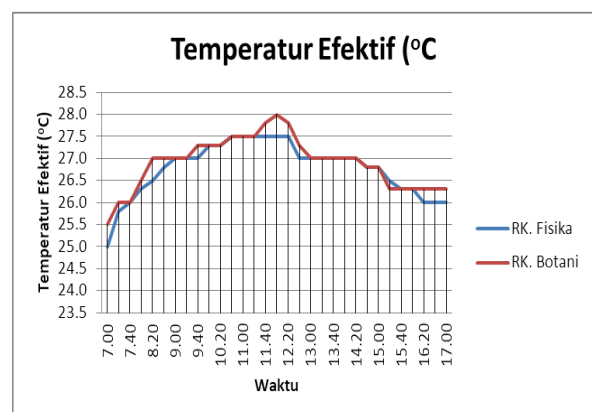
Selain itu, faktor warna juga mempengaruhi serapan kalor. Warna-warna muda memiliki angka serapan kalor yang lebih sedikit dari pada warna tua. Warna putih memiliki angka serapan kalor paling sedikit (10%-15%), sebaliknya warna hitam dengan permukaan tekstur kasar dapat menyerap kalor sampai 95%. Warna yang digunakan Kampus IPB Baranangsiang dan Darmaga adalah warna putih, hal ini sangat baik, karena radiasi yang jatuh pada permukaan dinding akan banyak dipantulkan sehingga sedikit panas yang dapat diserap.

Temperatur Efektif

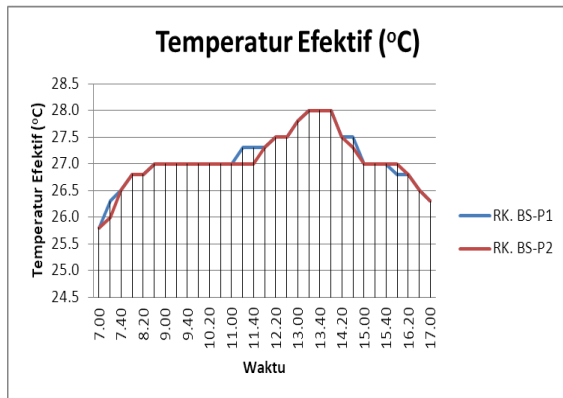
Penghitungan temperatur efektif dilakukan untuk melihat interval nilai kenyamanan pada kedua ruangan tersebut, besarnya dapat dicari dengan menggunakan diagram kenyamanan atau nomogram. Suhu efektif diperoleh dari hubungan tiga variabel yaitu suhu, kelembaban, dan kecepatan angin.

Suhu efektif pada RK. Fisika dan RK Botani dihasilkan nilai rata-rata suhu efektif sebesar 26.8 °C dan 26.9 °C, menurut Mom & Wiesebron suhu efektif rata-rata pada ruangan tersebut berada pada kisaran suhu hangat nyaman. Menurut penelitian Lippsmeier, batas-batas kenyamanan manusia untuk daerah khatulistiwa adalah 19°C TE (batas bawah) – 26°C TE (batas atas). Nilai yang dihasilkan sedikit lebih tinggi, Jadi pada RK. Fisika dan RK. Botani dikatakan sebagai ruangan yang hangat namun tetap nyaman. Begitu pula pada RK. BS-P1 dan RK. BS-P2, nilai rata-rata suhu efektif adalah 27.1 °C dan 27 °C masih termasuk dalam kisaran suhu hangat nyaman (Gambar 7 dan 8).

Suhu efektif untuk RK. Sidang Ilkom dan RK. Extensi Ilkom dihasilkan rata-rata suhu efektif sebesar 27.1 °C dan 27.2 °C, hal ini ruangan tersebut masih dalam kisaran hangat nyaman. Baik ruang besar, sedang, dan kecil, kisaran suhu efektif di kampus IPB Baranangsiang tergolong ruangan yang hangat nyaman.



