

KAJIAN KENYAMANAN TERMAL RUANG KULIAH PADA GEDUNG SEKOLAH C LANTAI 2 POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Demi Tria Istiningrum¹, Rr Leidy Arumintia W.S.¹, Muhamad Mukhlisin^{1,*},
Mochammad Tri Rochadi¹

¹Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof H. Sudarto, S.H. Tembalang Semarang 50275

*¹Email : mmukhlis2@gmail.com

Abstract

In carrying out the activity, people are generally want a comfortable condition. One of the physical environmental factors that affect the level of comfort when working is thermal comfort. Thermal comfort is the feeling that someone is comfortable with the condition of the environment temperature, which is described as a condition where a person does not feel too hot or too cold in specific environments. Things that influence the thermal comfort is air temperature, humidity, wind speed, insulant clothing value and rate of metabolic. The study was conducted in lecture room State Polytechnic of Semarang, 4 rooms on the 2nd floor have been selected as the object in this study because those rooms are located at the east and the west of building and still using natural ventilation, those rooms are SC II-01, SC II-02, SC II-09 and SC II-10. This study was conducted to determine how the level of thermal comfort in the classroom. The method used in this research is PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). PMV is used to determine the comfort level of student as users of the room, while the PPD is used to determine the level of student dissatisfaction as users of the room. From the results obtained in mind that the three classes in the category of heat that is SC II-01, SC II-02 and SC II-09. While another class, namely SC II-10 into the warm category.

Kata kunci : *PMV, PPD, Thermal Comfort, Lecture Room, Classroom*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki iklim tropis. Wilayah Indonesia yang terdiri dari dataran tinggi, dataran rendah dan pegunungan memiliki temperatur udara yang berbeda-beda sehingga membentuk iklim vertikal dari dataran rendah hingga ke pegunungan, yaitu iklim panas, sedang, sejuk dan dingin. Hal ini disebabkan karena letak Indonesia yang secara astronomis berada di antara 6° LU – 11° LS dan 95° BT - 141° BT yang merupakan

lintang rendah sehingga Indonesia berada pada iklim tropis. Salah satu faktor lingkungan fisik yang mempengaruhi tingkat kenyamanan pada saat bekerja adalah kenyamanan termal. Kenyamanan termal adalah perasaan dimana seseorang merasa nyaman dengan keadaan temperatur lingkungannya, yang dalam konteks sensasi digambarkan sebagai kondisi dimana seseorang tidak merasakan kepanasan maupun kedinginan pada lingkungan tertentu (ASHRAE, 2010). Jadi, kenyamanan termal bukan hanya

diukur dari temperatur udara tetapi juga dari jumlah individu yang merasa nyaman dengan temperatur lingkungan tersebut.

Secara garis besar, kenyamanan termal suatu ruangan dapat disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor lingkungan dan faktor individu yang diakibatkan oleh pengguna itu sendiri. Faktor lingkungan yakni temperatur udara, temperatur radiant, kelembaban dan kecepatan angin. Sedangkan faktor individu yang terdiri atas dua faktor, yakni tingkat metabolisme tubuh (aktivitas) dan pakaian (ASHRAE, 2010). Dalam melaksanakan aktivitas, manusia umumnya menginginkan kondisi yang nyaman. Menurut Talarosha (2005), idealnya sebuah bangunan mempunyai nilai estetis, berfungsi sebagaimana tujuan bangunan tersebut dirancang, memberikan rasa 'aman' (dari gangguan alam dan manusia/makhluk lain) serta memberikan kenyamanan 'termal', 'visual' dan 'audio'.

Salah satu aktivitas utama di universitas adalah belajar. Belajar merupakan salah satu pekerjaan yang bersifat mental, yang membutuhkan kemampuan kognitif dalam menjalaninya. Kognitif merupakan semua aktivitas mental yang berhubungan dengan persepsi, penalaran, pikiran, ingatan dan pengolahan informasi yang memungkinkan seseorang memperoleh pengetahuan, memecahkan masalah dan merencanakan masa depan (Rahmadani, 2011). Dalam proses belajar, dibutuhkan kondisi yang optimal, baik dari individu ataupun

lingkungan agar aktivitas belajar dapat berjalan dengan baik. Bila lingkungan belajar tidak mendukung, maka proses penyampaian informasi dan kinerja dari pelajar akan berkurang atau tidak tercapai secara optimal.

Penelitian ini dilakukan pada empat ruang perkuliahan di Gedung Sekolah C lantai dua Politeknik Negeri Semarang, berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang hanya mengambil satu atau dua ruang pada lantai satu sebagai objek penelitiannya. Empat ruang kuliah tersebut dipilih sebagai objek penelitian karena masih menggunakan ventilasi alami serta mempunyai bidang yang terkena paparan sinar matahari lebih banyak di lantai tersebut, yakni dua ruang kuliah di bagian paling timur dan dua ruang kuliah di bagian paling barat gedung tersebut.

Kenyamanan Termal

ASHRAE (1989), mendefinisikan kenyamanan termal sebagai suatu pemikiran dimana kepuasan didapati. Oleh karena itu, kenyamanan adalah suatu pemikiran mengenai persamaan *empiric*. Meskipun digunakan untuk mengertikan tanggapan tubuh, kenyamanan termal merupakan kepuasan yang dialami oleh manusia yang menerima suatu keadaan termal, keadaan ini merupakan keadaan yang alamiah baik secara sadar maupun tidak sadar. Kenyamanan termal merupakan suatu kondisi dari pikiran manusia yang menunjukkan kepuasan dengan lingkungan termal (Nugroho, 2011). Prinsip dari kenyamanan termal sendiri yaitu terciptanya keseimbangan

antara suhu tubuh manusia dengan suhu tubuh sekitarnya. Karena jika suhu tubuh manusia dengan lingkungannya memiliki perbedaan suhu yang signifikan maka akan terjadi ketidaknyamanan yang diwujudkan melalui kepanasan atau kedinginan yang dialami oleh tubuh.

Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal

Ada 6 faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal menurut ASHRAE (2009) :

a. Temperatur Udara

Temperatur udara merupakan salah satu faktor yang paling dominan dalam menentukan kenyamanan termal. Satuan yang digunakan untuk temperatur udara adalah Celcius, Fahrenheit, Reamur, dan Kelvin. *Dry Bulb Temperature* (Temperatur Udara Kering), yaitu suhu yang ditunjukkan dengan termometer bulb biasa dalam keadaan kering. Manusia dikatakan nyaman apabila suhu tubuhnya sekitar 37° Celcius. Temperatur tubuh manusia sangat dipengaruhi oleh temperatur yang berada disekitarnya, dalam hal ini akan berlaku hukum termodinamika yang menyatakan bahwa temperatur akan berpindah dari tempat dengan temperatur tinggi ke tempat dengan temperatur rendah.

b. Temperatur Radiant

Temperatur radiant adalah panas yang beradiasi dari objek yang mengeluarkan panas. Temperatur radiant lebih besar dibandingkan temperatur udara dalam bagaimana kita melepas atau menerima panas dari

atau ke lingkungan. Setiap arah bangunan mempunyai besar radiasi berbeda-beda yang terbentuk oleh arah bangunan yang berbatasan dengan luar ruangan dan dengan sinar matahari yang datang. Oleh karena itu dalam mendirikan bangunan harus memperhatikan besaran nilai tersebut.

c. Kecepatan Angin

Kecepatan angin merupakan faktor yang penting dalam kenyamanan termal. Kecepatan angin adalah kecepatan aliran udara yang bergerak secara mendatar atau horizontal pada ketinggian di atas tanah. Kecepatan angin dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilaluinya. Udara yang tidak bergerak dalam ruangan tertutup akan menyebabkan pengguna ruangan merasa kaku ataupun berkeringat. Semakin tidak nyaman, kecepatan angin yang dibutuhkan semakin tinggi.

d. Kelembaban Udara

Kelembaban udara relatif adalah perbandingan antara jumlah uap air pada udara dengan jumlah maksimum uap air yang udara bisa tampung pada temperatur tersebut. Kelembaban udara di sebuah tempat akan mempengaruhi terjadinya perpindahan panas dari dan menuju tubuh. Lingkungan yang mempunyai kelembaban relatif tinggi mencegah penguapan keringat dari kulit. Di lingkungan yang panas, semakin sedikit keringat yang menguap karena kelembaban tinggi, sehingga kegerahan bagi individu yang berada di lingkungan tersebut.

e. Insulasi Pakaian

Kenyamanan termal sangat dipengaruhi oleh efek insulasi pakaian

yang kita kenakan. Pakaian mengurangi pelepasan panas tubuh. Karena itu, pakaian diklasifikasikan berdasarkan pada nilai insulasinya. Satuan yang biasa digunakan untuk pengukuran insulasi pakaian adalah Clo. Batas nyaman untuk pakaian adalah $n \leq 0,5$ Clo. Total nilai Clo bisa dihitung dengan menjumlahkan nilai Clo untuk setiap jenis pakaian.

f. Tingkat Metabolisme

Tingkat metabolisme merupakan panas yang dihasilkan di dalam tubuh sepanjang beraktivitas. Semakin banyak melakukan aktivitas fisik, semakin banyak panas yang dibuat. Semakin banyak panas yang dihasilkan tubuh, semakin banyak panas yang perlu dihilangkan agar tubuh tidak mengalami *overheat*. Metabolisme diukur dalam MET (1 MET = 58 W/m² permukaan tubuh). Manusia dewasa

normal memiliki permukaan kulit 1,7 m², dan orang dalam kenyamanan termal dengan tingkat aktivitas 1 MET akan memiliki *heat loss* kira-kira 100 W. Dalam menilai tingkat metabolisme, penting untuk menggunakan rata-rata aktivitas manusia yang telah ditunjukkan dalam 1 jam terakhir.

Standar Kenyamanan Termal di Indonesia

Temperatur dalam ruangan yang sehat berdasarkan MENKES NO.261/MENKES/SK/II/1998 adalah temperatur ruangan yang berkisar antara 18°C-26°C. Selain itu, berdasarkan standar yang ditetapkan oleh SNI 03-6572-2001, ada tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia atas tiga bagian yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas Kenyamanan Termal

	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban / RH (%)
Sejuk	20,5°C TE –	50%
Nyaman	22,8°C TE	80%
Ambang Atas	24°C TE	
Nyaman	22,8°C TE –	
Optimal	25,8°C TE	70%
Ambang Atas	28°C TE	
Hangat	25,8°C TE –	
Nyaman	27,1°C TE	60%
Ambang Atas	31°C TE	

(sumber : SNI 03-6572-2001)

Skala PMV (*Predicted Mean Vote*)

Predicted Mean Vote (PMV) merupakan skala untuk mengindikasikan rasa dingin dan hangat yang dirasakan oleh manusia. Nilai PMV (*Predicted Mean Vote*) menentukan rentang sensasi temperatur yang dirasakan orang terhadap lingkungan di sekitarnya. PMV mengindikasikan sensasi dingin dan hangat yang dirasakan oleh manusia dengan tujuh skala, yakni -3 (sangat dingin), -2 (dingin), -1 (sejuk),

0 (netral), +1 (hangat), +2 (panas), serta +3 (sangat panas). Nilai nol adalah netralitas termal, bukan kenyamanan termal.