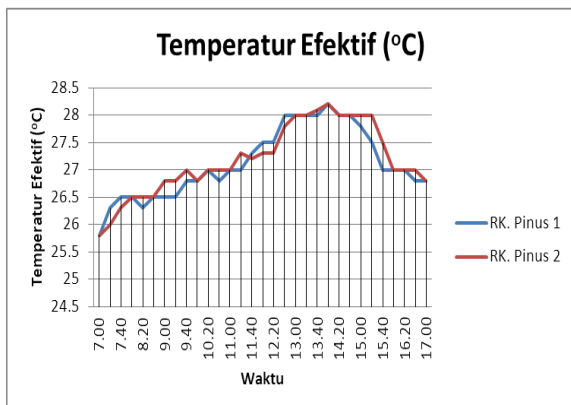
Gambar 7 Suhu Efektif RK. Fisika dan Botani.



Gambar 8 Suhu Efektif RK. BS-P1 dan BS-P2.

Jadi baik nilai PMV dan suhu efektif, kedua metode tersebut memberikan hasil bahwa untuk ruang besar, sedang, dan kecil masuk kedalam ruangan yang hangat.

Suhu efektif pada ruang besar, yaitu RK. GMSK dan RK. GMSK-LH, memiliki suhu efektif sebesar 26.9 °C dan 27 °C, kisaran suhu ini menandakan kenyamanan pada ruang tersebut masuk kedalam kisaran hangat nyaman.



Gambar 9 Suhu Efektif RK. Pinus 1 dan RK. Pinus 2.

Suhu efektif pada ruang sedang, yaitu RK. Pinus 1 dan RK. Pinus 2 adalah 27.1°C dan 27.2 °C, kisaran suhu ini juga menandakan bahwa ruang tersebut memiliki kenyamanan hangat nyaman (Gambar 9). Namun berbeda dengan ruang kecil, yaitu R.K Kenanga A dan RK. Kenanga B, kenyamanan ruang yang dirasakan berada pada kisaran panas tidak nyaman, karena melebihi 27.2°C yaitu suhu efektifnya 27.5°C dan 27.4°C.

THI (*Temperature Humidity Index*)

Kemudian jika dikaitkan dengan THI (*Temperature Humidity Index*) maka kondisi di kampus IPB Baranangsiang dan Darmaga Bogor termasuk kedalam kondisi sedang atau netral, sebab nilai THI adalah 26.2 dan 26.8. Korelasi antara lingkungan di luar ruangan sangat berpengaruh terhadap kondisi lingkungan di dalam ruangan,

dengan kondisi kenyamanan sedang berdasarkan THI tersebut maka nilai kesan termal yang tercipta menurut PMV dan temperatur efektif yaitu netral menuju agak hangat.

Uji Responden

Kemudian penelitian dilakukan dengan uji responden terhadap kenyamanan termal yang dirasakan pada ruang besar, sedang, dan kecil baik itu pada ruang kelas di kampus IPB Baranangsiang maupun di kampus IPB Darmaga. Bentuk kuesioner berupa kisaran kenyamanan menurut indeks PMV (*Predicted Mean Vote*). Kuesioner diberikan kepada masing-masing lima puluh orang untuk ruang besar, sedang, dan kecil. Hasilnya, untuk RK. Fisika diperoleh 20 orang yang memilih kondisi agak hangat dan 17 orang netral, hal ini terbukti bahwa dengan menggunakan pendekatan berdasarkan metode – metode yang digunakan, hasilnya sama dengan uji responden, bahwa kondisi ruangan tersebut kesan termal yang dirasakan adalah agak hangat.

Begitu pula dengan pengujian yang dilakukan pada RK. Botani, dari lima puluh orang responden 13 memilih netral dan 26 orang memilih agak hangat. Kedua ruangan tersebut responden lebih banyak memilih kondisi agak hangat.