Setelah faktor lingkungan dan faktor subyektif diukur, maka untuk sensasi termal untuk tubuh secara keseluruhan dapat diprediksi dengan cara menghitung indeks PMV (Susanti dan Aulia, 2013), yang didasarkan pada keseimbangan panas dari tubuh manusia, yang diberikan oleh persamaan di bawah ini:

$$PMV = 0,303e^{-0,036M} + 0,028x [(M-W) - 3,05 \times 10^{-3} \{5733-6,99 (M-W) - Pa\} - 0,42 [(M-W) - 58,15 - 1,7 \times 10^{-5} M(5867-Pa) - 0,0014 M (34-t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \{(t_{cl} + 273)^4 - (tr + 273)^4\} - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)]$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 (M - W) - 0,155 I_{cl} [3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \{(t_{cl} + 273)^4 [(tr + 273)^4 + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)]$$

$$h_c = \max (2,38 (t_{cl} - t_a) 0,25 \times 12,1 \sqrt{V})$$

$$f_c = 1,0 + 0,2 I_{cl} \text{ untuk } I_{cl} < 0,5 \text{ clo}$$

$$f_c = 1,05 + 0,1 I_{cl} \text{ untuk } I_{cl} > 0,5 \text{ clo}$$

Dimana,

M : Tingkat aktivitas (W/m^2)

W : Aktivitas luar (W/m^2), 0 untuk sebagian besar aktivitas

f_{cl} : Rasio permukaan tubuh orang ketika berpakaian dan tidak berpakaian

t_{cl} : Temperatur permukaan pakaian ($^{\circ}C$)

h_{cl} : Konvektif heat transfer dalam ($W/m^2 K$)

t_a : Temperatur udara ($^{\circ}C$)

P_a : Kelembaban udara (Pa)

I_{cl} : Nilai insulasi pakaian (clo)

V : Kecepatan aliran udara (m/s)

PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*)

PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*) merupakan banyaknya orang (dalam persentase) yang tidak puas terhadap keadaan termal di lingkungan sekitar. Diasumsikan seseorang tidak nyaman terhadap keadaan termal apabila indeks PMV

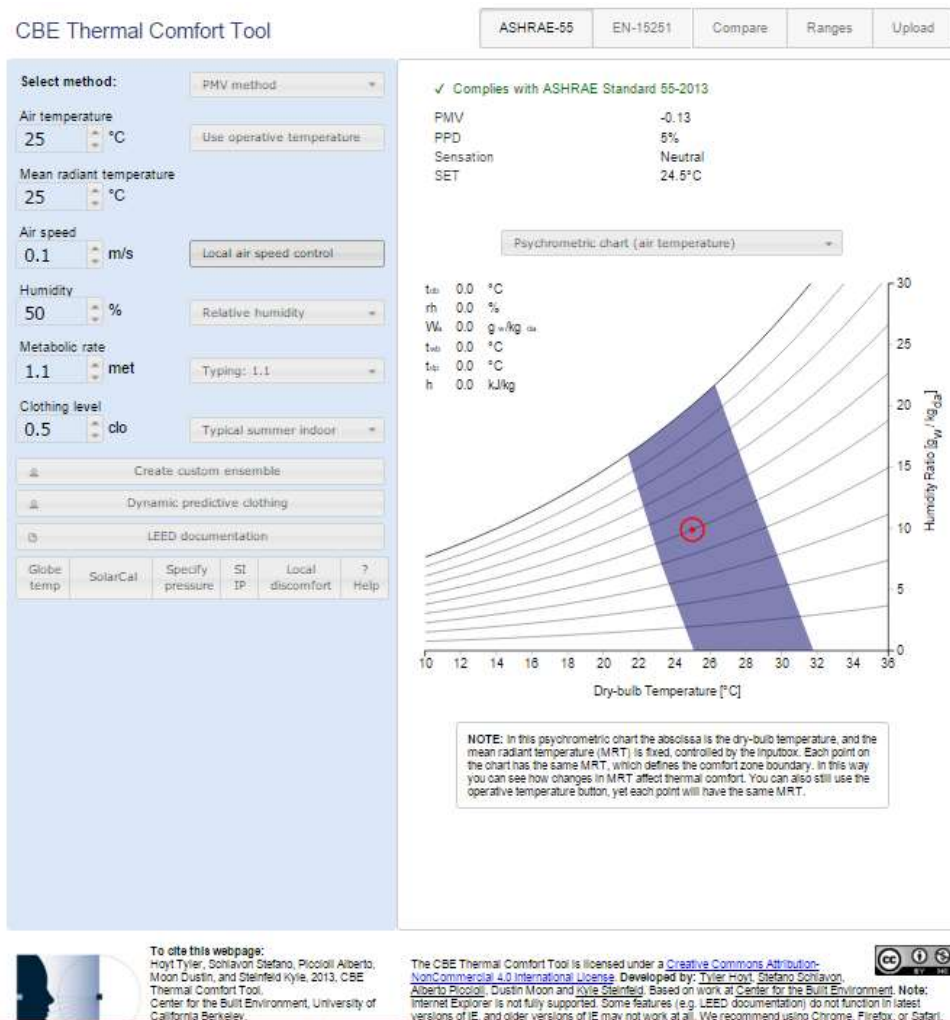
yang dirasakan adalah -3 (sangat dingin), -2 (dingin), +2 (panas), dan +3 (sangat panas). Semakin besar presentase PPD, maka semakin banyak penghuni yang merasa tidak nyaman. Fanger (1982), menghubungkan nilai PMV dan PPD seperti pada persamaan berikut:

$$PPD = 100 - 95 \exp - (10,03353PMV^4 + 0,2179 PMV^2)$$

CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55

Dalam menyelesaikan persamaan PMV dan PPD membutuhkan program komputer karena nilai h_c dan t_{cl} saling bergantung (Satwiko, 2009). Salah satu program tersebut yaitu *CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55* (Gambar 1). Program ini menghasilkan

nilai PMV dan PPD berdasarkan data-data yang dimasukkan. Data tersebut berupa temperatur udara, temperatur radiant, kecepatan angin, kelembaban relatif, nilai insulasi pakaian (clo), serta nilai metabolisme (met). PMV dan PPD yang dihasilkan mengacu pada ASHRAE-55.