Pada RK. BS-P1 dan BS-P2 responden banyak yang memilih kondisi agak hangat yaitu sebanyak 22 orang untuk RK. BS-P1 dan 22 orang untuk RK. BS-P2. Hal ini juga sesuai dengan nilai PMV yang dihasilkan pada kedua ruang tersebut.

Hal yang sama juga dirasakan oleh responden pada R. Sidang Ilkom dan RK. Extensi Ilkom, responden juga banyak yang memilih kondisi agak hangat, yaitu 25 orang untuk R. Sidang Ilkom dan 22 orang untuk RK. Extensi Ilkom. Jadi secara keseluruhan untuk ruang kelas pada kampus IPB Baranangsiang nilai PMV yang diperoleh sesuai dengan kondisi yang dirasakan oleh responden.

Pada ruang besar yaitu RK. GMSK dan RK. GMSK-LH di kampus IPB Darmaga, sensasi termal yang dirasakan oleh responden juga didominasi oleh kondisi agak hangat, yaitu 22 orang untuk RK. GMSK dan 16 orang untuk RK. GMSK-LH, hal ini juga sesuai dengan nilai PMV yang dihasilkan pada ruangan tersebut.

Pada ruang sedang yaitu RK. Pinus 1 dan RK. Pinus 2 kondisi hangat lebih banyak dirasakan oleh responden yaitu 19 orang untuk RK. Pinus 1 dan 24 orang untuk RK. Pinus 2. Meskipun nilai PMV yang dihasilkan sedikit berbeda dengan yang dirasakan responden, namun berdasarkan temperatur efektif kondisi yang dirasakan responden sama yaitu hangat nyaman.

Sensasi termal yang dirasakan oleh responden pada ruang kecil lebih banyak memilih kondisi

hangat dan panas, yaitu masing-masing 22 orang untuk RK. Kenanga A dan RK. Kenanga B. Nilai PMV yang diperoleh juga tidak jauh berbeda dengan hasil responden, jika dibandingkan dengan kisaran temperatur efektif yang dihasilkan, maka hasil yang dirasakan oleh responden sama dengan kisaran suhu efektif yaitu hangat nyaman.

KESIMPULAN

Berdasarkan penghitungan dengan menggunakan rumus PMV sensasi kenyamanan yang dirasakan pada ruang besar, sedang dan kecil pada kampus IPB Barangsiang dan Darmaga Bogor berada pada kondisi netral menuju agak hangat yaitu berkisar antara PMV 0.6-0.7 dengan nilai PPD berkisar antara 12.5%-15.3%.

Jika dikaitkan dengan nilai temperatur efektif, kisaran kenyamanannya pun tidak jauh berbeda, yaitu terletak pada kisaran hangat nyaman. Yaitu berkisar antara 26.0°C– 27.2°C. Faktor luar juga berpengaruh terhadap faktor dalam ruang, untuk menguji kondisi kenyamanan di luar ruang digunakan uji THI. Untuk kondisi pada kedua kampus nilai THI berada pada kondisi sedang atau netral yaitu 26.2 dan 26.8. Agar hasil lebih efektif, maka uji responden pun dilakukan, hal ini bertujuan apakah metode-metode yang telah digunakan sama dengan kesan atau sensasi kenyamanan yang dirasakan oleh responden. Dari hasil yang diperoleh, baik ruangan yang terdapat di kampus IPB Barangsiang maupun IPB Darmaga lebih banyak memilih kondisi kenyamanan agak hangat.