Gambar 1. *CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55*

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan

metode deskriptif dan evaluatif. Metode deskriptif digunakan dalam penelitian awal untuk menghimpun

dan memaparkan data tentang kondisi eksisting. Metode evaluatif digunakan untuk mengevaluasi data penelitian yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan. Data yang dihasilkan berupa angka-angka hasil pengamatan di lapangan secara langsung mengenai perilaku belajar mahasiswa akibat kondisi kenyamanan termal di dalam ruang kuliah. Adapun penelitian ini menggunakan alat ukur termometer digital untuk mengukur temperatur dan kelembaban dan menggunakan alat

ukur anemometer untuk mengukur kecepatan angin di dalam ruangan.

Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada 4 ruang perkuliahan di lantai 2 Gedung Sekolah C Politeknik Negeri Semarang. 4 ruang kuliah yang menjadi objek penelitian yaitu ruang kuliah SC II-01, SC II-02, SC II-09 dan SC II-10 yang berorientasi utara-selatan dengan jumlah maksimal sebanyak 24 mahasiswa setiap ruangnya.



Gambar 2. Lokasi dan Gedung Sekolah C Jurusan Teknik Sipil

Alat Ukur yang Digunakan

a. *Multifunction Environment*

Krisbow KW06-284

Multifunction Environment Krisbow KW06-284 digunakan untuk mengukur suhu/temperatur dan kelembaban di dalam ruang kuliah (obyek penelitian). Alat ini tidak hanya berfungsi untuk menentukan nilai suhu dan kelembaban ruangan, namun juga dapat digunakan untuk pengukuran tingkat kebisingan suara dalam ruangan dan juga dapat digunakan

untuk pengukuran penerangan. Berikut adalah gambar dari *Environment Krisbow KW06-284* pada Gambar 3.

b. *Anemometer Benetech GM816*

Anemometer adalah sebuah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran angin. Anemometer dibedakan menjadi dua yaitu untuk mengukur kecepatan angin dan tekanan angin. Berikut adalah gambar Anemometer Benetech GM816 pada Gambar 4.



Gambar 3. Multifunction Environment
Krisbow KW06-284



Gambar 4. Anemometer Benetech
GM816

Metode Pengumpulan Data

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari observasi lapangan dengan cara pengukuran langsung dari masing-masing parameter yang terkait pada setiap ruang kuliah yang dijadikan objek penelitian. Parameter tersebut antara lain, data temperatur suhu ruangan, kelembaban, kecepatan angin dalam ruangan kelas, insulasi pakaian dan nilai metabolisme berdasarkan aktivitas setiap mahasiswa.

Adapun metode pengumpulan data primer sebagai berikut :

- Pengukuran temperatur dan kelembaban udara di dalam ruangan kuliah dilakukan menggunakan alat termometer digital.
- Pengukuran kecepatan angin di dalam ruangan kuliah dilakukan dengan menggunakan alat anemometer.
- Pengukuran dilakukan pada 2 sesi jam efektif belajar, yakni sesi 1 dimulai dari pukul 06.30 – 14.00 WIB dan sesi 2 dimulai dari jam 14.00 - 21.00.

- Pengukuran dilakukan selama 2 hari pada setiap ruangan.

b. Data Sekunder

Data sekunder sebagai penunjang penelitian ini antara lain gambar *As Build Drawing* Gedung Sekolah C Politeknik Negeri Semarang, data perhitungan hasil analisa pengukuran dari setiap parameter dimana perhitungannya menggunakan metode PMV dan PPD, serta beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian.

Mengukur suhu udara, kecepatan angin dan kelembaban udara.

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data primer

- Proses sebelum pengambilan data Pengambilan data dilakukan pada ruang kelas Teknik Sipil pada Gedung Sekolah C lantai 2. Ruang kuliah mempunyai daya tampung untuk 24 mahasiswa. Sebelum penelitian, selain mempersiapkan alat / instrument yang digunakan, tabel pengamatan yang telah dibuat juga perlu dipersiapkan untuk mempermudah pencatatan data pengukuran. Dikarenakan keterbatasan alat dan waktu maka pengukuran

dilakukan selama dua hari setiap ruangnya. Anemometer diletakkan pada ketinggian 1,1 meter sesuai dengan standar yang ditetapkan ASHRAE.

b. Proses Pengambilan Data

Pengambilan data dilaksanakan pada 2 sesi, sesi 1 dimulai pukul 06.30 – 14.00 WIB, kemudian sesi 2 dimulai pukul 14.00 – 21.00 yang merupakan waktu kuliah mahasiswa. Pengambilan data suhu, kecepatan angin dan kelembaban dicatat dengan interval waktu setiap setengah jam sekali.

Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik agar terlihat perbedaan dari suhu ruangan, kelembaban udara dan kecepatan angin dalam selang waktu yang ditentukan. Setelah itu dilakukan pengambilan data variable ruang kelas yaitu :

- 1) Luas ruang kelas
- 2) Jumlah penghuni ruangan
- 3) Aktivitas pengguna ruangan
- 4) Pakaian yang dikenakan pengguna ruangan

Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data akan dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

a. Menghitung nilai insulan pakaian
Perhitungan nilai insulan didasarkan pada pengamatan pakaian yang digunakan oleh mahasiswa di dalam ruang kelas. Menurut ASHRAE (1989), batas nyaman untuk pakaian yang digunakan tidak boleh lebih dari 0,5 clo. Setelah itu dihitung nilai insulan setiap mahasiswa dan diambil rata-rata sebagai input untuk perhitungan selanjutnya.

b. Menghitung menggunakan metode PMV dan PPD

Penghitungan ini dilakukan menggunakan program komputer yaitu CBE Thermal Comfort Tool. Program ini akan menghasilkan nilai PMV dan PPD berdasarkan data-data yang dimasukkan. Data yang dimasukkan berupa temperatur udara, temperatur radiant, kecepatan angin, kelembaban, nilai insulasi pakaian (clo), serta nilai metabolisme (met).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data Pengukuran

a. Temperatur Udara

Setelah dilakukan pengambilan data temperatur udara pada keempat ruangan selama 2 hari, dapat diketahui besar kenaikan suhu per 30 menit setiap ruangan dan pada pukul berapa sajakah temperatur udara tersebut akan mengalami kenaikan maupun penurunan. Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa kelas SC II-10 merupakan kelas yang mempunyai tingkat suhu ruangan terendah dibandingkan ketiga ruangan lainnya, baik di awal maupun di akhir pengukuran.

b. Kelembaban Udara

Setelah dilakukan pengambilan data kelembaban udara pada keempat ruangan selama 2 hari, dapat diketahui besarnya kelembaban udara per 30 menit setiap ruangan dan pada pukul berapa saja suatu ruangan memiliki kelembaban udara tertinggi maupun terendah. Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa kelas SC II-02 pada pengukuran hari pertama merupakan kelas yang mempunyai tingkat

kelembaban terendah dibandingkan ketiga ruangan lainnya, sedangkan pada hari kedua kelas SC II-10 berada pada kelembaban terendah yakni pada siang hari.

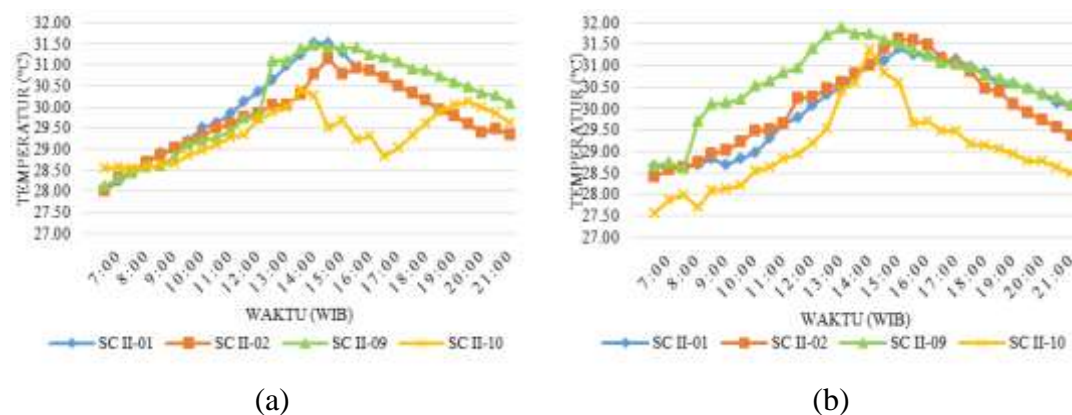
c. Kecepatan Angin

Setelah dilakukan pengambilan data kecepatan angin pada keempat ruangan selama 2 hari, dapat diketahui besarnya kecepatan angin per 30 menit setiap ruangan dan pada pukul berapa saja suatu ruangan memiliki tingkat kecepatan angin tertinggi maupun terendah. Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa pada pengukuran hari pertama kelas SC II-10 merupakan kelas yang mempunyai tingkat kecepatan angin tertinggi

dibandingkan ketiga ruangan lainnya yakni sebesar 2 m/s pada pukul 12.00, sedangkan pada hari kedua kelas SC II-01 mempunyai kecepatan angina tertinggi yakni sebesar 1,7 m/s pada pukul 15.30.

d. Nilai Insulan Pakaian dan Nilai Metabolisme

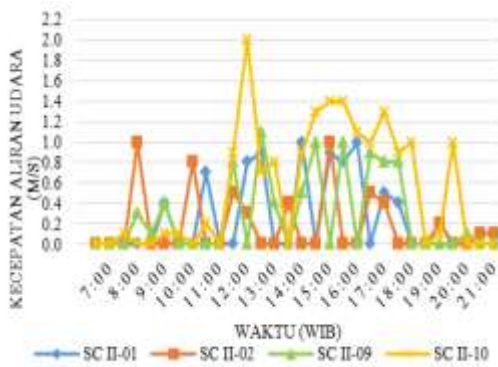
Berikut ini akan disajikan rekapitulasi penghitungan nilai insulan pakaian yang dikenakan mahasiswa pada saat pengambilan data berupa grafik dalam Gambar 8 pada (a). Sedangkan penghitungan nilai metabolisme ditinjau dari jenis kegiatan yang dilakukan mahasiswa selama di dalam ruangan ditunjukkan pada (b).