DAFTAR PUSTAKA

- Brager G S, De Dear R. "Climate, Comfort & Natural Ventilation : A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55 ", in : *Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century*, Windsor, UK, Loughborough University. 2001. pp. 60-77.
- Baker, L.A. *et al.* 2002. Urbanization and warming of Phoenix (Arizona, USA): impacts, feedbacks and mitigation. *Urban Ecosystem* 6: 193-203. Kluwer Academic Publisher. Netherlands.
- Brandsma, T., G.P. Können, H.R.A. Wessels. 2003. Empirical estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of The Netherlands. *International Journal of Climatology* 23(7): 829-845.
- Chung, U., J. Choi, and J.I. Yun, 2004. Urbanization effect on the observed change in mean monthly temperatures between 1951-1980 and 1971-2000 in Korea. *Climatic Change* 66(1-2): 127-136.
- Emmanuel, R. 2005. Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment* (40): 1591-1601. Elsevier, Ltd.
- Hawkins, T.W., W.L. Stefanov, W. Bigler, and E.M. Saffell. 2004. The role of rural variability in urban heat island determination for Phoenix, Arizona. *Journal of Applied Meteorology* 43(3): 476-486.
- Hinkel, K.M., F.E. Nelson, A.F. Klene, and J.H. Bell. 2003. The urban heat island in winter at Barrow, Alaska. *International Journal of Climatology* 23(15): 1889-1905.
- Humphreys MA, Nicol JF. "The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments", in: *Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century*, Windsor, UK, Loughborough University. 2001, pp. 406- 430.
- Jauregui, E. 1997. Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment* 31(22): 3821-3831.
- Lippsmeller G. 1994. *Bangunan Tropis* (terjemahan). Jakarta. Penerbit Erlangga.
- Mangunwijaya Y.B. 1988. *Pengantar Fisika Bangunan*. Jakarta: Djambatan
- Talarosha. 2005. Menciptakan Kenyamanan Termal Bangunan. *Jurnal Sistem Teknik Industri*. Volume 6. No. 3 Juli 2005: hal. 148-158
- Mihalakakou, G., M. Santamouris, N. Papanikolaou, C. Cartalis, and A. Tsangrassoulis. 2004. Simulation of the urban heat island phenomenon in Mediterranean climates. *Pure and Applied Geophysics* 161(2): 429-451.
- Mulyana et al. 2003. Aplikasi iklim terhadap perkembangan urban, metropolitan Bandung. Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim – LAPAN. Bandung.
- Murakami A., A.M. Zain, K. Takeuchi, A. Tsunekare dan S. Yakota. 2005. Trends in urbanization and pattern of land use in the Asian mega cities Jakarta, Bangkok, and Metro Manila. *Landscape and Urban Planning*. 2005(70): 251-259. Elsevier.
- Oke, T.R. 1997. Urban climate and global change, in *Applied Climatology: Principles and Practices*, eds A Perry & R Thompson. London, 273-287pp.
- Stallings, J.A. 2004. Characteristics of urban lightning hazards for Atlanta, Georgia. *Climatic Change* 66(1-2): 137-150.
- Torok, S. J., C.J.G. Morris, C. Skinner, and N. Plummer. 2001. Urban heat island features of southeast Australian towns. *Australian Meteorological Magazine* 50(1): 1-13.
- Unger, J., Z. Sumeghy, A. Gulyas, Z. Bottyan, and L. Mucsi. 2001. Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorological Applications* 8(2): 189-194.
- Voogt, J.A. 2002. Urban heat island: causes and consequences of global environmental change. John Wiley and Sons, Ltd. Chichester. 660-666pp.
- Voogt, J.A and T.R Oke. 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* (86): 370-384
- Weng, Q.H., and S.H Yang. 2004. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely

- populated Chinese city. *Journal of Environmental Management* 70(2): 145-156.
- Yamashita, S, K. Sekine, M. Shoda, K. Yamashita, and Y. Hara. 1986. On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River basin, Japan. *Atmospheric Environment* 20(4): 681-686.
- Zhou, L.M., R.E. Dickinson, Y.H. Tian, J.Y. Fang, Q.X. Li, R.K. Kaufmann, C.J. Tucker, R.B. Myeni. 2004. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101(26): 9540-9544.