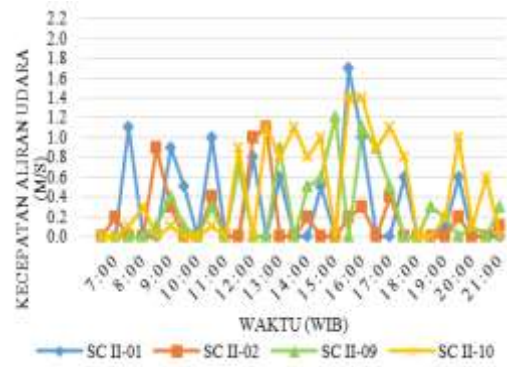
Gambar 5. Rata-Rata Temperatur Udara Setiap Kelas (a) hari pertama (b) hari kedua



Gambar 6. Rata-Rata Kelembaban Udara (a) hari pertama (b) hari kedua

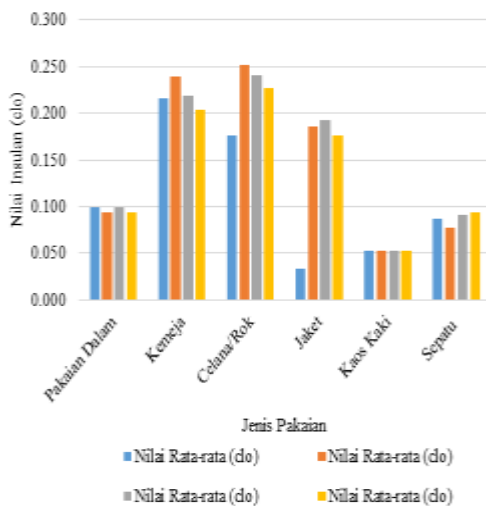


(a)

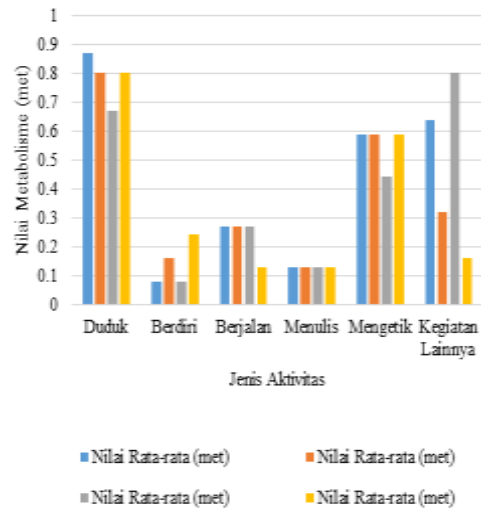


(b)

Gambar 7. Rata-rata Kecepatan Angin Tiap Ruang Kelas (a) hari pertama (b) hari kedua



(a)



(b)

Gambar 8. (a) Nilai Insulan Pakaian (b) Nilai Metabolisme

Perhitungan PMV dan PPD

Dari Gambar 9 menunjukkan skala PMV tiap kelas yang menjadi objek penelitian selama dua hari. Terlihat bahwa ruang kelas C II-10 mempunyai nilai skala PMV paling rendah pada hari pertama maupun kedua, dibanding dengan ruang kelas lainnya. Dapat dikatakan bahwa ruang kelas SC II-10 merupakan ruang kelas yang memiliki

tingkat kenyamanan mendekati standar nyaman dibandingkan dengan ruang kelas lainnya.

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil perhitungan PPD diperoleh antara 87 % - 93 % pada kelas SC II-01, SC II-02 dan SC II-09. Hal ini menunjukkan banyaknya mahasiswa yang cenderung merasa tidak nyaman

dengan kondisi termal ruangan yang ada saat ini.

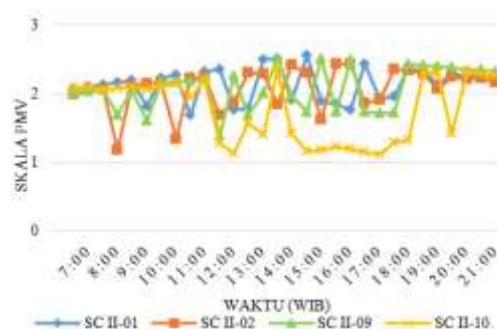
1. Berdasarkan pengukuran parameter-parameter kenyamanan termal di setiap ruangan sesuai dengan metode penelitian dan mengacu pada standar SNI serta ASHRAE 55, masing-masing kelas menghasilkan tingkat kenyamanan yang berbeda. Dari segi temperatur udara dan kelembaban ke-empat ruang kuliah menghasilkan tingkat yang tidak jauh berbeda, yakni sekitar 29 °C - 30 °C untuk rata-rata temperatur udara dan 72 % - 76 % untuk rata-rata kelembaban udara yang dihasilkan setiap ruangnya.
2. Berdasarkan skala kenyamanan termal menurut ASHRAE 55, ruang kuliah SC II-01 menghasilkan skala PMV rata-rata tertinggi, yakni +2,45 dan termasuk dalam kategori panas. Sedangkan ruang kuliah SC II-02 dan ruang kuliah SC II-09 menghasilkan skala PMV rata-rata yang hampir sama, yakni sekitar

+2,3 sampai +2,32 namun, skala ini juga termasuk dalam kategori panas. Skala PMV terendah dihasilkan dari ruang kelas SC II-10 yakni sebesar +1,61 sampai +1,65 skala ini masuk dalam kategori hangat nyaman. Perbedaan tingkat skala PMV ini disebabkan langsung dari parameter-parameter yang sebelumnya telah diukur. Semakin besar skala PMV maka semakin panas kondisi ruangan tersebut dan semakin tinggi juga prosentase PPD atau jumlah ketidakpuasan pengguna ruangan.

3. Setelah melakukan analisa sensitivitas di antara ke-lima parameter yang merupakan faktor pengaruh kenyamanan termal dalam suatu ruangan, yakni temperature udara, kecepatan angin, kelembaban udara, nilai insulan pakaian dan nilai metabolisme, diperoleh hasil bahwa kecepatan angin yang paling berpengaruh dan paling signifikan terhadap perubahan skala PMV dan prosentase PPD.

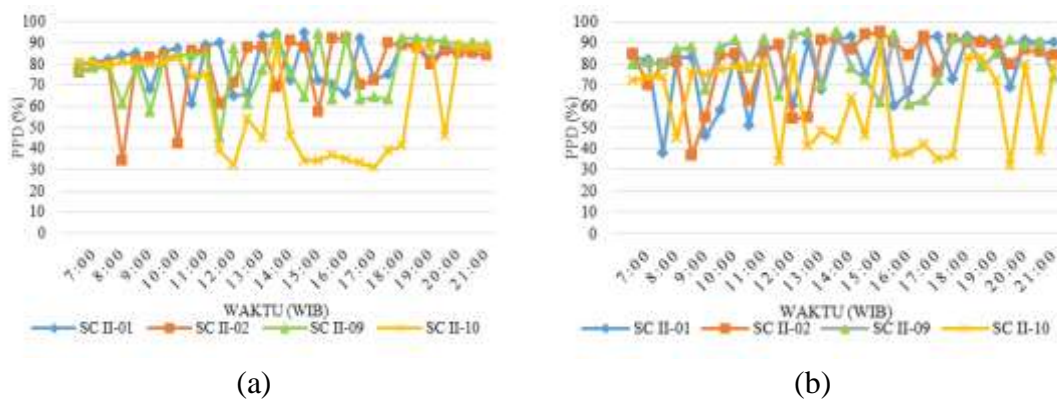


(a)



(b)

Gambar 9. Skala PMV Tiap Kelas (a) hari pertama (b) hari kedua



Gambar 10. Prosentase PPD Tiap Kelas (a) hari pertama (b) hari kedua

Analisa Sensitivitas

Hasil analisa sensitivitas terhadap nilai skala PMV pada tiap parameter yang ditunjukkan pada gambar 11(a). Dilihat dari grafik (a) yakni grafik antara temperatur udara dengan skala PMV, terdapat perubahan yang cukup signifikan dari skala PMV +1 (hangat) hingga mencapai +2 (panas). Kemudian dari grafik (b) yaitu grafik skala PMV ditinjau dari kelembaban udara, adanya sedikit perubahan namun tidak signifikan, hal ini menunjukkan bahwa kelembaban udara tidak terlalu berpengaruh terhadap skala PMV atau tingkat kenyamanan termal suatu ruangan. Begitu juga ditinjau dari nilai insulan pakaian yang ditunjukkan grafik (d) dan nilai metabolisme pada grafik (e) adanya sedikit perubahan namun tidak signifikan, hal ini dikarenakan data nilai insulan pakaian dan nilai metabolisme konstan.

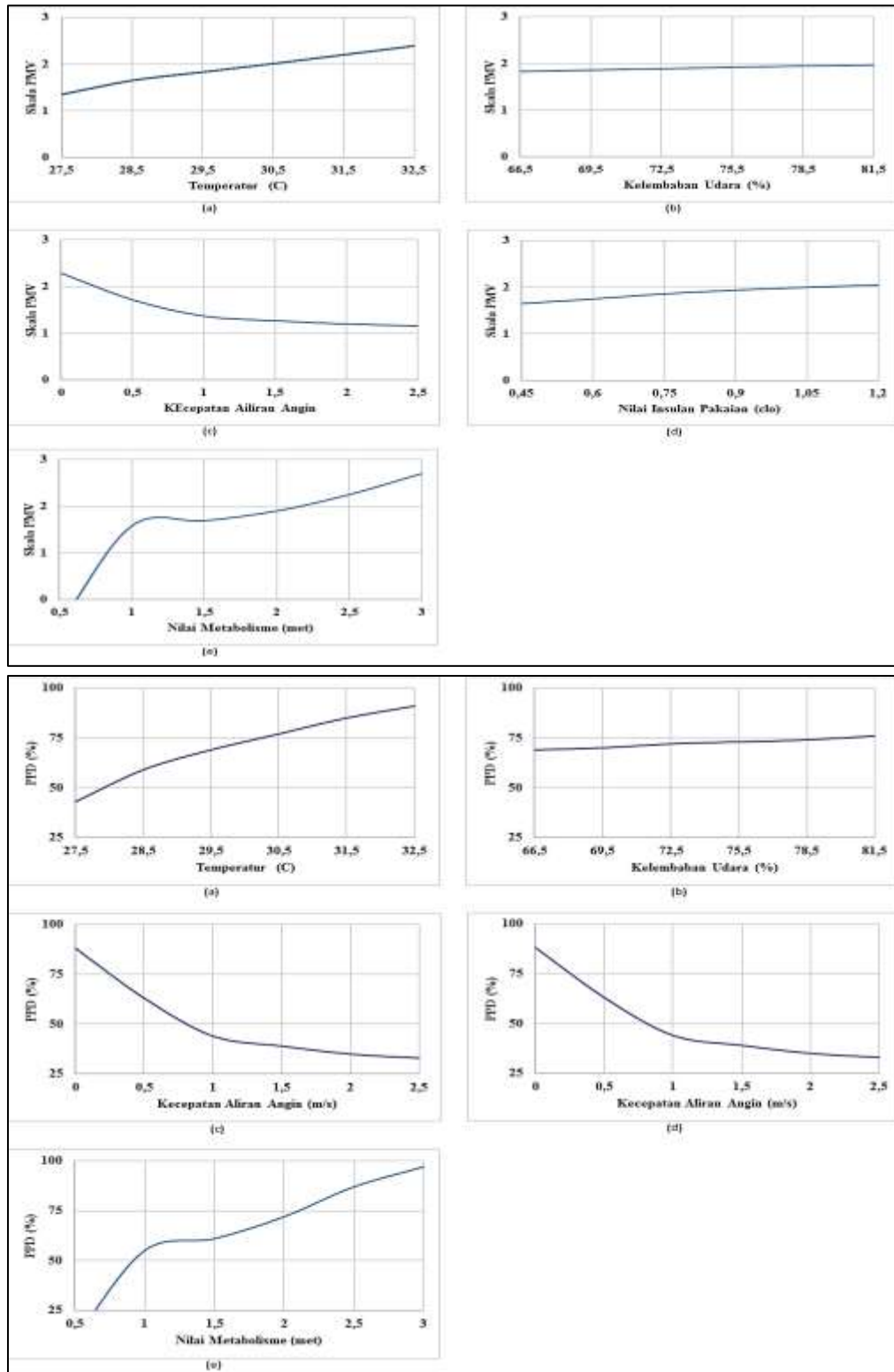
Dari kelima grafik, grafik (c) yaitu grafik antara kecepatan aliran angin terhadap skala PMV menunjukkan perubahan yang berbeda dibandingkan keempat parameter

lainnya. Semakin kecil kecepatan aliran angin maka semakin tinggi nilai skala PMV yang menunjukkan semakin tidak nyaman atau semakin panas keadaan suatu ruangan tersebut. Sebaliknya, semakin besar kecepatan aliran angin maka semakin kecil nilai skala PMV. Perubahan skala PMV yang disebabkan kecepatan angin ini terlihat sangat signifikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran angin merupakan parameter yang paling mempengaruhi terjadinya perubahan nilai skala PMV.

Hasil analisa sensitivitas terhadap nilai PPD pada tiap parameter yang ditunjukkan pada gambar 12 (b). Dari kelima grafik, grafik (c) antara kecepatan aliran angin terhadap PPD menunjukkan perubahan yang berbeda dan paling signifikan dibandingkan dengan parameter lainnya. Semakin kecil kecepatan aliran angin maka semakin tinggi nilai PPD yang menunjukkan semakin tidak nyaman atau semakin panas keadaan suatu ruangan tersebut. Sebaliknya, semakin besar kecepatan aliran angin maka semakin kecil nilai PPD. Sehingga

dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran angin merupakan parameter

yang paling mempengaruhi terjadinya perubahan nilai PPD.



Gambar 11. Analisa Sensitivitas Tiap Parameter

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa dari keempat ruang kuliah yang menjadi objek penelitian, ruang kuliah SC II-10 merupakan ruang kuliah yang paling nyaman diantara empat ruang kelas lainnya dengan rata-rata nilai skala PMV sebesar +1,61. Semakin rendah nilai skala PMV yang dihasilkan maka semakin rendah prosentase PPD yang didapat, yang menunjukkan jumlah pengguna ruangan yang merasa tidak puas dengan kenyamanan termal pada ruangan tersebut. dari analisa sensitivitas terhadap nilai skala PMV dan PPD, kecepatan aliran angin merupakan parameter yang sangat berpengaruh dalam mendapatkan nilai skala PMV. Semakin tinggi/cepat kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam ruangan maka semakin rendah nilai skala PMV yang didapat yang menunjukkan semakin nyaman suatu ruangan tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Supriyo, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Sugiyono, selaku staf Laboratorium Bahan atas segala bantuan dan arahannya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Santoso, E I. 2012. "Kenyamanan Termal Indoor pada Bangunan

di Daerah Beriklim Tropis Lembab". *Indonesian Green Technology Journal*. Volume 1, No. 1, 2012.

Talarosha, B. 2005. "Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan". *Jurnal Sistem Teknik Industri*. Volume 6, No. 3 Juli 2005.

Nurlaili dan Nofirza. 2013. "Optimalisasi Kualitas Kenyamanan Thermal di Ruang Islamic Centre UIN SUSKA Riau". *Sosial Budaya*. Volume 10, No 2 Juli – Desember 2013.

Meliana. 2014. "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruangan Kelas di SDN 066049 Berdasarkan Indeks PMV dan PPD". *Jurnal Online Universitas Sumatera Utara*. Juli 2014.

SNI 03-6572-2001. *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*. Departemen Cipta Karya.

Latifah N L, Perdana H, Prasetya A dan Siahaan O. 2012. "Kajian Kenyamanan Termal Pada Bangunan Student Center Itenas Bandung". *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*. Hal 1-11.

Suhardi B, Laksono P W dan Budisantosa B. 2014. "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Kelas Mahasiswa (Studi Kasus Ruang Kelas 303 Jurusan Teknik Mesin UNS)". *Seminar Nasional IDEC 2014*

- Susanti L dan Aulia N. 2013. "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang". *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. Volume 12, No 1, April 2013.
- Dear R, Kim J, Candido C and Deuble M. 2015. "Adaptive Thermal Comfort in Australian School Classrooms". *Building Research & Information* 2015. Vol. 43, No 383-398.
- Mors S, Hensen J, Loomans M and Boerstra A. 2011. "Adaptive Thermal Comfort in Primary School Classrooms: Creating and Validating PMV-Based Comfort Charts". *Building and Environment* 2011. Vol. 46, No 2454-2461.
- Teli D, Jentsch M, James P and Bahaj A. 2012. "Field Study on Thermal Comfort in a UK Primary School". *Energy Research Group Faculty of Engineering and the Environment University of Southampton*. 12-15 April 2012
- Rahmadani D. 2011. "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Perkuliahan di Universitas Andalas". *Jurnal Online Universitas Andalas*.